

УДК 556.545

КП XXXXXX

№ держ. реєстр. 0115U000631

Інв. №

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

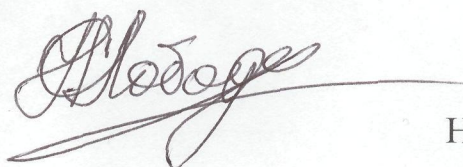
65016 України, м. Одеса, вул. Львівська, 15
тел./факс (0482) 32-67-35 / (0482) 42-77-67

ЗАТВЕРДЖУЮ
Ректор ОДЕКУ
д.фіз.-мат.н., проф. С.М. Степаненко
26.12.2016 р.



ЗВІТ
ПРО НАУКОВО-ДОСЛІДНУ РОБОТУ
Комплексне управління водними ресурсами басейну Куяльницького лиману
та його гідроекологічним станом в умовах господарської діяльності і
кліматичних змін
(заключний)

Науковий керівник НДР
д.геогр.наук, проф.



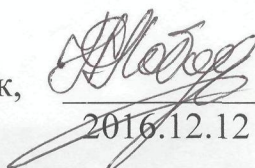
Н.С. Лобода

2016

Рукопис закінчено 14 грудня 2016 р.
Результати роботи розглянуті науково-технічною радою ОДЕКУ,
протокол № 6 від 22.12.2016 р.

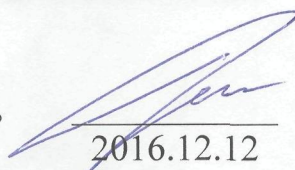
СПИСОК АВТОРІВ

Науковий керівник,
провідний науковий співробітник,
доктор географічних наук,
професор


2016.12.12

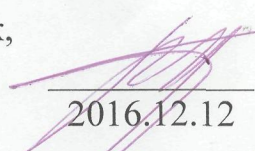
Н. Лобода
(реферат, вступ, розділи 1,
3-7, 12.2, висновки)

Відповідальний виконавець,
старший науковий співробітник,
кандидат географічних наук,
доцент


2016.12.12

О. Гриб
(вступ, розділи 2, 8,
9,10,12.2, висновки)

Провідний науковий співробітник,
доктор географічних наук,
професор


2016.12.12

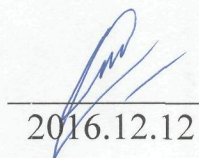
Ю. Тучковенко
(вступ, розділ 11,
висновки)

Старший науковий співробітник,
кандидат географічних наук,
доцент


2016.12.12

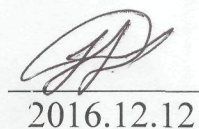
М. Сербов
(розділ 12.1)

Старший науковий співробітник,
кандидат географічних наук,
доцент


2016.12.12


М. Даус
(розд 3.1)

Старший науковий співробітник,
кандидат географічних наук,
доцент


2016.12.12

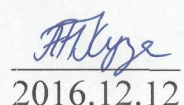
Н. Отченаш
(розділ 5.2, 7.1)

Старший науковий співробітник,
кандидат географічних наук,
доцент


2016.12.12

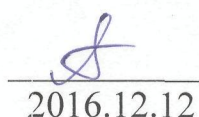
В. Бєлов
(розділ 1.1)

Науковий співробітник,
кандидат географічних наук


2016.12.12

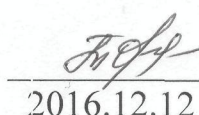
А. Куза
(розділ 4.5, 4.5.1, 4.5.2)

Науковий співробітник


2016.12.12

Я. Яров
(розділ 2.8–2.11.3)

Науковий співробітник


2016.12.12

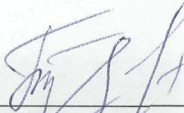
О. Тучковенко
(розділ 11.1)

Науковий співробітник


2016.12.12

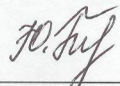
К. Гриб
(розділ 8.2, збір вихідних
даних)

Науковий співробітник


2016.12.12

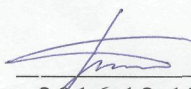
П. Терновий
(збір вихідних даних)

Молодший науковий співробітник,
кандидат географічних наук


2016.12.12

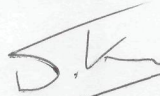
Ю. Божок
(розділи 3.2, 4.2, 4.4, 5.4-
5.6, 6)

Молодший науковий співробітник,
кандидат географічних наук


2016.12.12


В. Пилип'юк
(збір вихідних даних)

Молодший науковий співробітник


2016.12.12


Д. Кушнір
(розділ 11.1, 11.2)

Інженер II кат.,
кандидат біологічних наук


2016.12.12

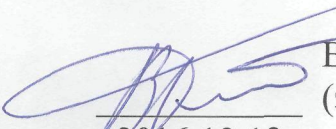
О. Килимник
(розділ 1.7)

Інженер II кат.


2016.12.12

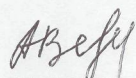
Ю. Тернова
(збір вихідних даних)

Інженер II кат.


2016.12.12

В. Гельман
(збір вихідних даних)

Інженер II кат.


2016.12.12

Г. Велієва
(збір вихідних даних)

Технік III кат.


2016.12.12

Є. Романова
(збір вихідних даних)

Технік III кат.


2016.12.12

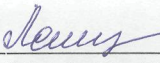
І. Клименко
(збір вихідних даних)

Технік III кат.


2016.12.12


В. Себов
(збір вихідних даних)

Технік III кат.


2016.12.12


А. Лещенко
(збір вихідних даних)

Технік III кат.


2016.12.12

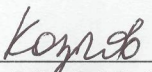
К. Поповиченко
(збір вихідних даних)

Технік III кат.


2016.12.12

А. Плекан
(збір вихідних даних)

Технік III кат.


2016.12.12

М. Козлов
(розділ 6.3, збір вихідних
даних)

Нормоконтролер



С. Малацковська

РЕФЕРАТ

Звіт про НДР: 352 с., 137 рис., 91 табл., 255 джерел, 2 додатка.

Об'єкт дослідження – Куяльницький лиман північно-західної частини Чорного моря та його басейн, гідрологічний режим і гідроекологічний стан.

Предмет дослідження – водні ресурси Куяльницького лиману в умовах змін клімату та водогосподарської діяльності, комплексне управління.

Мета дослідження полягає у визначенні ролі природних та антропогенних чинників, які формують сучасний гідрологічний режим та гідроекологічний стан Куяльницького лиману, та розробці практичних рекомендацій щодо здійснення водного менеджменту на водозборі річки Великий Куяльник і всього лиману, з урахуванням антропогенного впливу й кліматичних змін.

Методи дослідження: імітаційна стохастична модель «клімат-стік», яка дозволяє визначати водні ресурси річок в умовах глобального потепління на базі кліматичних сценаріїв з використанням найбільш вірогідного кліматичного сценарію з європейської бази даних ENSEMBLES; числове математичне моделювання складових водно-сольового балансу лиману при різних режимах заповнення у сучасних та сценарних кліматичних умовах; трьохвимірний модель Delft3D-FLOW версії 6.01.12.4498 для визначення просторово-часової мінливості гідрологічних характеристик лиману за обраним сценарієм кліматичних змін з урахуванням нормування водогосподарської діяльності на водозборі та можливого поповнення лиману морською водою.

За моделлю “клімат-стік” надана оцінка змін водних ресурсів річок водозбору Куяльницького лиману у сучасних та сценарних кліматичних умовах, установлений ступінь впливу водогосподарської діяльності в залежності від кліматичних умов. Визначені кількісні характеристики стоку річок в результаті часткового відновлення природних умов формування стоку шляхом нормування водогосподарської діяльності. В результаті моделювання режимів рівнів і мінералізації води лиману у XXI сторіччі за моделлю водно-сольового балансу розроблений найбільш оптимальний режим поповнення лиману морською водою через трубопровід “море-лиман” як при надходженні природного, так і побутового стоку річок. За результатами розрахунків з використанням нестационарної тривимірної гідротермодинамічної моделі Delft3D-FLOW отримані оцінки змін внутрішньорічної просторово-часової мінливості гідрологічних характеристик лиману за різних умов поповнення його морськими водами з Одеської затоки та прісною водою р.В.Куяльник. Розроблені рекомендації щодо створення плану управління водним режимом та гідроекологічним станом Куяльницького лиману до 2030р.

КУЯЛЬНИЦЬКИЙ ЛИМАН, ВОДНІ РЕСУРСИ, ЗМІНИ КЛІМАТУ, ВОДОГОСПОДАРСЬКА ДІЯЛЬНІСТЬ, МОДЕЛЮВАННЯ

ЗМІСТ

Вступ	10
1 Природні ресурси басейну Куяльницького лиману	20
1.1 Загальні відомості про басейн	20
1.2 Кліматичні ресурси	26
1.2.1 Кліматичні особливості на території лиману	28
1.3 Мінеральні ресурси	30
1.3.1. Гідрогеологічні особливості басейну	32
1.4 Земельні ресурси	35
1.5 Водні ресурси	37
1.6 Рекреаційні ресурси	40
1.7 Вплив змін гідрологічного режиму на природні ресурси басейну Куяльницького лиману та його екологічний стан	46
2 Антропогенний вплив на гідрологічний та гідроекологічний стан Куяльницького лиману та його наслідки	51
2.1 Водогосподарські споруди у період промислового видобутку солі	51
2.2. Штучне поповнення південної частини лиману морською водою через з'єднувальний канал у XX столітті	53
2.3 Поповнення лиману водами озер (ставків) пересипу та за рахунок фільтрації морських вод	54
2.4 Гідротехнічна споруда (трубопровід) для поповнення Куяльницького лиману морською водою з Одеської затоки у 2014-2015 роках	58
2.5 Водогосподарські споруди в басейні річки Великий Куяльник та їх вплив на водний режим	59
2.6 Водогосподарські споруди на річках і балках східного берегу лиману	63
2.7 Замулювання річок	69
2.8 Фізико-хімічні властивості та мінералізація ропи лиману в умовах кліматичних змін та водогосподарських перетворень	70
2.9 Гідрохімічні показники водотоків і водойм басейну Куяльницького лиману	80
2.10 Гідрохімічні показники опадів	86
2.11 Якість води водотоків та штучних водойм басейну Куяльницького лиману в умовах антропогенного навантаження	90
2.11.1 Екологічна оцінка якості вод р.В.Куяльник	90

2.11.2 Екологічна оцінка якості вод річок Довбока та Кубанка, балок Гільдендорфська та Корсунцівська, водойм пересипу	93
2.11.3 Оцінка придатності підземних (грунтових) вод річок Довбока та Кубанка для споживання людиною	101
3 Характеристика кліматичних чинників та оцінка їх змін у межах водозбору лиману і прилеглих територій	106
3.1 Оцінка змін кліматичних чинників формування стоку на початку ХХІ сторіччя	106
3.2 Посушливість клімату та посухи	112
3.3 Виявлення тенденцій до змін водності внаслідок кліматичних змін	117
4 Оцінка водних ресурсів річок в залежності від кліматичних умов та водогосподарської діяльності	123
4.1 Теоретичні основи визначення природних водних ресурсів за моделлю «клімат–стік»	124
4.2 Оцінка стану природних водних ресурсів річок до початку значущих змін клімату	132
4.3 Теоретичні основи стохастичного моделювання побутового стоку	134
4.4 Установлення ступеня впливу водогосподарської діяльності на водні ресурси річок до початку значущих змін клімату	140
4.5 Кількісні оцінки антропогенного навантаження на водотоки водозбору Куяльницького лиману	143
4.5.1 Кількісні оцінки показників використання водних ресурсів	143
4.5.2 Кількісна оцінка впливу розораності та урбанізованості	147
5 Оцінка водних ресурсів річок, які живлять лиман, за даними сценаріїв змін клімату	151
5.1 Сценарії змін клімату	151
5.2 Обґрунтування вибору регіонального кліматичного сценарію для оцінки змін водних ресурсів в межах водозбору куяльницького лиману	154
5.3 Методологія оцінки природних водних ресурсів за моделлю «клімат–стік» на основі сценаріїв змін клімату	160
5.4 Можливі зміни кліматичних чинників за сценаріями глобального потепління	161
5.5 Можливі зміни водних ресурсів річок Північно-Західного Причорномор'я у сценарних кліматичних умовах	167
5.6 Можливі зміни водних ресурсів річок водозбору Куяльницького лиману в залежності від сценарних кліматичних умов	174
6 Оцінка з179міни припливу вод з водозбірного басейну до лиману у ХХІ сторіччі за моделлю “клімат-стік”	179
6.1 Опис методики відтворення рядів річного та місячного стоку	179

6.2 Виділення кліматичних розрахункових періодів	181
6.3 Методика установлення забезпеченості водності року при розрахунках стоку за стохастичною моделлю “клімат-стік”	183
6.4 Визначення типових (характерних) років	186
6.5 Аналіз отриманих результатів	189
7 Нормування водогосподарської діяльності на водозборах річок з урахуванням змін клімату	194
7.1 Облік водогосподарських споруд в басейні Куяльницького лиману	194
7.2. Нормування водогосподарської діяльності в існуючих умовах та за кліматичними сценарієм A1B	206
8 Модель водно-сольового балансу Куяльницького лиману та її верифікація	215
8.1 Математична структура моделі водно-сольового балансу лиману	215
8.2 Визначення об'єму та мінералізації атмосферних опадів	218
8.3 Визначення об'єму та мінералізації припливних вод до лиману	219
8.4 Визначення випаровування з водної поверхні лиману	223
8.5 Визначення об'ємів припливу морських вод через трубопровід «море-лиман» та їх мінералізації	225
8.6 Калібрування та верифікації моделі водно-сольового балансу лиману з використанням архівних даних	225
9 Характеристика рівнів і мінералізації води в Куяльницькому лимані у сучасних кліматичних умовах при різних режимах поповнення водойми морською водою через штучний трубопровід «море-лиман»	233
10 Моделювання мінливості рівня та солоності води в Куяльницькому лимані на основі моделі водно-сольового балансу з урахуванням змін клімату у XXI сторіччі	243
11 Чисельне моделювання мінливості гідрологічних та гідрофізичних характеристик Куяльницького лиману за різних умов його водного менеджменту	252
11.1 Опис гідротермодинамічної моделі, результатів її адаптації та верифікації	252
11.2 Моделювання мінливості гідрологічних характеристик Куяльницького лиману за умов 2015 р.	261
11.2.1 Аналіз результатів моделювання отриманих за різних умов поповнення лиману морською водою	264
11.3 Аналіз результатів моделювання за різними сценаріями надходження стоку річки В.Куяльник в лиман	276

11.4 Моделювання мінливості гідрологічних характеристик Куяльницького лиману для різних за водністю типових років сучасного кліматичного періоду	283
12 Рекомендації щодо плану управління водним режимом та його гідроекологічним станом	294
12.1 Економіко-екологічні підходи до розробки інтегрованого управління водними ресурсами в басейні Куяльницького лиману	294
12.2 Рекомендації щодо заходів з оптимізації водогосподарської діяльності для підвищення водності річок і балок басейну Куяльницького лиману у майбутньому	298
Висновки	306
Перелік посилань	320
Додаток А	344
Додаток Б	345

ВСТУП

Куяльницький лиман є унікальним, віднесеним до категорії лікувальних водним об'єктом загальнодержавного значення, який має рідкісні у своєму роді лікувальні природні ресурси, котрі в сукупності з його рекреаційними, туристичними, бальнеологічними ресурсами складають потужний потенціал соціально-економічного розвитку прилеглих до нього територій Одеської області і всієї України [1].

Сформовані за час існування Куяльницького лиману його лікувальні грязі (пелоїди) та ропа за своїми властивостями не поступаються ропі та грязям Мертвого моря й, більш того, були визнані світовим еталоном лікувальних грязей [2].

Експлуатаційні (балансові) запаси лікувальних грязей – чорних і темно-сірих мулистих відкладень на дні лиману (за даними від 1975 р.) складають 15,3 млн. м³ або 22,2 млн. тон (при щільності мулів 1,43 кг/дм³). Середній багаторічний об'єм наповнення Куяльницького лиману ропою становить 75,0 млн. м³. Отже, при мінералізації 120 г/дм³, кількість лікувальних солей становить близько 8 млн. тонн. Якщо прийняти, що лікувальні грязі та ропа лиману коштують приблизно стільки ж, як і у Мертвому морі, то орієнтовна вартість усіх запасів лікувальних грязей Куяльницького лиману в сукупності з вмістом солей в його ропі складає мільярди доларів США.

У зв'язку із цим, збереження природної екосистеми Куяльницького лиману для нинішнього та майбутнього поколінь є не тільки екологічною, але й соціально-економічною загальнодержавною задачею.

Гідроекологічний стан Куяльницького лиману, як і будь-якого іншого водного об'єкта, визначається в першу чергу його водним балансом, тобто різницею між кількістю води, що надходить до лиману, та її кількістю, що йде з лиману. Витратна частина водного балансу Куяльницького лиману як закритої водойми складається, головним чином, з випаровування.

З 1859 р. і по сьогоднішній день природний водно-сольовий режим Куяльницького лиману знаходиться під значним впливом господарської діяльності. У акваторії водойми з давніх часів діяв солепромисел. На водозбірному басейні будувалися дамби і створювалися ставки. Так, на топографічній карті 1894 року на водозборі лиману було показано більше 70 штучних водойм, які наповнювалися водою приток, що впадали у лиман. Отже, тому формування рівневого та сольового режимів лиману протягом останніх 150 років не можна називати природним.

У минулі два десятиріччя екологічний стан Куяльницького лиману значно погіршився, що стало проявлятися у зменшенні рівнів води та

зростанні її солоності. Періоди всихання лиману практично всіма вченими пов'язуються з маловодними (посушливими) кліматичними періодами. Причиною нинішнього всихання лиману в першу чергу є вплив глобальних змін клімату, які відбуваються з середини 80-х років минулого сторіччя [3-5]. Учасниками конвенції ООН із захисту та використання транскордонних водотоків та озер, зв'язаних з Чорним морем, у 2011 році був зроблений прогноз, згідно з яким в найближчі 30 років на півдні і південному сході України середній річний стік води зменшиться на 30-50%, на половину знизяться витрати води в зимовий період, збільшиться ризик посух [6]. Аналіз стану річок Північно-Західного Причорномор'я показав, що даний прогноз не тільки виправдовується, а й вимагає вжиття термінових управлінських компенсаційних рішень [7], до яких можна віднести прийняту Одеською обласною радою у жовтні 2011 року Регіональну програму збереження та відновлення водних ресурсів у басейні Куяльницького лиману на 2012-2016 рр. [8].

У межах України як переламний визнаний 1989 р, після якого зміни температур повітря стали статистично значущими [9]. На території Північно-Західного Причорномор'я зміни клімату проявляються у зростанні випаровування з поверхні суші та водної поверхні за рахунок підвищення середньої температури повітря. Оскільки зростання випаровування відбувається на фоні незначного зменшення опадів, а приплив прісних вод з водотоками зменшується, то витратна складова водного балансу закритих лиманів зростає, що призводить до їх обміління [10].

Встановлені кліматичні зміни на фоні водогосподарських перетворень на водозбірних басейнах багатьох лиманів сприяли різкому зростанню обсягів випаровування, скороченню обсягу водної маси і, відповідно, збільшенню солоності води та ізоляції лиманів від морської акваторії. Як наслідок, багато прибережних водойм Північно-Західного Причорномор'я в сучасних умовах майже втратили свої рекреаційні, соціальні та економічні властивості [11]. За даними Ю.П. Зайцева, Б.Г. Александрова та ін. [12], площа висихання Куяльницького лиману протягом 2003-2014 рр. склала 26,0 км² (або 44% від початкової площі лиману), об'єм води у лимані зменшився з 100 до 10 млн. м³, солоність зросла з 108 до 317 ‰.

Останнім часом гідрогеологи Одеського національного університету ім. І.І. Мечникова звертають увагу на недооцінку складової підземного припливу на водозборі Куяльницького лиману. З одного боку, дійсно, роль гідрогеологічних процесів у формуванні його водно-сольового балансу вивчена недостатньо. Але, з іншого боку, кількісний аналіз водного балансу лиману, виконаний за науково обґрунтованими та прийнятими вченими-гідрологами методиками, свідчить, що частка підземного притоку не

перевищує 10% від інших, вже відомих і вивчених приходних складових водного балансу лиману, тобто вона знаходиться в межах точності розрахунків водного балансу. Тому, в умовах, коли спостерігається зменшення стоку річок (рр. Великий Куяльник, Довбока, Кубанка), які у минулі роки живили лиман, і відбувається подальше зростання посушливості клімату Одеської області [13], навряд чи слід очікувати, що лиман може наповнитися за рахунок підземного стоку.

Слід зазначити, що окрім змін клімату на водозборі Куяльницького лиману відбувається ще й інтенсивна господарська діяльність, яка здатна посилити негативний вплив глобального потепління.

До чинників антропогенного впливу, які діють на водозборі Куяльницького лиману, відносяться такі [1, 7]:

- перегороджування шлюзами та дамбами русел річок і створення штучних водойм, які практично повністю «перехоплюють» річковий стік та відіграють роль штучних випарників;
- штучне випрямлення русел та наступне їх замулення (шар донних відкладень у деяких місцях складає більше 1 м);
- інтенсивний відбір підземних вод для питного і господарського використання, який сприяє виснаженню їх запасів, про що свідчать пересохлі джерела, а також викликає надходження до водозаборів вод, часто осолонених, з інших водоносних горизонтів;
- несанкціоновані кар'єри з видобутку будівельних матеріалів, інтенсивний випас худоби в прибережних захисних смугах, вирубка лісових насаджень, які у сумі погіршують умови формування стоку;
- пожежі, які руйнують рослинність та насіннєвий запас, а без рослинності поверхня ґрунту втрачає свої бар'єрні функції і перестає бути перепорою для проникнення у лиман забруднюючих речовин;
- високий ступінь розораності (75%) вододільних та прилеглих до них територій, що сприяє розвитку ерозії берегів [14, 15].

За даними А.А. Еннана, Г.Н. Шихалєєвої та ін. [16, 17, 18] протягом останніх 15 років катастрофічно змінюються середні річні морфометричні показники Куяльницького лиману: у період 2003-2014 рр. відбулося зменшення протяжності лиману з 26 до 15,3 км, площі водного дзеркала з 52,0 до 26,7 км², обсягу водної маси - з 68 до 11 млн. м³, руслового стоку з 15,6 до 1,5 млн. м³. Через зменшення припливу прісних вод від основних водотоків (рр. Великий Куяльник, Довбока, Кубанка) почав зростати внесок малих водотоків та водойм, розташований у нижній частині водозбору Куяльницького лиману. Зазначається, що 80-85% припливу прісних вод тепер надходить від Корсунцівської балки і Лузанівських ставків (раніше вони називались Пересипськими озерами) в південну частину лиману. Але,

екологічний стан цих водойм оцінюється як “незадовільний” і пряме (без очищення) їх надходження до лиману сприяє погіршенню його екологічного стану [46]. Солоність ропи збільшилася зі 108 до 300 ‰. Зокрема, в літні місяці 2012-2014 рр. максимальні значення солоності ропи досягали 360 ‰ в південній частині акваторії лиману і становили близько 390 ‰ у північній його частині; протяжність лиману дорівнювала близько 16 км, так що її північний край фіксувався на траверзі с. Іллінка. За даними аерофотозйомки 29 вересня 2012 р. встановлено, що засолено і опустелено близько 30 км² території, суміжної з Біляївським, Іванівським і Комінтернівським районами Одеської області. Розраховане за результатами експедиційно-польових зйомок загальне винесення з вітром на прибережну територію самосадкової солі з оголеного дна лиману склало близько 0,5 млн. м³. В екстремальних умовах це загрожує засоленням сільгоспугідь, присадибних ділянок жителів 13 прибережних населених пунктів і території м. Одеса. Про незадовільний екологічний стан Куяльницького лиману свідчить також високий рівень забруднення ропи, пелоїдів, ґрунтового і рослинного покриву прибережної зони азотом амонійним, органічними сполуками і важкими металами.

З метою збереження лиману як водного об’єкту, який має унікальне бальнеологічне значення, у 2014 р. Облгосадміністрацією було прийняте рішення реалізувати періодичний запуск морської води через систему гідротехнічних споруд. На протязі осені 2014р. були виконані необхідні технічні роботи по з’єднанню лиману з морем по трубопроводу, прокладеному через пересип, з виходом у море на відстані 0,5 км від урізу води і розташуванням водозабору на глибині 5 м.

Таке втручання людини у розвиток негативних фізичних процесів у лимані потребує ретельної організації моніторингу довкілля. Проте, вивченість стану водної екосистеми Куяльницького лиману недостатня. Мало освітлена у дослідженнях вчених роль гідрогеологічних та геохімічних процесів у формуванні його водно-сольового балансу, процеси накопичення солей у донних відкладах та зміни іонного складу лиманних і підземних мінеральних вод. Зміни геобіоценозу Куяльницького лиману та їх зв’язок із природними і антропогенними чинниками потребують більш детального вивчення. На сьогоднішня Державна система моніторингу екосистеми Куяльницького лиману головним чином складається лише з пунктів контролю абіотичних показників її стану на метеорологічних і гідрологічних станціях та постах, розташованих у басейні лиману та навколо нього (наприклад, метеостанції «лим.Куяльницький-Одеса», «Одеса-Обсерваторія», «порт-Одеса», «аеропорт-Одеса», «Усатове», «порт-Южний», «Сербка»; гідрологічні пости в акваторії лиману – м. Одеса (санаторій ім. Пирогова) та в гирловій частині р. В. Куяльник – с. Северинівка; пункти контролю якості

поверхневих вод в гирловій частині р. В. Куяльник (с. Северинівка та с. Руська Слобідка). Цей моніторинг здійснюється підрозділами Державної служби України з надзвичайних ситуацій (Гідрометеорологічний центр Чорного та Азовського морів, Первомайська гідрометеорологічна станція) та Державного агентства водних ресурсів України (Лабораторія моніторингу вод та ґрунтів Одеської гідрогеолого-меліоративної експедиції Одеського обласного управління водних ресурсів) [19-28]. На місцевому рівні моніторинг хімічного складу ропи і пелоїдів лиману та мінеральних підземних вод здійснює гідрогеологічна служба (раніше – гідрогеологічна режимно-експлуатаційна станція) дочірнього підприємства «Клінічний санаторій ім. Пирогова» ЗАТ «Укрпрофоздоровниця» [29-31]. На регіональному рівні моніторинг стану екосистеми Куяльницького лиману мав би реалізовуватися за трьома регіональними програмами [8, 32, 33], що були затверджені рішеннями Одеської обласної ради у 2011-2014 рр. Крім того, 12.02.2015 р. фахівцями провідних наукових, проектно-вишукувальних та вищих навчальних закладів м. Одеси (включно з Одеським державним екологічним університетом - ОДЕКУ) було підготовлено програму моніторингу стану Куяльницького лиману у 2015 році, яку 25 лютого 2015 р. було затверджено Департаментом екології та природних ресурсів Одеської обласної державної адміністрації (наказ № 17) [34]. Цією програмою передбачено проведення постійного моніторингу стану Куяльницького лиману та Одеської затоки Чорного моря під час подачі морської води в лиман. Були заплановані такі види спостережень: гідрологічні (спостереження за рівнем, температурою і витратами води, вмістом завислих речовин, прозорістю, кольором води тощо); гідрохімічні (спостереження за мінералізацією води, хімічним складом води та пелоїдів, вмістом забруднювальних речовин тощо); гідробіологічні (токсикологічне біотестування води, визначення видового складу, чисельності та біомаси фітопланктону, зоопланктону, мікро-фітобентосу, макрофітобентосу, макрозообентосу, у тому числі потенційно токсичних видів); медико-біологічні (медико-бальнеологічні, мікро-біологічні, санітарно-бактеріологічні, у тому числі, фізіологічні, біохімічні, імунологічні, морфологічні дослідження ропи та пелоїдів лиману, виявлення їх бактерицидної дії). Однак, через відсутність фінансування, моніторинг стану Куяльницького лиману у 2015 р. виконувався не в повному обсязі – окремими науковцями та установами за власні кошти [35].

Робота трубопроводу “море – лиман” є реальним інструментом для відновлення його гідрологічного, гідрохімічного та гідроекологічного режимів шляхом встановлення регулярного водообміну з морем [36]. Проте можливі наслідки подачі морської води до лиману викликають дискусію.

Згідно з даними групи вчених Одеського національного університету ім. І.І. Мечникова) [37] внаслідок надходження до лиману солоної морської води відбувається кристалізація сульфатних мінералів і, насамперед, гіпсу, що безпосередньо впливає на якість лікувальних грязей. Однак, ці дані суперечать відомим фактам та раніше проведеним дослідженням. Так, у звітах гідрогеологічної контрольно-спостережної станції (нині – гідрогеологічна служба ДП «Клінічний санаторій ім. Пирогова») за 1961 р. по проектуванню каналу «море-лиман» для попусків морської води в Куяльницький лиман [29], вказано, що розчинність сульфату кальцію (гіпсу) у ропі зростає при збільшенні вмісту хлористого натрію, який буде надходити у лиман з морською водою. Отже, кристалізація гіпсу не буде відбуватися. У звіті про науково-дослідну роботу [38], яка була виконана у 2013 році вченими Фізико-хімічного інституту ім. О.В. Богатського НАН України, також відмічається, що розбавлення ропи Куяльника морською водою призведе до унеможливлення випадку осаду гіпсу.

Крім того, треба відзначити, що за даними вимірювань у 1960 р. [29] концентрація сульфату кальцію (гіпсу) у ропі лиману становила $8,5 \text{ г/дм}^3$, хоча при мінералізації ропи 164 г/дм^3 (за даними того ж періоду) розчинність гіпсу приймає значення до 7 г/дм^3 . Отже, очевидним є те, що вже у 1960 р. у ропі лиману відбувалась кристалізація гіпсу та його садка в осад, але без утворення гіпсової корки. Цей висновок узгоджується з відомостями про те, що гіпс є складовою кристалічного скелету лікувальних грязей (пелоїдів).

Важливу роль у розвитку стратегії збереження і захисту природних ресурсів Куяльницького лиману займає проект відновлення природного (непорушеного водогосподарською діяльністю) водного режиму річок, пов'язаний із розчищенням русел річок та відновленням рослинності на їх схилах [1, 7, 32, 39]. Проте, такий проект потребує детального вивчення, оскільки через зміни клімату у поєднанні із водогосподарською діяльністю водні ресурси Північно-Західного Причорномор'я невпинно зменшуються [38].

Мета даного проекту полягала у обґрунтуванні заходів щодо стабілізації екологічного стану Куяльницького лиману на основі досліджень водних ресурсів його басейну, водного та сольового балансів лиману й моделюванні просторово-часової мінливості гідрологічних характеристик вод акваторії лиману.

У проекті вирішена задача прогнозування просторово-часової мінливості гідрологічних характеристик Куяльницького лиману та річок, що його живлять. Основними напрямками досліджень є визначення можливих змін водних ресурсів річок водозбору Куяльницького лиману у майбутньому (за сценарієм глобального потепління) та перспективи оптимізації

водогосподарської діяльності на водозборі лиману з точки зору відновлення його гідроекологічного стану. Введення у 2014 р. епізодичного живлення лиману морською водою через трубопровід обумовило необхідність розгляду цього фактору антропогенного втручання у формування гідрологічного режиму Куяльницького лиману.

Науково-дослідна робота (НДР), результати якої наведені в цьому звіті, спрямована на виявлення ролі водотоків, що впадають до Куяльницького лиману, у формуванні його водно-сольового балансу у XXI сторіччі. Розрахунки стоку базуються на моделі “клімат-стік”, в якій використовуються метеорологічні дані сценаріїв змін глобального клімату. Робота є продовженням досліджень з комплексного управління водними ресурсами Європейських лагун в умовах змін клімату (Міжнародний дослідницький проект 7-ої Рамкової Програми ЄС «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) [39], а також досліджень лиманів Північно-Західного Причорномор’я [38,40]. У роботі використані як європейський, так і власний досвід вчених ОДЕКУ.

Оцінки припливу прісних вод з водозбірної басейну до лиману в умовах минулого сторіччя та за сценаріями глобального потепління виконані на основі стохастичної моделі «клімат-стік», розробленої в ОДЕКУ [41,43]; оцінки змін складових водного та сольового балансів у різних варіантах поєднання кліматичних умов, водогосподарського впливу та подачі морської води до лиману виконувались на базі балансових методів (водного та сольового балансів) [38]; просторово-часові узагальнення гідрологічних та гідродинамічних властивостей Куяльницького лиману були отримані за трьохвимірною моделлю Delft3D-FLOW версії 6.01.12.4498, розробленої науково-дослідним інститутом «Дельтарес» (Нідерланди) та модифікованої для умов Куяльницького лиману [43,44] (модель знаходиться у відкритому доступі).

При виконанні НДР за 2015-2016рр. були вирішенні наступні *завдання*, які складають її *наукову новизну*.

- Надані: (1) характеристики природних ресурсів Куяльницького лиману в умовах екологічної кризи та їх зв’язок із змінами гідрометеорологічного режиму; (2) опис антропогенних перетворень в межах водозбору Куяльницького лиману та їх екологічних наслідків; (3) характеристики кліматичних чинників формування стоку та оцінка їх змін у межах водозбору лиману і прилеглих територій, які відбулися у минулі два десятиріччя; (4) оцінка водних ресурсів річок в залежності від кліматичних

умов та водогосподарської діяльності, виконана на базі моделі “клімат-стік”; (5) оцінки змін кліматичних чинників та стоку за кліматичними сценаріями і вибір сценарію кліматичних змін, який найбільше відповідає метеорологічним показникам досліджуваної території за ретроспективними даними; (6) обґрунтування тривалості кліматичних розрахункових періодів у ХХІ сторіччі та оцінки припливу прісних вод від річок до лиману за даними обраного кліматичного сценарію; (7) облік водогосподарських споруд на водозборі р. В.Куяльник та нормування водогосподарської діяльності на водозборі з урахуванням кліматичних змін; (8) опис моделі водного та сольового балансів; (9) опис режиму рівнів та мінералізації лиману в сучасних кліматичних умовах при різних рівнях поповнення лиману морською водою; (10) результати моделювання мінливості рівнів і солоності води в лимані при його поповненні морською водою з використанням моделі водно-сольового балансу; (11) опис гідродинамічної моделі Delft3D-FLOW версії 6.01.12.4498 та результати моделювання просторо-часової мінливості гідрологічних характеристик вод лиману; (12) науково-обґрунтовані рекомендації по плану управління водним режимом та гідроекологічним станом лиману.

- Визначені: гідроекологічний стан річок та водойм водозбору Куяльницького лиману (1); тенденції змін кліматичних чинників та стоку за минулі два сторіччя на основі даних спостережень (2); середні багаторічні характеристики стоку у природних та порушених водогосподарською діяльністю умовах, їх залежність від змін клімату на базі моделі “клімат-стік” (3); тенденції змін кліматичних чинників та стоку за даними кліматичних сценаріїв (4); середні багаторічні характеристики кліматичних чинників та стоку за виділені розрахункові кліматичні періоди та середні місячні значення стоку р. Великий Куяльник у ХХІ сторіччі, відтворені на основі стохастичного моделювання (5); допустимі масштаби створення штучних водойм на водозборах (6); об’єми та мінералізація опадів на водну поверхню, прісних вод від річок та водотоків, морських вод (7); характеристики режиму рівнів та мінералізації лиману в сучасних кліматичних умовах при різних рівнях поповнення лиману морською водою (8); характеристики рівневого режиму та режиму мінералізації лиману у ХХІ сторіччі при надходженні природного та побутового стоку від р. В.Куяльник з метою визначенні необхідності поповнення лиману морською водою (9); допустимі масштаби водогосподарської діяльності на водозборі та перспективи щодо збільшення стоку р. В.Куяльник й роботи трубопроводу “море-лиман” (10) .

- *Наукова значимість* отриманих результатів полягає в

- отриманні нової інформації щодо гідрологічного, гідробіологічного, гідрохімічного режимів Куяльницького лиману на основі поєднання досліджень ОДЕКУ, ДУ «Інституту морської біології НАН України» та інших учбових, наукових і проектних закладів (Одеський національний університет ім. І.І. Мечникова, ДУ «Український НДІ медичної реабілітації та курортології» МОЗ України, Фізико-хімічного інституту ім. О.В. Богатського НАН України, НДУ «Український науковий центр екології моря» МЕРП України, Державний регіональний проектно-вишукувальний інститут «Укрпівдендінпроводгосп» ДАВР України), а також санаторію (ДП «Клінічний санаторій ім. Пирогова» ЗАТ «Укрпрофоздоровниця»);

- розвитку стохастичної моделі “клімат-стік” при вирішенні задач відтворення рядів річного та середнього місячного стоку при розрахунках стоку за метеорологічними даними сценаріїв змін клімату;

- розвитку моделі водно-сольового балансу Куяльницького лиману для вирішення задач прогнозування рівневого режиму та мінералізації у XXI сторіччі;

- модифікація гідродинамічної моделі Delft3D-FLOW версії 6.01.12.4498 для розрахунків гідрологічних та гідродинамічних характеристик Куяльницького лиману.

Практична цінність отриманих результатів полягає у:

- виявленні та оцінці впливу антропогенних чинників на формування стоку водотоків Куяльницького лиману з використанням моделі “клімат-стік”;

- установленні сучасного екологічного стану річок та водойм водозбору Куяльницького лиману на базі архівних даних та експедиційних спостережень;

- кількісній оцінці впливу штучних водойм, як головного антропогенного чинника, на приплив прісних вод до Куяльницького лиману;

- виявленні існуючих та можливих тенденцій змін кліматичних чинників та об’ємів стоку від водотоків за різними сценаріями змін клімату на основі розрахунків за моделлю “клімат-стік”;

- установленні режиму та обсягів поповнення лиману морською водою через штучний трубопровід у сучасних кліматичних умовах;

- обґрунтуванні необхідності відновлення природного стоку річок водозбору Куяльницького лиману, головним чином, р. Великий Куяльник, що до 2030 р. має забезпечити суттєве поліпшення екологічного стану лиману;

- установленні режиму та обсягів поповнення лиману морською водою через штучний трубопровід у кліматичних умовах XXI сторіччя за наявності відновленого стоку р. Великий Куяльник та за умов збереження сучасного рівня водогосподарської діяльності;

- відтворення просторово-часової мінливості гідрологічних характеристик вод лиману за обраним сценарієм кліматичних змін та нормуванням водогосподарської діяльності на водозборі й режимів наповнення лиману морською водою;

- складанні науково-обґрунтованих рекомендацій до плану управління водним режимом та гідроекологічним станом Куяльницького лиману.

Результати науково-дослідної роботи використано в роботі ДП «Клінічний санаторій ім. Пирогова» ЗАТ «Укрпрофоздоровниця», Гідрометеорологічного центру Чорного та Азовського морів Державної служби України з надзвичайних ситуацій, Департаменту екології та природних ресурсів Одеської обласної державної адміністрації, Депутатської групи «Куяльник» та відділу з питань природокористування апарату Одеської обласної ради. Є відповідні акти використання, впровадження та листи від цих організацій.

За 2015-2016рр. виконавцями проекту були отримані такі свідоцтва про науково-дослідні роботи.

1. №63937 «Звіт про науково-дослідну роботу «Посушливість клімату та наслідки її впливу на гідрологічний та гідроекологічний стан водних об'єктів»» (від 05.02.2016 р.); (автори: Божок Ю.В., Гриб О.М., Єрмоленко Н.С., Лобода Н.С., Недострелова Л.В., Пилип'юк В.В., Хохлов В.М.)

2. №58648 «Звіт про науково-дослідну роботу «Оцінка можливого альтернативного наповнення Куяльницького лиману водами Чорного моря, річки Дністер й інших лиманів і водних об'єктів»» (від 16.02.2015 р.); (автори: Бабій В.Л., Башмакова І.Х., Белов В.В., Богатова Ю.І., Голіцов В.І., Гопченко Є.Д., Гриб О.М., Килимник О.М., Лобода Н.С., Нікіпелова О.М., Пилип'юк В.В., Сахненко О.І., Ситов В.М., Смоленський Є.В., Терновий П.А., Тучковенко Ю.С., Яров Я.С.).

3. № 66065 «Звіт про науково-дослідну роботу «Комплексне управління водними ресурсами басейну куяльницького лиману та його гідроекологічним станом в умовах господарської діяльності і кліматичних змін (проміжний)»» (від 14.06.2016 р.), (Автори: Белов В.В., Божок Ю.В., Гриб О.М., Гриб К.О., Даус М.Є., Килимник О.М., Кушнір Д.В., Лобода Н.С., Отченаш Н.Д., Пилип'юк В.В., Сербов М.Г., Тучковенко Ю.С., Яров Я.С.)

1 ПРИРОДНІ РЕСУРСИ БАСЕЙНУ КУЯЛЬНИЦЬКОГО ЛИМАНУ

1.1 Загальні відомості про басейн

Басейн Куяльницького лиману розташований у межиріччі річок Дністер та Південний Буг (рис. 1.1). За природним районуванням він відноситься до степової географічної зони [48]. Верхня частина басейну належить до Лівобережно-Дніпровської північно-степової провінції, нижня – до Причорноморсько-Азовської південно-степової провінції [49]. За ландшафтно-гідрологічним районуванням В.В. Гребіня [9], водозбір Куяльницького лиману належить до степової посушливої ландшафтно-гідрологічної зони. Основним елементом його рельєфу є Причорноморська низовина (Причорноморська акумулятивна лесова рівнина за геоморфологічним районуванням), яка поступово знижується у бік Чорного моря [50]. Поверхня низовини пласка, рівнинна. Береги Куяльницького лиману та річок його басейну порізані балками та ярами, вододіли пласкі і межують із басейнами річок Тилігул та Малий Куяльник.

Сучасний вигляд берегової зони та рельєфу Куяльницького лиману формувався протягом останніх 5,0-5,5 тис. років, коли рівень води в Чорному морі вперше досяг сучасних відміток. Наступні коливання рівня моря, у тому числі й фанагорійська регресія (від 4,5-4,4 тис. років до н.е. та до II-III ст. н.е.) і німореїська трансгресія (триває понині), вплинули на сучасні розміри та конфігурацію лиману [51].

У розвитку улоговини Куяльницького лиману виділено дві стадії: річкова долина та лиман. Остання стадія, у свою чергу, може бути поділена на 2 етапи: 1) етап існування відкритого естуарію, 2) лиманний етап, коли водойма втратила зв'язок з морем [52]. Відділення лиману від моря відбулося, відповідно до історичних даних і археологічних розкопок, не пізніше XV-XVI ст. [53]. А.Р. Осмолівський-Ярошенко, який вивчав історію освоєння Куяльницького лиману [54], зробив у 1929 р. наступний висновок щодо періоду існування Куяльницького лиману як відкритої водойми, часу його відокремлення від моря та причин формування пересипу: *«Досить численні сліди грецької культури, і пізніших часів, які зустрічаються по берегам Куяльницького лиману й по Гільдендорфській балці, а також Генуезька котва, що її знайдено в цьому лимані, – усе це свідчить, що лиман цей ще в XV віці був сполучений з морем, що до нього з моря могли приходити і грецькі і генуезькі кораблі: тому греки охоче засіляли береги цього лиману, бо він не був відокремлений від моря, як Хаджибейський, і слугував тоді гаванню. Пересип цього лиману є молодим утворенням і в формуванні його головну участь бере течія зі сходу, що встановилася тут разом зі зниженням морського рівня, коли Дніпро почав осолоджувати Одеську затоку»*.

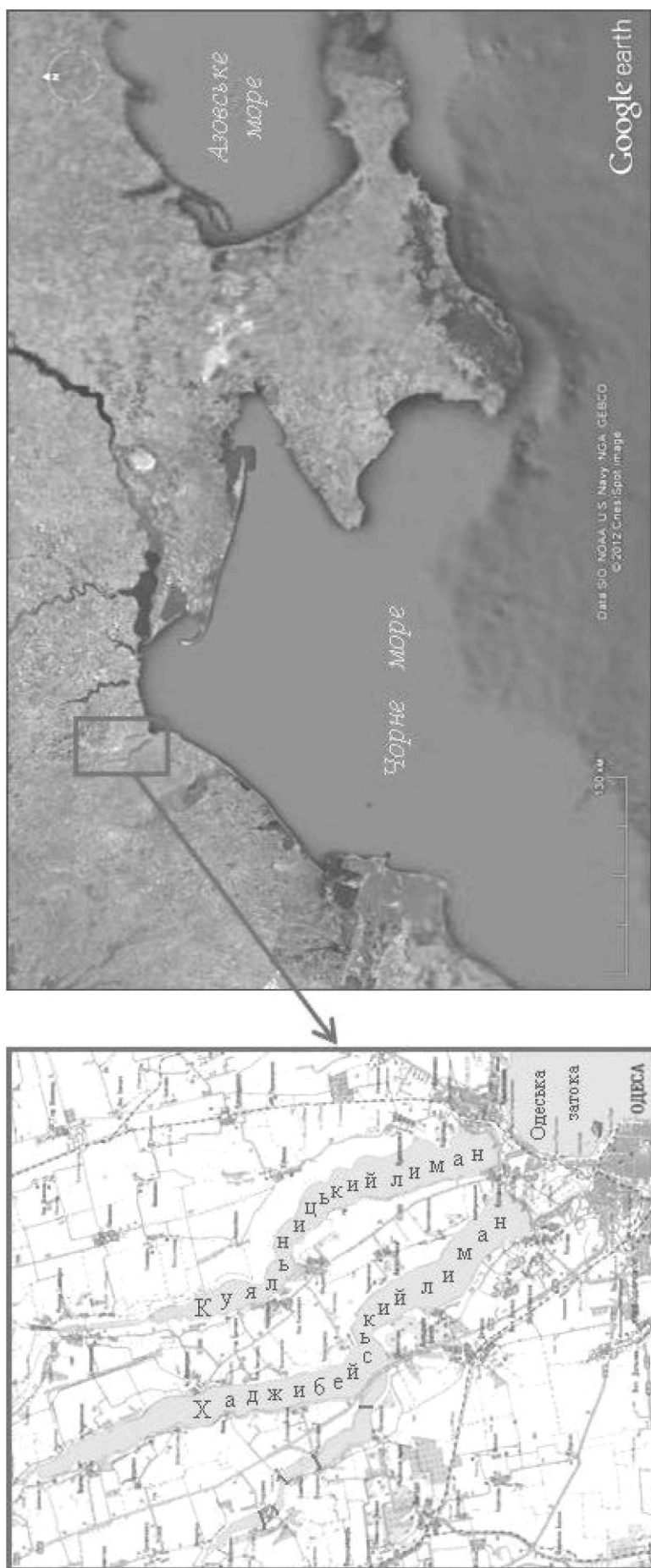


Рисунок 1.1 – Місцезолення басейну Куяльницького лиману [55]

Однак, вже на початку XIX ст. – в атласі Будищева від 1807 р., пересип Куяльницького лиману показано суцільною вузькою смугою, шириною приблизно 100 м [56].

Основною річкою, яка впадає до лиману, є р. Великий Куяльник. Верхня частина басейну річки В. Куяльник знаходиться в межах Подільської височини, з відмітками до 250 м над рівнем моря [57]. Середня частина відноситься до перехідної зони від височини до низовини. Пониззя річки знаходиться в межах Причорноморської низовини з висотами 150-50 м над рівнем моря. Падіння річки складає 204 м, середній ухил – 1,13 м/км, середньозважений ухил – 0,63 м/км, середній ухил водозбору – 21,9 м/км, лісистість – 4,87%, заболоченість – 0,08%, озерність – 0,06%, розораність – 61,3%, еродованість – 45,9%, урбанізованість – 6,97%, осушених земель з постійно діючою водопровідною мережею – 3026 тис. га. [58]

Глибина врізання русла річки у земну поверхню становить: у верхів'ях – 10-20 м, в середній течії вона збільшується до 80 м, в нижній течії – до 85 м. Для рельєфу басейну характерна значна розчленованість балочною та яружною мережею, а саме: у верхній течії – 0,6-1,0 км/км², в нижній – 0,3-0,5 км/км². Річка має декілька приток незначної довжини. Найбільшими з них є рр. Кошкова та Суха Журовка, в долинах яких тераси відсутні, за винятком заплавних ділянок. Інші притоки річки знаходяться в балочній стадії розвитку та належать до тимчасових водотоків.

Значний вплив на формування схилів долини р. В. Куяльник мають обвали та яружна ерозія. Форма схилів різна. Круті схили досягають висоти 50-70 м, а пологі (рівномірно нахилені та слабо увігнуті) – 20-50 м. Заплава річки Великий Куяльник має такі характеристики: невелика висота над головним руслом, меандрування русла в межах заплави, де русло не каналізоване, розвиток заплави одного або двох рівнів. За рахунок надходження дрібнозернистого матеріалу зі схилів долини поверхня заплави нарощується. Цей матеріал накопичується в присхильових частинах заплави у вигляді конусів винесення. По схилах долини збереглася перша надзаплавна тераса, заввишки 2-5 м і фрагментами друга тераса, заввишки 7-10 м. Тераси та заплава розорані.

За геоморфологічними умовами долини, р. В. Куяльник поділяється на такі ділянки: верхів'я, верхня та середня, середня, пониззя річки, заплава.

Верхів'я є вузькою глибоко врізаною симетричною долиною, на схилах якої відбувається інтенсивна ерозійна діяльність. Ухил русла становить 0,95⁰/₀₀. Щільність балочної та яружної мережі правого схилу складає 0,30-1,10 шт./км², лівого – 0,20-0,80 шт./км².

Верхня та середня ділянки являють собою широку долину з першою надзапальною акумулятивною терасою з слабо покатым правим і пологим

лівим схилами. Для поверхні водозбору характерна інтенсивна ерозійна розчленованість. Щільність балочної та яружної мережі правого схилу становить 1,20-1,50 км/км², лівого – 1,0-2,2 км/км².

Середня ділянка є частиною долини річки на чорноземах звичайних середньо суглинистих, сильно змитих, з деградованими ділянками, внаслідок інтенсивної ерозії. Щільність балочно-яружної мережі правого схилу дорівнює 5,6-14,7 шт./км², лівого – 10,1-14,4 шт./км². Русло каналізоване.

Пониззя річки описується як широка асиметрична долина з терасами, похилим і сильно покатим правим схилом та пологим і слабо покатим лівим схилом. Долина прорізає відкладення понтичного, меотичного та сарматського ярусів під лесами. Поверхня є ерозійно розчленованою. Щільність балочної мережі на схилах складає 1,4-4,7 шт./км². Русло каналізоване.

Заплава річки – ерозійно-аккумулятивна, з потужністю алювію 1-5 м; ширина заплави – 200-1000 м, відносна висота над середнім меженним рівнем води – від 0,2 до 0,8 м; лісистість – 3,5%, залуженість – 76,6%, розораність – 6,8%, заболоченість – 0,79%, меліорованість – 16,0%, урбанізованість – 8,3%. Русло річки в природних умовах було меандруючим, його ширина на ділянці 170-136 км становила 3-10 м, на ділянці 136-0 км досягала 10-20 м; глибина на плесах дорівнювала 0,8 м, на перекатах – 0,05 м; замулення характеризується шаром 0,3-0,6 м; заростання дорівнює 15-43%.

Схема місцезоположення основних водотоків східного берегу лиману (рр. Довбока, Кубанка, бб. Гільдендорфська, Корсунцівська) показана на рис. 1.2, а їх основні морфометричні характеристики наведені у табл. 1.1.

За адміністративним районуванням басейн Куяльницького лиману розташований на землях Ширяївського, Іванівського, Біляївського та Комінтернівського районів Одеської області [59].

Одещина відносно бідна природними ресурсами, її частка у природно-ресурсному потенціалі України становить лише 3,7% [60]. Разом із тим вона має значні земельні ресурси та виділяється своїм рекреаційним потенціалом (клімат, море, лікувальні грязі, мінеральні джерела, ропа лиманів). У Ширяївському районі, де розташована північна частина водозбору Куяльницького лиману найбільш значущими є земельні природні ресурси (більше 90%). У інших районах Одеської області, які розміщуються у середній та нижній частинах водозбору (табл.1.2), внесок земельних ресурсів у природно-ресурсний потенціал зменшується до 60% і зростає частка рекреаційних ресурсів (близько 30%).

Зміни клімату, інтенсивна експлуатація земельних ресурсів, антропогенне перевантаження, невиконання вимог з охорони водних ресурсів

та збереження курортних зон обумовило кризову екологічну ситуацію на водозборі лиману [1].

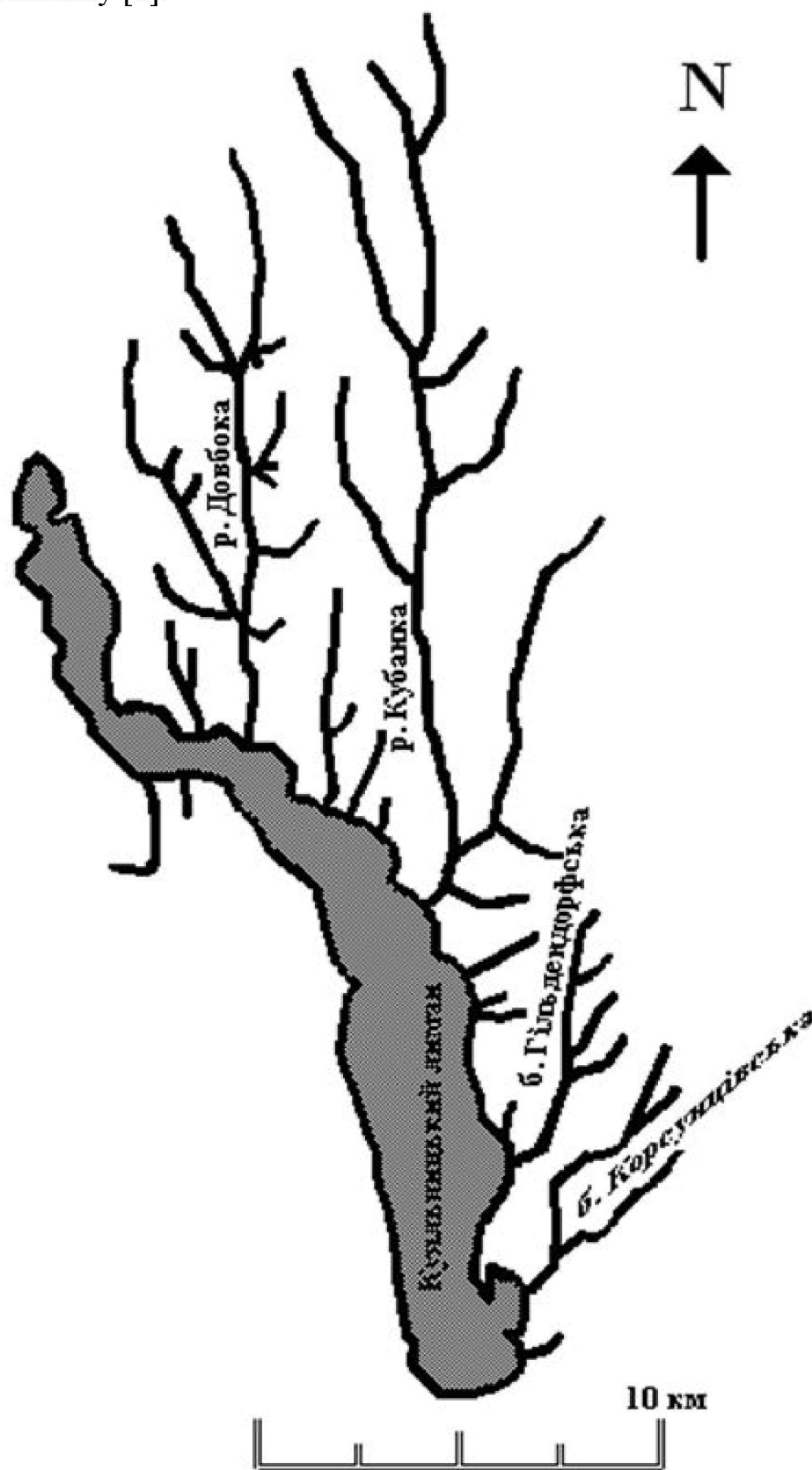


Рисунок 1.2 – Схема русло-балкової мережі східного та західного берегів Куяльницького лиману

Таблиця 1.1 – Морфометричні характеристики основних водотоків (річок та балок) східного берегу Куяльницького лиману та їх водозбірних басейнів (за даними топографічних карт, супутникових знімків і довідникової літератури)

Назва водотоку (в дужках – стара назва)	Куди впадає (лиман, річка балка)	L_p , км	I_p , ‰	$F_{\text{в}}$, км ²	$H_{\text{в}}$, м БС	$L_{\text{в}}$, км	$B_{\text{в-сер}}$, км	$B_{\text{в-мах}}$, км
р. Довбока	лиман Куяльницький	17,0 (15)	4,9 (5,5)	69,5 (68,3)	35	17,0	4,10	5,33
б. Яровка	р. Довбока	8,2	9,4	–	44	8,2	–	–
б. Созонівська	р. Довбока	4,6	10,8	–	58	4,6	–	–
б. Без назви, II	р. Довбока	0,6	39,6	–	48	0,6	–	–
б. Баштанна	лиман Куяльницький	5,8	12,7	8,70	30	6,87	1,27	1,53
б. Мельнична	лиман Куяльницький	2,4	26,2	2,20	25	3,33	0,66	1,00
р. Кубанка (б. Сільська)	лиман Куяльницький	23,2 (17)	3,8 (2,6)	136,5 (129)	37	25,0	5,46	7,60
б. Без назви, I	р. Кубанка	6,0	11,0	–	46	6,0	–	–
б. Тамара	р. Кубанка	8,2	7,0	–	58	8,2	–	–
б. Дикарська (б. Келіміцька)	р. Кубанка	11,0	6,8	–	34	11,0	–	–
б. Без назви, IV	р. Кубанка	4,3	10,9	–	44	4,3	–	–
б. Букачі	р. Кубанка	7,7	6,8	–	55	7,7	–	–
б. Гільдендорфська (б. Димова)	лиман Куяльницький	7,5	8,9	15,0	21	7,9	1,90	3,15
б. Корсунцівська	лиман Куяльницький	5,7	10,4	17,0	20	7,6	2,24	3,41
б. Ільмацька (Нзмацька)	б. Корсунцівська	6,7	7,5	–	31	6,7	–	–

Примітки. **(15)**, **(5,5)** і т. п. – значення з довідникової літератури [57]; L_p – довжина русла, км; I_p – похил русла, ‰; $F_{\text{в}}$ – площа водозбірного басейну, км²; $H_{\text{в}}$ – середня висота водозбору, м БС; $L_{\text{в}}$ – довжина водозбірного басейну, км; $B_{\text{в-сер}}$ – середня ширина водозбірного басейну, км; $B_{\text{в-мах}}$ – максимальна ширина водозбірного басейну, км.

Таблиця 1.2 – Компонентна структура природно-ресурсного потенціалу[60]

Район	Потенціал ресурсів,%					
	Мінераль- них	Вод- них	Земель- них	Лісо- вих	Фауніс- тичних	Природ- них рекреа- ційних
Ширяївський	0,1	3,0	94,3	0,4	0,6	1,6
Іванівський	0,1	1,0	63,1	0,6	0,4	34,8
Біляївський	2,5	17,8	48,6	0,8	0,3	30,0
Комінтернівський	2,1	1,6	59,7	0,2	0,4	36,0

1.2 Кліматичні ресурси

За кліматичним районуванням водозбір Куяльницького лиману відноситься до південної кліматичної області [61]. На півночі розглядуваної території клімат теплий, помірно вологий із невеликою тривалістю залягання стійкого снігового покриву взимку. Середня частина характеризується дуже теплим, посушливим кліматом із відсутністю стійкого снігового покриву. У нижній частині водозбору клімат спекотний, посушливий із теплою зимою [62]. Згідно із роботою [48] досліджуваний водозбір належить до Південної Атлантико-Континентальної кліматичної області і вміщує до себе північний кліматичний район степової зони, південний кліматичний район степової зони та узбережжя степової зони.

Сумарна сонячна радіація (рис. 1.3) змінюється по території водозбору від 4300 МДж/м² на північному заході до 4600 МДж/м² – на південному сході. Особливістю клімату є значна кількість сонячних днів – до 290 на рік. Тривалість комфортного відпочинку на одеському узбережжі Чорного моря становить 120 днів. Число днів із середніми добовими температурами понад 15 °С змінюється від 110 до 140 у напрямку до морського узбережжя.

Взимку на погодні умови впливає Сибірський антициклон, значно меншим є вплив арктичних антициклонів. У теплий період переважає дія Азорського антициклону. Активна циклонічна діяльність пов'язана із південними циклонами, які надходять до Північно-Західного Причорномор'я від Середземного моря з жовтня до березня [50]. Влітку значна тривалість сонячного сяйва забезпечує високі температури повітря й поверхні суші. Найбільш теплі місяці – липень та серпень. Взимку переважає нестійка похмура погода з частими відлигами та короткочасними похолоданнями.

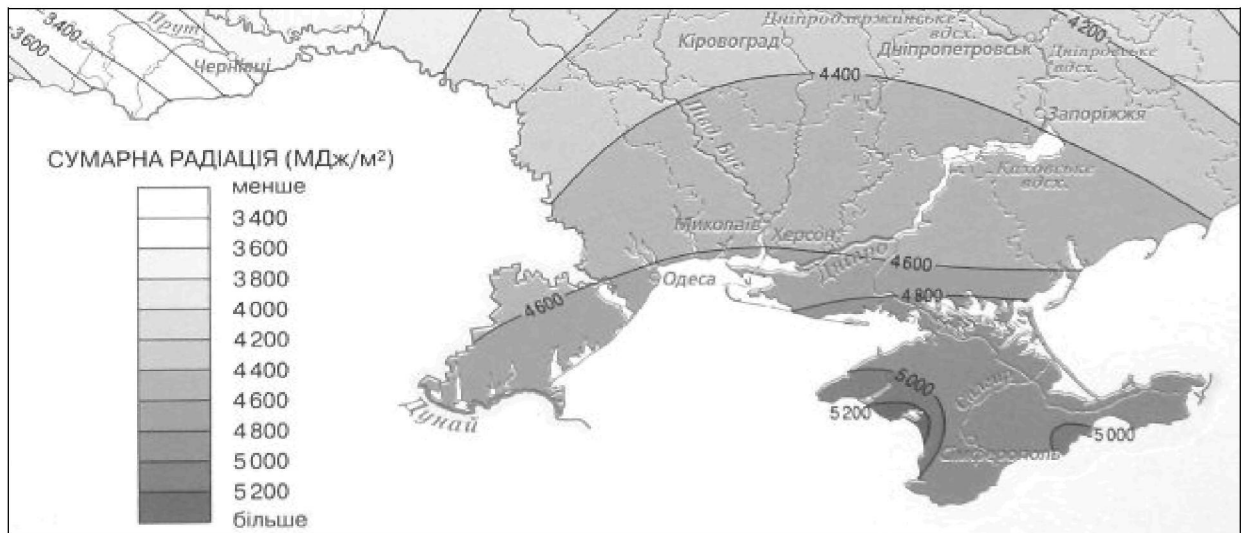


Рисунок 1.3 – Сумарна сонячна радіація за рік [48]

Відлиги виникають завдяки надходженню теплого середземноморського повітря, похолодання – арктичного

Початок весни пов'язується із переходом температури через 0°C й відбувається у березні. Кінець весни та початок сезону літо відповідає переходу температури через 15°C , яке відбувається у травні. Кінець літнього сезону також установлюється за датою переходу температури повітря через 15°C . Близько 95 % опадів має адвективне походження. Опади холодного періоду випадають рівномірно і пов'язані із виходом на територію середземноморських циклонів або вторгненням холодних арктичних повітряних мас. Влітку опади обумовлені проходженням холодних фронтів з потужною конвективною хмарністю.

Середня багаторічна місячна температура січня знаходиться у межах від мінус 3 до мінус 4°C , квітня – $9,0^{\circ}\text{C}$, липня – більше 22°C , жовтня – $10-11^{\circ}\text{C}$ [59]. Зареєстровані максимальна і мінімальна температури повітря відповідно становлять 37°C і мінус 29°C , відповідно. Число днів за рік з середньою добовою температурою повітря понад 5°C дорівнює 220-230 днів, понад 10°C – 175-180 дням, понад 15°C – 130-140 дням. Тривалість періоду без заморозків становить 180-190 днів. Середні з абсолютних мінімумів температури дорівнюють мінус 18 – мінус 19°C . Число посушливих днів (з вологістю повітря менше 30 %) становить в середньому 27 на рік. Імовірність настання бездошових періодів тривалістю більше 40 днів дорівнює 75 %, більше 50 днів – 35 %. Кількість днів з температурою повітря понад 30°C та вище дорівнює 20 – 30 у середній частині водозбору. За рахунок пом'якшення клімату морем таких днів буває менше 20 – на узбережжі. Стійкий сніговий покрив спостерігається менше, ніж у 50 % випадків. Найбільша глибина промерзання ґрунту досягає 0,70 м. Переважаючими є

вітри північного і північно-західного напрямків. Середня річна швидкість вітру становить 3,3 м/с.

Клімат Одещини посушливий і це є негативною характеристикою з точки зору сільського господарства. Вегетаційний період (з середньодобовими температурами понад 5 °С) триває 200-210 днів, а період активної вегетації (з середньодобовими температурами понад 10 °С) становить 165-170 днів.

Температурний режим у минулі два десятиріччя почав змінюватись завдяки дії глобального потепління. Перехід температури через 0°С навесні тепер настає раніше, подовжилася тривалість періоду із температурами більше 0°С. В зоні Північного степу вона зросла на 20 днів, у зоні Південного – на 12 днів. Дати переходу через 5 °С у Південному степу настають на 8-9 днів раніше середніх багаторічних.

Вегетаційний період (з середньодобовими температурами повітря понад 5°С) вже становить 224-228 днів, а період активної вегетації розширився на 4-5 днів. Дати переходу температури через 15 °С та кількість річних опадів змінилися незначуще. Було відмічено зменшення опадів за сезон зима, та їх зростання – восени. Сумарне випаровування з поверхні суші зросло на 40-70 мм [3].

Щодо оцінки біокліматичного потенціалу безпосередньо території Куяльницького лиману, то інтенсивність сумарної сонячної радіації тут становить 4600 мДж/м², тривалість сонячного саява за рік - 2220 год., число днів без сонця за рік змінюється у межах 65-70, швидкість вітру - 3-4 м/с, число днів з $t \geq 15^{\circ}\text{C}$ - 130, тривалість періоду можливої геліотерапії – 5 місяців, тривалість купального сезону - 114 діб, вологість повітря – 67% [63].

Таким чином, природні кліматичні ресурси залишаються сприятливими для розвитку зеленого туризму та рекреації [64].

1.2.1 Кліматичні особливості на території лиману

Деякі кліматичні особливості, що властиві тільки Куяльницькому лиману, відмічені ще в першій половині ХХ ст. В.О. Пальчинським [56], які справедливі і для сучасних кліматичних умов, оскільки відображають загальні закономірності природних процесів, що відбуваються на лимані. Він характеризував клімат лиману, як клімат *«типової лиманної балки»*. Для Куяльницької балки характерні п'ять мікрокліматичних зон: вузька смуга уздо вж схилу так званої Жевахової гори, яка зайнята санаторіями;

пляж лиману; східний схил Жевахової гори; вододільне плато; парк на ділянці санаторію.

Характерною особливістю кліматичних умов на лимані є перевищення в денний період доби температур повітря в районі лиману над відповідними значеннями, спостереженими в районі метеостанції «Одеса-Обсерваторія», яке може досягати 4°C. Це пояснюється різним ступенем вентиляції в денний період доби Куяльницької балки та Приморського плато, а в темну частину доби – надходженням холодного повітря зі схилів так званої Жевахової гори. Крім того, значення абсолютної вологості повітря на узбережжі лиману є дещо вищими, ніж на метеостанції «Одеса-Обсерваторія» [65]. Виявлені кліматичні особливості представлені у вигляді емпіричних залежностей (рис. 1.4).

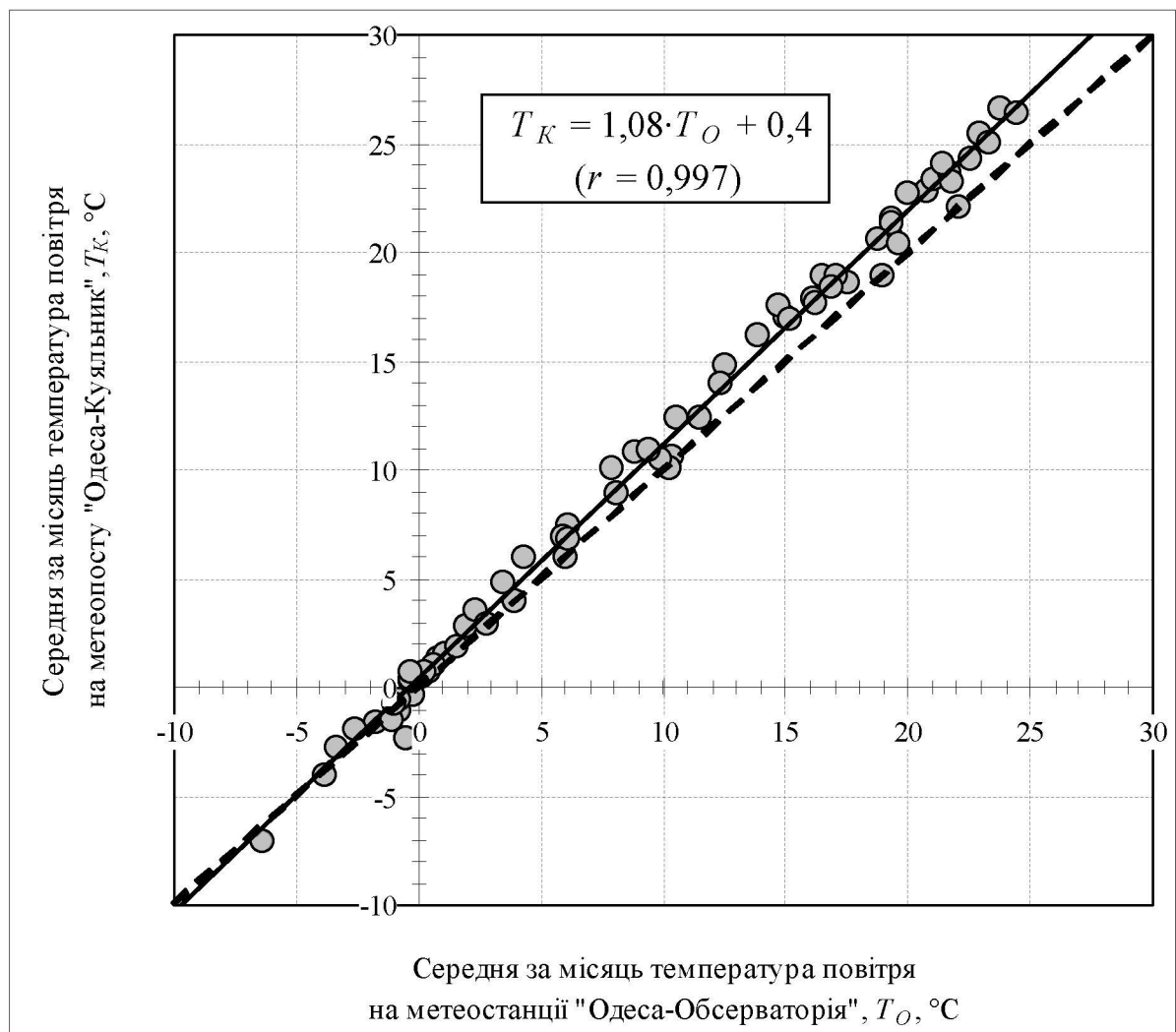


Рисунок 1.4 – Зв'язок між середньомісячними температурами повітря (°C) на Куяльницькому лимані T_K (метеопост «Одеса-Куяльник») та метеостанції «Одеса-Обсерваторія» T_O (за даними ГРЕС [29]):

● – виміряні значення; — — — — — лінія зв'язку; - - - - - лінія рівних значень

Істотних відмінностей в річних сумах опадів, виміряних на метеостанції «Одеса-Обсерваторія» та в районі лиману не встановлено (табл. 1.3). Однак, в окремі роки, місяці та дні відмінності в кількості опадів в районі лиману та на метеостанції «Одеса-Обсерваторія» можуть бути істотними, особливо під час зливових опадів з невеликою площею розповсюдження, що випадають в теплий період року (рис. 1.5).

Випаровування з водної поверхні Куяльницького лиману менш інтенсивне, ніж випаровування з водної поверхні прісних водойм, що пов'язано з високою мінералізацією води (ропи) лиману. Для порівняння величин випаровування розсолів різної концентрації розроблений коефіцієнт випаровуваності k_s , який визначається як відношення величин випаровування розсолу тієї чи іншої концентрації до величини випаровування прісної води. Він завжди менше одиниці та зменшується з підвищенням мінералізації води (S , г/дм³) [19, 52, 66-68]. При мінералізації води 90-330 г/дм³ коефіцієнт випаровуваності дорівнює: $k_s = 1 - 0,002 S$.

Таблиця 1.3 – Перехідні коефіцієнти k_p від місячних і річних шарів атмосферних опадів на метеостанції «Одеса-Обсерваторія» до місячних і річних шарів атмосферних опадів на Куяльницькому лимані [65]

Місяць	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Рік
k_p	0,85	0,83	0,85	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,92	0,90	0,87	0,94

1.3 Мінеральні ресурси

Одним з найважливіших видів природних ресурсів є мінеральні [69]. Мінеральні ресурси, утворені в надрах і на поверхні землі, з давніх часів широко використовуються людством і тому отримали назву корисних копалин. Корисні копалини діляться на декілька груп. Горючі корисні копалини включають до себе газоподібні, рідкі (нафта, конденсат) та тверді речовини (вугілля, торф, горючі сланці). До другої групи відносяться металеві корисні копалини. Третю групу утворюють неметалеві корисні копалини, які мають виробниче призначення (глини, пісок, вапняк та ін.). Четверта група базується на гідрологічній і гідрогеологічній інформації й поєднує у собі підземні води (мінеральні, прісні, промислові, термальні) та поверхневі води (ропа). П'яту групу складають деякі компоненти повітряної оболонки, що являють окрему господарську цінність (аргон, гелій, криптон, неон).

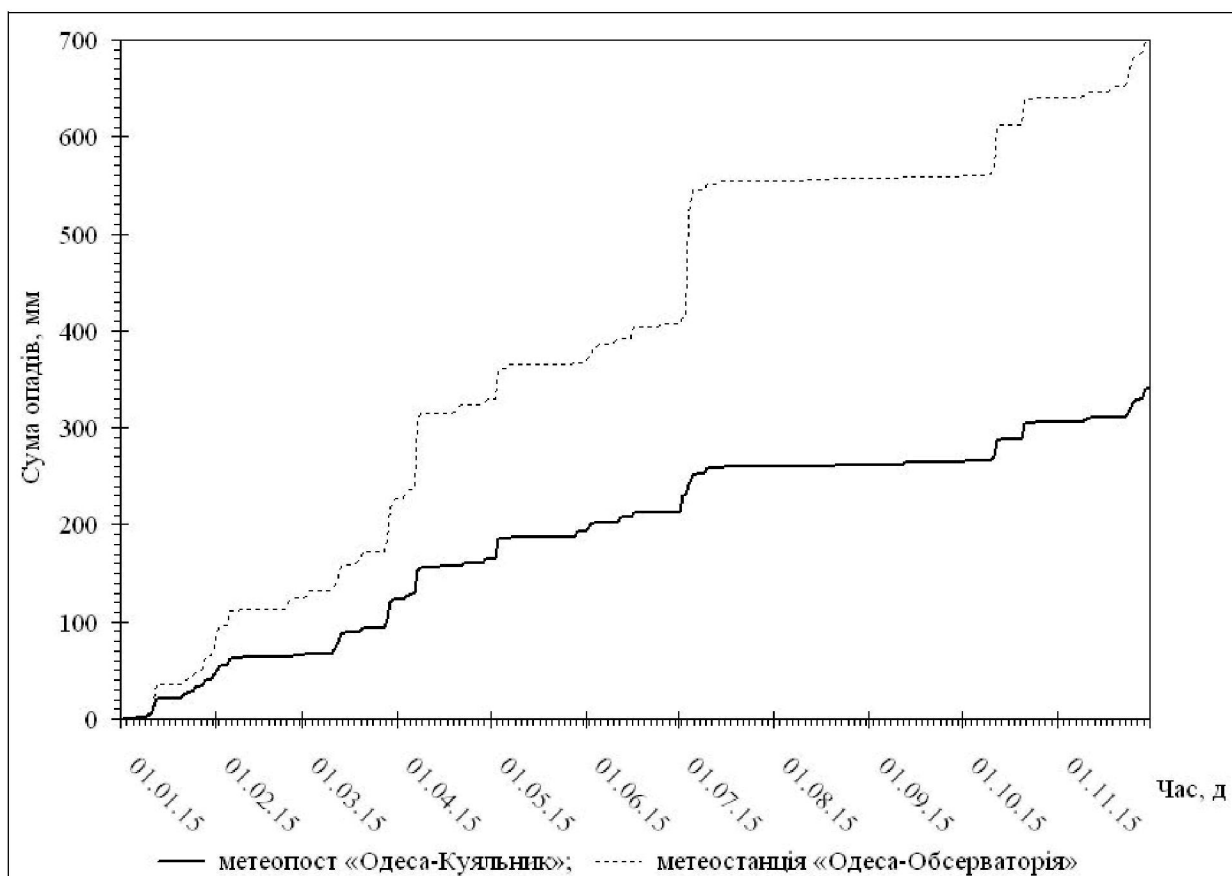


Рисунок 1.5 – Суми атмосферних опадів (мм) на Куяльницькому лимані P_K (метеопост «Одеса-Куяльник») та метеостанції «Одеса-Обсерваторія» P_O за період з 1 січня по 30 листопада 2015 р. (за даними ГМЦ ЧАМ [19])

Територія водозбору Куяльницького лиману знаходиться у Південному нафтогазоносному районі [49], але ніяких робіт, пов'язаних із видобутком цих корисних копалин тут не проводилось. Основним джерелом нафтового забруднення водойм була промивально-пропарювальна станція Одеської залізниці (ППС), яка діяла протягом 60 років і закрилася в січні 2000 р. У ставках-накопичувачах знаходилися змивні відходи нафти, більша частина яких представлена донними відкладеннями з вмістом нафтопродуктів (НП) 43,0 - 83,3%. У воді ставків, розташованих на території ППС, вміст НП становить 8,48 - 11,76 мг/дм³, а в «віддалених» озерах - 0,90 мг/дм³. У зв'язку з високим вмістом НП в ґрунті санітарно-захисної зони лиману і у воді ставків, район досліджень класифікується як «зона екологічного лиха». В даний час ведуться роботи з виїмки забруднених нафтою донних осадів зі ставків, видалення забруднених ґрунтів і рекультивації території ППС [70].

З різноманітних нерудних корисних копалин на водозборі Куяльницького лиману найбільше поширення мають пісковики. Видобуток піску ніколи не був поставлений у межах водозбору на індустріальну основу,

однак у останні роки відбувається незаконний видобуток піску як у заплаві (з берегів р. Великий Куяльник), так і з Куяльницького лиману. Зокрема, поблизу села Северинівка Іванівського району Одеської області протягом останніх років здійснюється незаконне видобування піску з кар'єрів, яке призводить до перекриття русла річки Великий Куяльник і є порушенням екологічного законодавства, у тому числі й Кодексу України «Про надра».

Основну цінність мінеральних ресурсів досліджуваної території складають родовища мінеральних вод. Переважають хлоридні води різного катіонного складу. До цього типу належить гідрокарбонатно-хлоридна вода “Куяльник” з мінералізацією 3,1 г/дм³. Родовище лужних лікувальних грязей (мулуватих відкладів лиману) є одним з найбільших в Україні.

Враховуючи руйнівний вплив, який зазнає екологічно уразлива природна екосистема лиману від будь-якої господарської діяльності, доцільним є встановлення лімітів видобутку лікувальних природних ресурсів та введення мораторію на видобуток корисних копалин [71].

1.3.1. Гідрогеологічні особливості басейну

За гідрогеологічним районуванням розглядувана територія входить до Північного крила Причорноморського артезіанського басейну. На території басейну Куяльницького лиману у верхній його частині поширені і використовуються підземні води середньосарматських відкладень, місцями – балтських, тортонських, а також відкладень Київського ярусу полеогену (I^A_1). Середня частина характеризується використанням підземних вод середньосарматських відкладень (I^D_1), нижня – верхньосарматських, меотичних і понтичних відкладень (I^K_1) [59]. У літологічному складі порід, які вміщують воду, переважають піщаники (рис. 1.6).

Неогенові відклади середнього сарматського ярусу розміщені повсюди: на вододілах – на глибинах 130-150 м, в долинах річок і балок – на глибинах 5-70 м. Вони мають потужність 30-80 м [72] та представлені вапняками, рідше мергелями, пісками, глинами. Неогенові відклади верхньосарматського ярусу розміщені в середній і південній частинах басейну: на вододілах – на глибині 80-120 м, а в долинах річок і балок – на глибинах 1-35 м, мають потужність 10-60 м, складаються з пісків, вапняків, інколи чергуються з глинами [73]. Неогенові відклади меотичного шару розташовані в середній і південній частині басейну, на вододільному плато та на схилах, з глибиною від 1 м – на схилах, до 90 м – на вододілі, потужністю від 5 до 40 м, переважають глини з прошарками піску й алевроїтів. Неогенові відклади

В гирловій частині р. В. Куяльник та у верхів'ях Куяльницького лиману нижче мулів (потужністю до 4 м) залягають алювіальні піски пилюваті та дрібнозернисті, супіски, суглинки. Їхня загальна потужність складає 4-7 м. Лиманно-алювіальні породи підстилаються глинами верхньосарматських відкладів неогену. Оскільки ці відклади мають дуже мінливий літологічний склад, укладаючи в товщі глин прошарки і лінзи пісків, вапняків, ракушки з піском, спорадичний алювій заплави може залягати на цих водопроникних породах.

Літологічний склад відкладень пересипу між Одеською затокою Чорного моря та Куяльницьким лиманом представлений насипним шаром, зеленувато-сірим мулом, мулистим піском, уламками вапняку з перетертим детритом, піском кварцевим грубозернистим (рис. 1.7) [74].

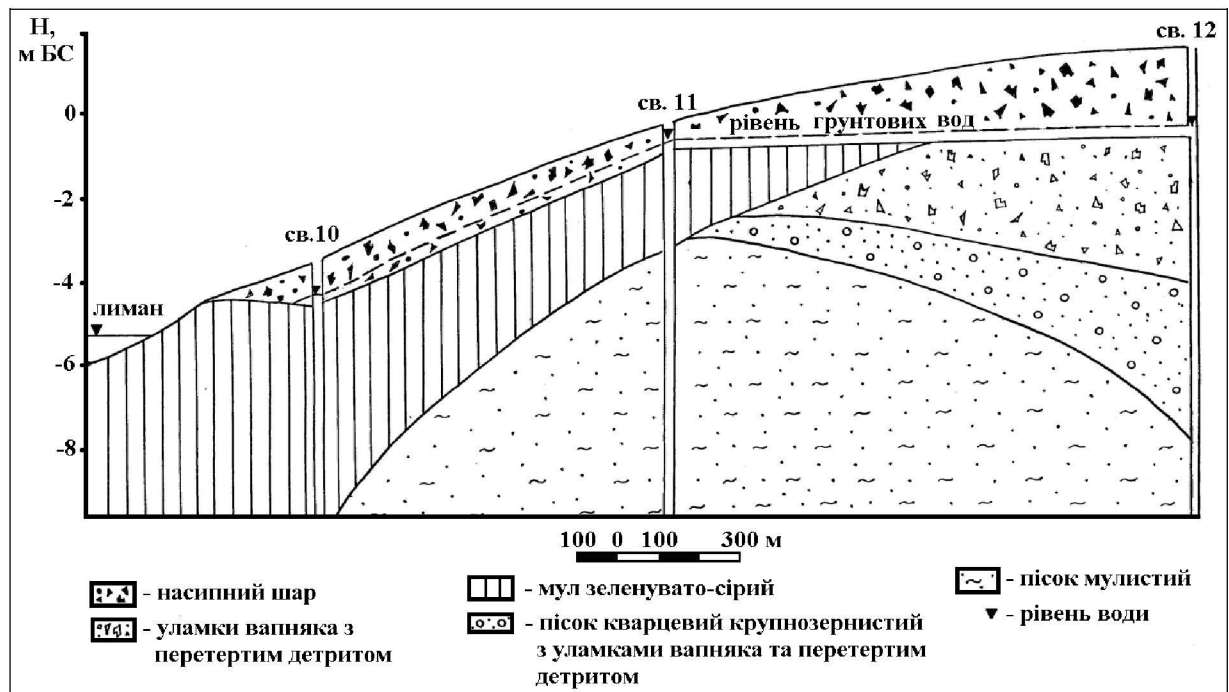


Рисунок 1.7 – Гідрогеологічний розріз пересипу між лиманом і морем [74]

На гідрогеологічному (геолого-технічному) розрізі у паспорті артезіанської свердловини № 10 показано, що у верхньосарматських відкладах підземні води знаходяться на глибині 70,4 м (мінус 72,6 м БС). За даними паспорта свердловини № 10 визначено, що рівень води в ній на початку експлуатації (у 1974 р.) складав мінус 14,3 м БС, тобто був на 5-7 м нижче дна лиману. У палеогеновому водоносному горизонті в південно-західній частині Куяльницького лиману підземні води знаходяться на глибинах 210-225 м, тому не можуть бути джерелом живлення лиману [75].

1.4 Земельні ресурси

Аналіз структури земельного фонду показує, що більше 80% загальної площі на території водозбору Куяльницького лиману становлять сільськогосподарські угіддя, 81-85% з яких припадає на орні землі. Багаторічні насадження займають 4-5%, пасовища – 11-15%. Одним із основних критеріїв якісної оцінки сільськогосподарських угідь виступає родючість ґрунтів, яка визначається за таким показником як гумус. Від кількості гумусу залежить не лише врожайність рослин, але й спрямованість процесів формування ґрунту, їхнього екологічного стану, ландшафту, а також ефективність заходів по підвищенню родючості ґрунтів та охорони навколишнього середовища. Середній вміст гумусу на водозборі Куяльницького лиману дорівнює 4-5%.

За ґрунтово-географічним районуванням водозбірний басейн Куяльницького лиману розташований у сухостеповій зоні із чорноземами малогумусними та слабогумусними з важкосуглинковим механічним складом (рис. 1.8), що утворилися під ковило-типчakovими степами в умовах посушливого клімату.



Рисунок 1.8 – Ґрунтовий покрив у басейні Куяльницького лиману [48]:

— — — — — руслу річок і балок та межі водозбірних басейнів водотоків

На території басейну переважають такі ґрунти: чорноземи південні важкосуглинкові та легкосуглинкові, чорноземи звичайні малопотужні малогумусні важкосуглинкові і легкоглинні, чорноземи звичайні середньогумусні важко- і легкосуглинкові, чорноземи звичайні середньогумусні потужні важко- і легкосуглинкові [58, 76].

Басейн Куяльницького лиману розташований в ерозійному районі Чорноморсько-Приазовської провінції сильно розвиненої вітрової ерозії ґрунтів (згідно районування території України з потенційної небезпеки ерозійних процесів) [59], тому структура ґрунтового покриву формується під дією ерозії. Ступінь прояву ерозії в басейні класифікується таким чином: сильна водна (52,31% змитих ґрунтів), середня вітрова (вітроерозійний індекс 1,0-1,7). Вплив ерозійних процесів проявляється:

а) у зменшенні потужності гумусових горизонтів, запасів гумусу, валових та рухомих форм азоту, фосфору, калію та інших елементів живлення рослин;

б) у розпилюванні структури, зменшенні кількості водостійких агрегатів, підвищенні щільності горизонтів, заселених корінням, зменшенні водовбирної і фільтраційної здатності, посиленні ґрунтової посухи.

У зв'язку з цим всі заходи поліпшення земель (організаційно-господарські, агротехнічні, меліоративні і гідротехнічні) повинні носити ґрунтозахисний характер.

Екологічна стійкість ґрунтів знижена, показник екологічної стійкості ґрунтів (ПЕСГ) становить 0,5.

Високий ступінь розораності вододільних і привододільно-схиливих територій (близько 75%) є однією з причин різкого зменшення припливу річкових вод до лиману і його подальшого обміління. Стала очевидною тенденція до полегшення гранулометричного складу, зменшення вмісту гумусу і зміни структури верхніх горизонтів чорноземів в порівнянні з 50-60-ми роками минулого століття. Вітрова ерозія розораних ґрунтів в останні 30-50 років і видування найбільш дисперсних частинок (розміром менше 0,01 мм), у тому числі й гумусових обумовили деградацію ґрунтів. Причиною зменшення вмісту гумусу у ґрунтах регіону є зменшення надходження до них рослинних залишків і практична відсутність внесення органічних добрив в останні десятиріччя [15]. Інтенсивне землеробське освоєння територій рівнинних вододілів і привододільних пологих схилів призвело до інтенсифікації процесів виникнення зсувів і погіршення стану екосистеми Куяльницького лиману в цілому.

Колективами Одеського національного університету імені І.І. Мечникова та Фізико-хімічного інституту захисту навколишнього середовища і людини для оптимізації природоохоронно-екологічного стану

грунтів і земель басейну Куяльницького лиману було запропоновано зменшити розораність схилів і збільшити частку трав в структурі сівозмін. Місцеві землі рекомендується відвести під сінокоси та ділянки з обмеженим випасом худоби.

Ділянки прибережно-берегових схилів, ускладнені ярами, балками і зсувами, оголеннями вапняків, які традиційно використовуються під пасовища, потребують проведення заходів щодо поліпшення травостою шляхом підсіву цінних в кормовому відношенні трав, ліквідації бур'янів. Найбільш обривисті ділянки узбережжя лиману необхідно повністю відвести під ґрунтозахисні, берего- та водоохоронні лісонасадження [14].

Ще одним напрямком збереження ґрунтового покриву та відновлення родючості земель стане відновлення природних угідь у місцях існування еродованих, засолених і заболочених земель та перетворення їх на степ, луки, чагарники, ліси.

1.5 Водні ресурси

Під терміном «водні ресурси» розуміють всі води території (поверхневі і підземні), придатні до використання. Теоретично водні ресурси на відміну від мінеральних відносяться до відновлюваних природних ресурсів [77]. Проте з огляду на зростаючий вплив господарської діяльності людини саме поняття відновлюваності стає умовним. Основну частину водних ресурсів у басейні Куяльницького лиману становлять поверхневі води, які існують безпосередньо на денній поверхні (води річок, струмків, каналів) та природних і штучних водойм. Інтегральною характеристикою водних ресурсів є середні багаторічні величини річного стоку річок. Основними водотоками, які живлять лиман, є малі та середні річки, серед яких основне місце належить річці Великий Куяльник із довжиною 150 км, похилом 0,7 ‰ та площею водозбору, яка дорівнює 1860 км². Через відсутність даних спостережень за стоком та через значну його трансформацію водогосподарськими перетвореннями водні ресурси водотоків водозбору Куяльницького лиману визначалися за моделлю «клімат-стік» [42]. Отримано, що середній багаторічний об'єм припливу прісних вод у не порушених водогосподарською діяльністю умовах до 80-х років минулого сторіччя, визначений за моделлю «клімат-стік» [42], становив би 22,2 млн.м³, але через вплив господарської діяльності він зменшився на 38% (до 13,2 млн.м³) [78]. За В.М. Тімченком [79], надходження до Куяльницького лиману прісних вод із опадами за багаторічний період становило 28 млн.м³, а

випаровування – 45,2 млн.м³. З цього витікає, що у природних умовах приплив прісних вод до лиману перевищував витратну складову, а за рахунок водогосподарської діяльності надходження прісних вод від водотоків зменшилося і почалося формування дефіциту водного балансу, яке посилювалося у минулі два десятиріччя завдяки змінам клімату і призвело до негативних наслідків у гідроекологічному стані лиману.

Що стосується підземних вод, то їх роль у формуванні водного балансу лиману вкрай незначна. За запасами підземних вод Одеська область займає передостаннє місце в Україні. Через маловодність річок водозбору Куяльницького лиману та антропогенний вплив для господарсько-питного водопостачання використовуються підземні води, але добра третина свердловин водозбору знаходиться у незадовільному технічному і санітарно-екологічному стані. Грунтові та артезіанські води мають високий вміст шкідливих речовин, які надходять до води з поверхні через недбало організовану господарську діяльність. Законодавчо в Україні виділена категорія земель, яка має назву земель водного фонду, до неї належать водоохоронні зони, прибережні захисні смуги, берегові смуги, смуги відведення, зони санітарної охорони, але законодавчі постанови не виконуються.

Обчислення середнього багаторічного значення підземної складової річного стоку, виконані на основі генетичного підходу А.М. Бефані [80], з використанням просторових узагальнень розрахункових параметрів, наведених у роботі В.Г. Сорокіна [81], показали, що підземна складова стоку (у природних умовах) з водозбору р. Великий Куяльник становить 1,44 млн.м³, а з водозбору р. Кубанка – 0,43 млн. м³. Площа водозбору, при якій можливе підземне живлення річок (перша критична площа), становить тут 100 км². Отже, на водотоках із площею меншою 100 км² (р. Довбока та інші балки) середня багаторічна величина підземної складової стоку дорівнює нулю. Надходження значущих об'ємів стоку з балки Корсунцівської, про яке говорять деякі автори [82], пов'язана із скидами комунально-побутових неочищених вод [47].

До водоносних горизонтів, які дренуються руслом річки, відносяться горизонти четвертинних алювіальних відкладень [58]. Водоносний горизонт в сучасних алювіальних (a_{IV}) і алювіально-делювіальних (ad_{IV}) відкладах поширений у заплаві річки і тальвегах балок. Водовміщуючими породами є піски, супіски, суглинки (інколи з включеннями гравію та гальки). Живиться горизонт інфільтрацією атмосферних опадів, фільтрацією з поверхневих водотоків, підтоком вод з інших водоносних горизонтів. Розвантаження водоносного горизонту відбувається в меженний час в русло річки, а також за рахунок дренажу колодязями. Глибина залягання становить 0-5 м,

потужність горизонту 0,5-12 м. Природні коливання рівня води знаходяться у межах 1-2 м, питомий дебіт – 0,05-0,45 дм³/с, продуктивність водозаборів досягає 0,02-0,5 дм³/с. Цей горизонт використовується для господарсько-побутових цілей.

Водоносний горизонт в еолово-делювіальних відкладах (vd_{I-III}) розповсюджений на вододільному плато та його схилах. Водовміщуючими породами є лесовидні суглинки. Живлення відбувається за рахунок інфільтрації атмосферних опадів у підстильну поверхню. Водоносний горизонт розвантажується через випаровування, а також шляхом природного і штучного дренажу. Глибина залягання на вододільному плато становить 1-15 м, на схилах плато – 0-5 м, потужність горизонту складає 1-5 м, питомий дебіт - 0,2-0,3 дм³/с, продуктивність водозабірних споруд - 0,02-0,4 дм³/с. Горизонт використовується для господарських і питних цілей.

Особливістю більшості річок Північно-Західного Причорномор'я є глибоке розташування багатих водою горизонтів у сарматських відкладеннях. По мірі наближення до моря ці горизонти ще більше заглиблюються, що спричиняє неможливість їх розвантаження у русла малих та середніх річок, які недостатньо глибоко вриваються у підстильну поверхню. В результаті живлення річок підземними водами є дуже незначним, через що вони пересихають у маловодні періоди року та у дуже маловодні роки.

Зміни клімату, які відбуваються у останні десятиріччя, починаючи з 1989 р. [9], супроводжуються зростанням температур повітря на фоні незмінних опадів. Ця обставина посилює випаровування з поверхні суші та водної поверхні, що знов таки сприяє зростанню дефіциту водного балансу лиману та його обмілінню.

Протягом останніх п'яти років спостерігається пересихання річок Суха Журівка, Кошківка та інших річок водозбору річки Великий Куяльник [71]. Нещодавно було зафіксовано повне пересихання річки Великий Куяльник на території Ширяївського району у межах ділянки довжиною 61,5 км, що складає 80% від загальної довжини річки на території цього району. Крім того, на території Ширяївського району в басейні цієї ж річки зафіксовано повне пересихання 18 ставків. На території Іванівського району повністю пересохло 16 ставків, на території Котовського району - 11 ставків.

Зменшення стоку р. Великий Куяльник частково компенсується зростанням надходження вод з балок, які впадають у південну частину лиману (балки Корсунцівська, Гільдендорфська). Проте, ці води, як вже відмічалось є забрудненими комунально-господарськими відходами [47]. Очисні споруди знаходяться на водотоках лиману у незадовільному технічному стані. Через фінансові труднощі не здійснюється реконструкція

каналізаційних мереж та очисних споруд [82]. Вже протягом декількох десятиріч не будуються очисні споруди навколо Куяльницького лиману. Скид стічних вод у річку Великий Куяльник здійснюється житлово-комунальним господарством смт Іванівка, у Куяльницький лиман – ДП «Клінічний санаторій ім. Пирогова», м. Одеси. Стічні води ЖКГ смт Іванівка відносяться до категорії недостатньо-очищених, стічні води ДП «Клінічний санаторій ім. Пирогова» – до нормативно-чистих без очищення. Зокрема, не виконуються вимоги чинного законодавства, ст. 28 Закону України «Про курорти», що передбачає створення округу санітарної зони (рис. 1.9), в межах якого забороняються будь-які роботи, що призводять до забруднення ґрунту, повітря, води, завдають шкоди лісу, іншим зеленим насадженням, сприяють розвитку ерозійних процесів і негативно впливають на природні лікувальні ресурси, санітарний та екологічний стан природних територій курортів [83].

З метою запобігання забрудненню поверхневих та підземних вод необхідно здійснювати будівництво нових та реконструкцію існуючих очисних споруд, впроваджувати нові технології очищення стічних вод, оптимізувати господарську діяльність на землях водного фонду [60].

1.6 Рекреаційні ресурси

Під рекреаційними ресурсами розуміють компоненти природного середовища та об'єкти господарської діяльності, які характеризуються унікальністю, оригінальністю, естетичною привабливістю, лікувально-оздоровчим значенням і можуть бути використані для організації різних видів і форм рекреаційної діяльності [84].

Рекреаційний потенціал є системою природних, історико-культурних об'єктів та їхніх властивостей, які використовують (або які можна використовувати) у рекреаційній діяльності. Він є функціональною основою рекреації і, в певному розумінні, її складовою частиною. Оцінка рекреаційного потенціалу території показує, що його якісні і кількісні параметри в поєднанні з суспільно-географічними чинниками є важливими об'єктивними передумовами розвитку рекреаційного комплексу регіону.

Основними складовими частинами рекреаційних ресурсів є природні та соціально-економічні комплекси. Природні комплекси розглядаються з позицій якості природних умов та технічного оснащення. Соціально-економічні рекреаційні ресурси включають різноманітні культурні об'єкти, пам'ятки архітектури, етнографічні особливості.

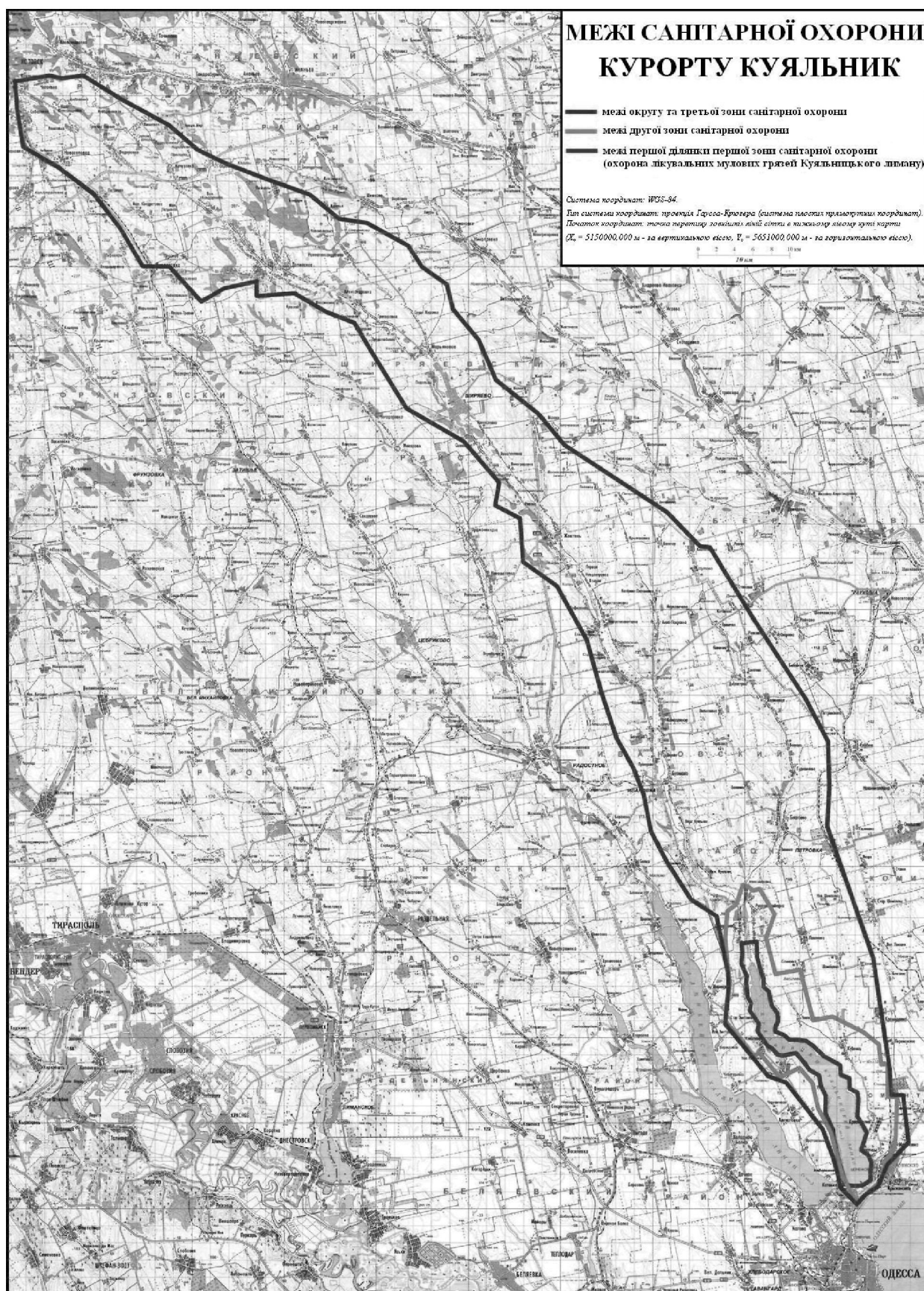


Рисунок 1.9 – Місцезнаходження басейну р. В. Куяльник та границі санітарної охорони курорту Куяльник [1]

Традиційною формою рекреаційної діяльності завжди було санаторно-курортне лікування та оздоровлення. Традиційними формами лікування є використання різноманітних мінеральних вод та лікувальних грязей. Саме розвиток лікувально-оздоровчого напрямку визначили і майбутню спеціалізацію рекреаційного комплексу Одеси [85].

Перший лікувальний заклад для надання «тепліх ван» був відкритий у 1833 р. на березі Куяльницького лиману. Тут під керівництвом дивізійного лікаря Е.С. Андріївського були використані медичні технології грязелікування та водолікування. У 1876 р. за ініціативою відомих вчених і лікарів О.О. Мочутківського та О.А. Веріго було створено Одеське бальнеологічне товариство, яке сприяло розвитку курортів на лиманах і зростанню їх популярності. У 1892 р. за ініціативою бальнеологічного товариства на Куяльницькому лимані побудували новий грязелікувальний заклад, який функціонує і зараз. Курорт спеціалізується на лікуванні хворих із захворюваннями суглобів, опірно-рухового апарату, хворих дитячим церебральним паралічем, нервової системи, шкірних захворювань та інших.

Куяльницький лиман відноситься до Куяльницької медичної підзони, медична спрямованість якого визначається наявністю пелоїдів та ропи Куяльницького лиману, мінеральних вод Куяльницького родовища та клімату, які об'єднують властивості морського та степового типу [34, 86, 87].

До природних лікувальних ресурсів курорту належать:

- мінеральні води Куяльницького родовища (св. № 9, 15, 16, 8, 10);
- лікувальні грязі (пелоїди) південної частини лиману;
- ропа лиману;
- кліматичні умови.

Мінеральні води Куяльницького родовища використовуються для лікування в санаторії ім. Пирогова (св. № 9, 15, 16, 8, 10) захворювань серцево-судинної системи, опірно-рухового апарату, патології гастродуоденальної системи тощо. Середньомінералізовані хлоридні натрієві води (св. № 9, 15, 16) використовуються для розведення ропи лиману і у подальшому – для зовнішніх процедур у водогрязелікарні курорту при серцево-судинних, нервових, гінекологічних, кожних захворюваннях та хворобах опірно-рухового апарату.

Пелоїди Куяльницького лиману представлені двома різновидами – мулом чорним та підстилаючим його мулом темно-сірим. Пелоїди належить до слабкосульфідних високомінералізованих хлоридних магнієво-натрієвих мулів. У 1975 р. Одеський інститут курортології виконав геологорозвідувальні роботи щодо вивчення пелоїдів Куяльницького родовища. Результати цих робіт дозволили всебічно охарактеризувати лиман, виявити стан його пелоїдів, здійснити підрахунок геологічних і балансових

запасів лікувальної грязі, а також надати рекомендації щодо подальшої експлуатації родовища та регулювання водного балансу лиману. На той час було встановлено, що геологічні запаси чорного мулу складають 15029 тис. м³, чорного і темно-сірого — 23848 тис. м³; балансові запаси визначені таким чином: чорного мулу – 11042 тис. м³, чорного і темно-сірого – 15327 тис. м³ [87].

Постановою Ради Міністрів Української РСР «О границах округа и зон санитарной охраны курорта Куяльник в Одесской области» № 102 від 07.03.1985 р. Куяльницький лиман офіційно був визнаний курортом “Куяльник” загальнодержавного значення, а також були затверджені границі округу та зон санітарної охорони курорту у відповідності з діючою на той час нормативною базою. Постановою Кабінету міністрів України «Про затвердження переліку водних об’єктів, що відносяться до категорії лікувальних» № 1499 від 11.12.1996 р. Куяльницький лиман включено до Переліку водних об’єктів, що відносяться до категорії лікувальних [34].

У 2009 р. запаси лікувальних грязей (пелоїдів) знов було розвідано і підраховано в південній частині лиману та затверджено ДКЗ України (протокол від 22.01.2009 р. № 1695) в обсязі 191 тис. м³ за категорією В на двох ділянках першочергових робіт станом на 01.01.2009 р. Медичними показаннями для використання пелоїдів є захворювання опірно-рухового апарату, периферичної нервової системи, гінекологічні захворювання, захворювання органів травного тракту [87].

Відповідно до Закону України «Про курорти», всі природні лікувальні ресурси повинні мати медичний (бальнеологічний) висновок, зроблений на підставі медико-біологічних та інших спеціальних досліджень складу та властивостей природних лікувальних ресурсів про можливість їх використання з метою лікування, медичної реабілітації та профілактики захворювань.

Пелоїди і ропа південної частини Куяльницького лиману мають медичні (бальнеологічні) висновки ДУ «Український НДІ медичної реабілітації та курортології МОЗ України» на використання у лікувальній практиці (від 10.12.2008 р. № 224 та № 225).

Проведено також роботи щодо медико-біологічної оцінки мінеральних вод Куяльницького родовища (св. № 10 та № 16) при їх використанні курортним закладом ДП «Клінічний санаторій ім. Пирогова» (медичні (бальнеологічні) висновки від 10.03.2009 р. № 242 та № 241).

Державною службою геології та надр України надано спеціальні дозволи на користування надрами для ДП «Клінічний санаторій ім. Пирогова» ЗАТ «Укрпрофоздоровниця»:

- св. №№ 10, 15, 16 (від 27 березня 2009 р. № 4956 та № 4957) – на видобування мінеральних лікувальних вод;
- пелоїди Куяльницького родовища (ділянки №№ 1, 2 від 27 березня 2009 р. № 4955) – на видобування лікувальних грязей;
- ропа Куяльницького родовища (від 23 вересня 2012 р. № 5637) – на видобування поверхневої ропи для лікувального застосування.

Кондиційність природних лікувальних ресурсів повністю залежить від суворого дотримання вимог, що пред'являються до зон санітарної охорони курортів [87].

Негативно на соціально-економічний стан Куяльницького лиману впливає невизначеність його правового положення як курорту державного значення [1]. Законом України «Про курорти» від 5 жовтня 2000 року визначені правові, організаційні, економічні та соціальні засади розвитку курортів в Україні. Його положення спрямовані на забезпечення використання й охорону природних територій курортів та їх природних лікувальних ресурсів з метою створення сприятливих умов для лікування, медичної реабілітації, профілактики захворювань для оздоровлення і відпочинку. Цим Законом надано нормативне визначення лікувально-оздоровчої місцевості, до якої відноситься природна територія, яка має мінеральні і термальні води, лікувальні грязі, озокерит, ропу лиманів і озер, кліматичні та інші природні умови, сприятливі для лікування, медичної реабілітації та профілактики захворювань. Безумовно, Куяльницький лиман відповідає усім наведеним законодавчим вимогам. Згідно ст. 4 зазначеного Закону, за характером природних лікувальних ресурсів курорти України поділяються на курорти державного та місцевого значення. До курортів державного значення належать природні території, які мають особливо цінні та унікальні природні лікувальні ресурси і використовуються з метою лікування, медичної реабілітації та профілактики захворювань. До курортів місцевого значення належать природні території, що мають загальнопоширені природні лікувальні ресурси і використовуються з метою лікування, медичної реабілітації та профілактики захворювань.

Наведені ознаки курортів державного і місцевого значення надають всі підстави для віднесення Куяльницького лиману до курортів державного значення. Однак, правове положення курортів державного значення визначається спеціальними законодавчими актами, якого по відношенню до лиману так і не було прийнято. Існує чимало рішень щодо використання, охорони та відтворення ресурсів Куяльницького лиману, прийнятих Одеською обласною радою. Так, Регіональною програмою збереження та відновлення водних ресурсів у басейні Куяльницького лиману на 2012-2016 роки, затвердженою рішенням Одеської облради від 28 жовтня 2011 року

№ 270-VI [8], передбачено збереження унікального водного об'єкта та раціонального використання курортних лікувальних ресурсів. Фінансування заходів програми в основному має здійснюватись за рахунок обласного бюджету, що надає підстави вважати його курортним закладом місцевого значення, але це не відповідає високому рекреаційному й природо-ресурсному потенціалу лиману, який потребує захисту та збереження.

В умовах глобального потепління, яке супроводжується пересиханням річок та обмілінням лиману, як один з найшвидших, найдешевших і екологічно безпечних методів «порятунку» Куяльницького лиману в умовах екологічної кризи в грудні 2014 р. був реалізований проект, який передбачає наповнення лиману водами Чорного моря. Супротивники таких дій висловлювали побоювання, що в результаті надходження до лиману морської води відбудеться підвищення концентрацій неорганічних і органічних токсикантів у ропі та пелоїдах лиману, а також реалізується можливість утворення слабкорозчинного сульфату кальцію (гіпсу). У 2013 р. співробітники УкрНДІ медичної реабілітації та курортології, Інституту морської біології НАН України та Фізико-хімічного інституту ім. А.В. Богатського НАН України виконали дослідження з бальнеологічного, гідробіологічного і хімічного обґрунтування безпеки наповнення обмілілого Куяльницького лиману морською водою [88]. Було показано, що при змішуванні ропи лиману з морською водою ймовірність утворення гіпсу різко зменшується. Попередні висновки гідробіологів і бальнеологів констатували відсутність негативного впливу морської води на гідробіонти лиману і лікувальні властивості його грязей. Проби об'єктів моніторингу з моменту початку наповнення лиману були відібрані 22.12.2014 р., 28.01.2015 р., 27.02.2015 р., 23.03.2015 р. та 26.05.2015 р. співробітниками Інституту біології морів НАН України (А1 - біля труби, по якій надходила морська вода в лиман, А2 - далі від труби, А3 - в точці, найбільш віддаленій від труби). Встановлено, що в морській воді і ропі лиману вміст іонів токсичних елементів не перевищує значення їх ГДК (для морської води). Отримані результати вказують на більш високі концентрації практично всіх «важких» металів в ропі лиману в порівнянні з водою Одеської затоки, а також на зменшення їх концентрацій в ропі по мірі її розведення морською водою. На підставі результатів гідрохімічного моніторингу Куяльницького лиману в початковий період його заповнення морською водою був зроблений висновок, що її надходження в лиман не призведе до збільшення в ньому концентрацій основних екотоксикантів. Встановлено, що з наповненням Куяльницького лиману морською водою ймовірність утворення в ропі слабкорозчинного гіпсу різко зменшується. Результати проведених досліджень підтверджують попередній висновок (на

підставі модельних експериментів) про екологічну безпеку (в хімічному відношенні) наповнення лиману морською водою.

Якість лікувальних грязей залежить не тільки від природних умов, а й від оточуючого середовища. Куяльницький лиман є частиною Одеської міської агломерації та пов'язаний з її інфраструктурою. У роботі В.І. Золотова та Т.М. Поліщук [89] зазначається, що курорт Куяльник не має належної інфраструктури. «Поруч знаходиться декілька великих промислових об'єктів, таких як нафтопереробний, цементний заводи. На території Лузанівки, що безпосередньо примикає до Куяльнику, довгий час функціонувала промивально-пропарювальна станція залізничної дороги. Курорт не відокремлений від міста, не обладнані місця для купання, не визначені місця скидання побутових відходів. Через акваторію лиману прокладені деякі міські комунікації, проходить ділянка магістрального нафтопроводу Кременчук - Херсон - Снігурівка - Одеса. На території курорту діє малопотужна котельня, яка під час зупинок Одеської ТЕЦ і районних котелень Суворовського району покликана забезпечувати потреби санаторного комплексу, одночасно створюючи додаткове навантаження на його територію у вигляді атмосферних викидів. У 2010 році на берегових схилах в районі сан. Куяльник було відмічено активізацію старого зсувного схилу...».

У такій ситуації виникає потреба в проведенні системного екологічного аудиту території з визначенням всіх джерел забруднення та розробки масштабного інвестиційного проекту – бізнес-плану розвитку території та санаторно-курортного комплексу «Куяльник» [90]. Має бути удосконалена система управління територіями обмеженого статусу використання на національному рівні через посилення законодавчо-нормативної та регуляторної бази; можливі залучення міжнародних інститутів до забезпечення процесу відновлення та екологічної санації територіальних комплексів природно-заповідного статусу [91].

1.7 Вплив змін гідрологічного режиму на природні ресурси басейну Куяльницького лиману та його екологічний стан

Антропогенний фактор можна розглядати як цілеспрямований, так і хаотичний. Цілеспрямований – технологічний – має певну логіку перетворення довкілля, наприклад, створення агроценозів із запланованим результатом. Між тим доречно відмітити, що ці очікувані «результати» у більшості не піддаються контролю. Про це свідчить, наприклад, відома

проблема захисту рослин у сільському господарстві, санітарна вразливість міської інфраструктури тощо.

Відносно хаотичного (засмічення, загазованості тощо) антропогенного фактору можна відмітити, що очікувані результати його дії заздалегідь сприймаються як негативні, головним чином з точки зору втрати біорізноманіття при сумнівності впевненого виправлення ситуацій інженерними засобами. Причина сумнівності полягає в тому, що формування біоти підкоряється неоглядній кількості біологічних відношень, які неможливо втиснути в технологічні рамки інженерної розбудови екосистеми. Тому на даний час стратегії реабілітації екосистем спрямовані на виявлення і виправлення ключових негативних абіотичних факторів, а далі йде сподівання на здатність біоти до самовідновлення.

На означеній методологічній платформі для відновлення і подальшої підтримки сталості екосистеми Куяльницького лиману також визначена певна стратегія. Вона полягає в інструментальному обліку та аналізах параметрів абіотичного осередку та визначенні причинно-наслідкових проявів у його біотичній складовій.

Екосистема басейну Куяльницького лиману історично формувалась на фоні глобальних і регіональних екологічних процесів, тому сучасні зміни докільля з однозначною тенденцією до втрати біорізноманіття наземного та водного осередків мають певні прояви і у екосистемі басейну Куяльницького лиману. Проблематика Куяльницького лиману не є унікальною і може підпадати до широко рекомендованої методології оцінок екосистем (в тому числі через критерій біорізноманіття) з аксіоматичним сприйняттям про пряму залежність стабільності екосистем від числа наявних видів [9, 48-51]. За цією тезою складається враження, що для забезпечення сталості екосистеми потрібно забезпечити (відновити) біорізноманіття. Але біорізноманіття є наслідковим проявом якості екологічного осередку. З означеного витікає, що видове різноманіття як головний критерій стійкості екосистем недостатньо коректний, тому що не вказує на причину – умови, що забезпечують це саме біорізноманіття.

Природним фоном наземної суходільної частини екосистеми басейну Куяльницького лиману є степова зона [92]. Між тим, за літературними даними, сучасні природні угруповання степових ландшафтів України займають лише 6% її території і характеризується високою фрагментарністю розташування. Тобто, в умовах високої фрагментарності природного рослинного покриву степової зони практично кожна така ділянка має суттєве природоохоронне значення. Важливо також те, що значна частина рослинності на фрагментарних ділянках здатна самовідновлюватися за умови пов'язаності їх сполучними територіями однотипного ландшафту. Показово,

що в цьому контексті басейн Куяльницького лиману віднесено до ключової території національного рівня в складі екомережі України з визначенням як «Куяльницько-Хаджибейська». В її складі розглядається також басейн р. М. Куяльник разом з В. Куяльником як Малокуяльницький та Великокуяльницький меридіальні екокоридори, що з'єднують ключові території лісостепової частини Одеської області з Куяльницько-Хаджибейською ключовою територією національного рівня. Тобто, з точки зору екологічної системності реабілітація Куяльницького лиману відповідає завданням відновлення та збереження довкілля згідно екологічних програм всіх рівнів.

Сучасною головною проблемою Куяльницького лиману є висихання з підвищенням мінералізації до рівня, за яким зупиняється існування повноцінного біоценозу. Дана обставина в цілому властива всім водоймам такого типу і у періодичному висиханні нема нічого особливого. Так, наприклад, вважається, що сильне висихання, підвищення солоності та випадання солі в осад з формуванням солоної кірки на донних відкладеннях відносяться до числа необхідних умов анаеробної трансформації мулів у лікувальну грязь. В історії Куяльницького лиману вже були періоди висихання, за якими йшли часи відновлення рівня води у водоймі. Такі коливання рівня води в цілому притаманні мілководним солоним водоймам озерного типу через залежність від погодних умов. Чергування посушливих і дощових періодів призводить до великих сезонних і міжрічних коливань солоності та як наслідок – до істотних періодичних змін структурно-функціональної організації біотичної компоненти, що неодноразово спостерігалось в історії водної екосистеми Куяльницького лиману.

Для водоростей, наприклад, вказується, що основними джерелами надходження водоростей до північної частини лиману були у минулому стік р. В. Куяльник (приблизно 10 %), а в південній і центральній частинах – стік з ставків пересипу і Корсунцівської балки (приблизно 5 %) [93, 94].

Чинником, що лімітує розвиток водоростей, є солоність ропи лиману. В цих умовах домінуючою була група евригаліних і евритермних видів водоростей *Amphora coffeaeformis*, *Tabularia tabulata*, *Cocconeis kujalnitzkensis*, *Cylindrotheca closterium*, *Hantzschia ucrainica*, але вже при солоності води 180-230 ‰ (2007-2008 рр.) число видів скоротилося до 5 – *Oscillatoria amphibia*, *Amphora angusta*, *Navicula gregaria*, *Dunaliella (D.) salina*, *Surirella ovalis*. При солоності більше 200 ‰, зустрічався тільки один вид – *D. salina*.

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

У відношенні зообентосу відзначено, що найбільше його різноманіття

зафіксовано в 1946-1947 рр. – при солоності 24-25 ‰. Після осолонення водойми в 60-ті роки ХХ ст. до 70 ‰ і вище його донна фауна складалася з личинок *Chironomus salinarius*, але вже у 2002 р. – при солоності 263 ‰, цей вид не виявлений.

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

Особливістю солоноводних водойм є те, що динаміка біоти підкоряється градієнту солоності, який розглядається як лімітуючий фактор: значення хорогалінних зон в умовах осолонення – розпріснення обумовлюють різний гідрохімічний режим з заміщенням складу біотичних спільнот з різними параметрами галобності. Головною доведеною закономірністю, що визначає порядок структурно-функціональних змін галофільної біоти, є уявлення про критичну солоність [95-97] та характер хорогалінних зон, які обумовлюють просторову структуру гідробіологічних режимів за градієнтом солоності [98]. З цього витікає, що при наповненні Куяльницького лиману водами Чорного моря або при підвищенні рівня прісноводного стоку (що особливо бажане) очікується поява різних галобних зон з властивою кожній з них біотою, як це було в різні історичні періоди існування Куяльницького лиману. До сказаного доречно додати, що Куяльницький лиман є внутрішньою водоймою, для якої властивий істотний вплив хімічного складу атмосферних опадів на гідрохімічний стан вод і донних відкладень. Особливе значення надається тим атмосферним водам, які надходять до лиману через берегову постійно підтоплену смугу, яка за класифікацією приморських водно-болотних угідь являє собою колобережне солоне болото [99]. Тут зосереджена більшість фітомаси солонцевих макрофітів, галофільних геобіонтів з числа безхребетних. Через берегову смугу до вод лиману виноситься значна частка органіки, в тому числі у вигляді розчинених речовин, які займають значуще місце в осмотичному харчуванні водних галобіонтів [100]. Серед біоти підтоплених берегів вагоме місце займає така складова як сапрофітні ультрагалобні личинки двокрилих, що є могутнім (а може і єдиним) фактором швидкої деструкції рослинного та тваринного опаду.

Для спільнот гіпергалінних бальнеологічних водойм видове різноманіття не є характерним. Ключове місце тут займає рачок-артемія, 1-5 видів фітопланктону, 1-5 видів зоопланктону, 1-2 види зообентосу. Створення умов для сталого існування подібної спільноти у Куяльницькому лимані полягає у розпрісненні вод до потрібних значень мінералізації.

Встановлено, що ключовою екобіоморфою в спільнотах гіпергалінних бальнеологічних водойм є фільтратори *Artemia ssp.* Для Куяльницького лиману у попередні періоди автохтонним визначався такий вид як *Artemia salina*. Зокрема, наприклад, існують лабораторні напрацювання з вивчення відношення до температури і солоності для виду, позначеного як *Artemia salina* [101]. Але у зв'язку з неясним таксономічним статусом лабораторного об'єкту ці дані сумнівно екстраполувати на Куяльницький лиман. Між тим, у гіперсолоних водах Криму натуралізувалась таксономічно чітко позначена популяція артемії з особливим параметром галобності - *Artemia urmiana*, Gimther 1890 (*Anostraca*, *Artemiidae*) [102]. Цей вид може вважатись потенційно заміщуючим у Куяльницькому лимані через зовнішню інвазію. *Artemia urmiana* цікавий адаптацією до екстремальних умов температури і солоності (більше 40 ° C і понад 370 ‰). Таким чином, для Куяльницького лиману є певні ресурси відновлення *Artemia*. Однак, необхідною умовою залишається рівень солоності, який не повинен перевищувати хорогалінного порогу для гіпергалінної біоти.

Таким чином, найважливішим чинником трансформації гідроекосистеми Куяльницького лиману, який впливає на стан головних його природних ресурсів (бальнеологічних) є загальне зневоднення водозбору, викликане, насамперед, кліматичними змінами, наслідки дії яких посилюються антропогенним фактором – перекриттям русел річок, пасовищною деградіацією, засміченням тощо. Отже, головними об'єктами наукових досліджень з комплексного управління водними ресурсами та гідроекологічним станом басейну Куяльницького лиману є зміни клімату та гідрологічного режиму із урахуванням водогосподарських перетворень.

2 АНТРОПОГЕННИЙ ВПЛИВ НА ГІДРОЛОГІЧНИЙ ТА ГІДРОЕКОЛОГІЧНИЙ СТАН КУЯЛЬНИЦЬКОГО ЛИМАНУ ТА ЙОГО НАСЛІДКИ

2.1 Водогосподарські споруди у період промислового видобутку солі

У минулому соляний промисел на Куяльницькому лимані відігравав важливу роль в економічному розвитку Східної та Західної Європи. Вже починаючи з XVI ст., сіль з лиману як найякіснішу вивозили в Польщу та інші країни Західної Європи. У XVII-XVIII ст. в Україні та Європі сіль була одним з найдорожчих товарів, але нестабільність самостійного випадіння солі в різні роки спричинювало коливання обсягів її видобутку в лимані [103].

Для стабільного функціонування та розвитку промислового видобутку солі в період з 1859 по 1878 рр. Куяльницький лиман було перегороджено дамбою (рис. 2.1) навпроти німецького селища Гільдендорф (нині – с.Красносілка) на дві частини – північну, в якій затримували прісні води весняних водопіль і дощових паводків, та південну (солесадкову), де здійснювався промисловий видобуток солі. Дамбу почали будувати в 1859 р. за проектом інженера Рожкова [104]. Щоб припинити приплив прісних вод в південну (солесадкову) частину лиману, були загачені дві балки східного берегу лиману (Гільдендорфська та Корсунцівська). Дамба складалася з глини з кам'яними стінками та повинна була мати довжину 2933 м. Для сполучення обох частин лиману в дамбі передбачалося створення водовипуску. Під час будівництва дамба постійно просідала, тому остаточне завершення робіт було припинено до весни 1861 р. Однак, на початку березня 1861 р. в результаті дружнього та швидкого танення снігу вода в лимані піднялася і затопила дамбу. Гребінь дамби був розмитий. До 1864 р. обидві частини лиману вільно з'єднувалися. У 1864 р. роботу по будівництву дамби було завершено, проте південна частина лиману солесадковою не стала, що пов'язано із значними весняними водопіллями в у 1861-1863, 1870-1871, 1875-1878 рр.

У 1871 р. дамба була розмита знову, що повторювалося в 1876 та 1878 рр., тому з 1878 р. було вирішено дамбу більше не відновлювати, а обидві частини лиману з тих пір знову утворили єдину водойму [54]. Залишки цієї дамби існують до сьогодні. Їх можна бачити на сучасних супутникових знімках [105], а при низьких рівнях води в лимані по залишкам дамби можна перейти з одного берегу лиману на інший [106].



Рисунок 2.1 – Фрагмент карти Куяльницького лиману за 1869 р. з дамбою інженера Рожкова

У роки поділу лиману дамбою на дві частини (у 1859-1878 рр.) рівень води в південній частині лиману регулювався впуском води з моря. З 1860 по 1873 рр. морську воду подавали до лиману декілька разів

Однак, у зв'язку з тим, що після значних водопіль вода проривала дамбу і «опріснювала» південну частину лиману, призначену для осаджування солі, видобуток солі традиційним на той час способом став зовсім неможливим. Тому для стабільного промислового видобування солі вже з 1861р. почали влаштовувати басейни для випаровування води і збору солі (рис. 2.2).

Обсяг видобування солі становив: у 1862 р. – 683985 пудів або приблизно 11 тис. т (1 пуд = 16,38 кг), у 1863 р. – 2749650 пудів або ≈ 45 тис. т, у 1864 р. – 3841782 пуда або ≈ 63 тис. т. Промисел солі здійснювався на Куяльницькому лимані аж до 1931 р. і за 70 років солепромислу було видобуто 1,5 млн. т найякіснішої в Європі солі.

Оцінити інтенсивність промислового видобутку солі в південній частині Куяльницького лиману наприкінці XIX ст. (1893 р.) та на початку XX ст. можна за фотознімками грязелікарні, будівлі якої на цих світлинах розміщені на фоні значних за розмірами ділянок солепромислів (басейнів для випаровування води, дамб солепромислів, настилів для збору солі тощо) [107].

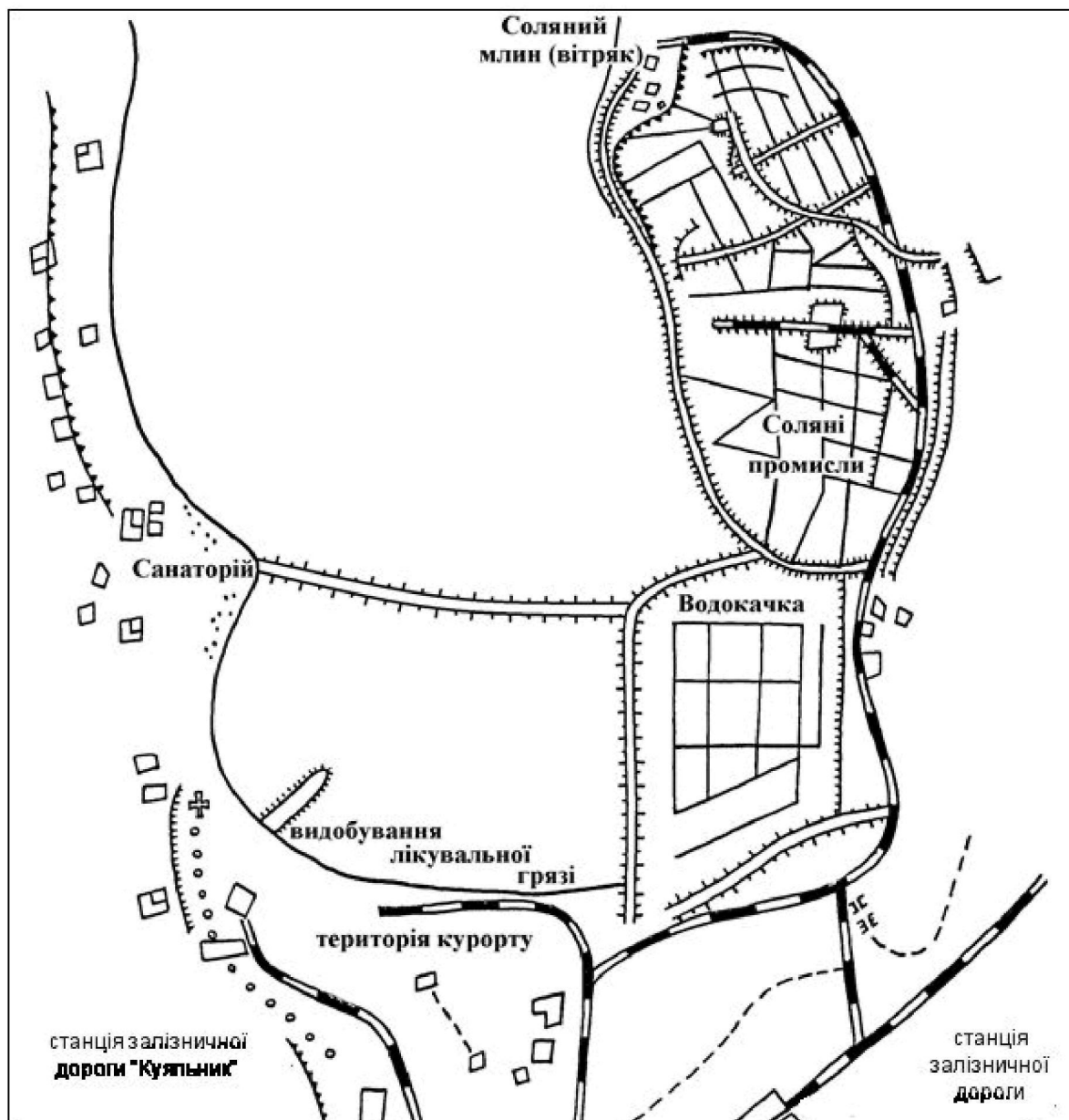


Рисунок 2.2 – Схема Корсунцівського солепромислу в південно-східній частині Куяльницького лиману

2.2. Штучне поповнення південної частини лиману морською водою через з'єднувальний канал у XX столітті

На початку XX ст. Куяльницький лиман двічі поповнювали морською водою – в 1907 та 1926 рр. [108]. В 1890-1901 рр. для забезпечення потреб Корсунцівського солепромислу (див. рис. 2.2) в східній частині пересипу між лиманом і Одеською затокою було споруджено з'єднувальний канал

довжиною 2,6 км. Через канал у 1907 р. до лиману надійшло приблизно 20% морської води від об'єму води в лимані [109].

З 1921 по 1925 рр. неодноразово розглядалось питання щодо відновлення подачі морської води в Куяльницький лиман. Тому в 1926 р., при рівні води у лимані мінус 7,12 м БС до нього було знову подано морську воду загальним об'ємом 7,5 млн. м³, що становило 35% об'єму води в лимані. Схема з'єднувального каналу «море-лимани» та ситуація місцевості вздовж його траси станом на 1926 р. показані на рис. 2.3.

В 1941-1942 рр. Куяльницький лиман на 70% свого об'єму був поповнений водою з Хаджибейського лиману. Це відбулося після руйнування (підриву) в ніч з 15 на 16 жовтня 1941 р. захисної дамби Хаджибейського лиману-водосховища. Вода затопила територію Куяльницько-Хаджибейського пересипу і надійшла в Куяльницький лиман.

За даними водомірних спостережень [25], рівень води в лимані перевищив в червні 1944 р. позначку мінус 2,00 м БС, а за даними М.Ш. Розенгурта [51] – в квітні 1942 р. він становив мінус 1,15 м БС. Про це також свідчать фотознімки затопленої території грязелікарні того періоду (рис. 2.4).

2.3 Поповнення лиману водами озер (ставків) пересипу та за рахунок фільтрації морських вод

В водоймах (ставках, озерах) пересипу (рис. 2.5), які існували з моменту його появи, в результаті фільтраційного потоку з моря та випадання атмосферних опадів постійно накопичувався деякий об'єм води. Ще в 1898 р. на роль пересипу в водному живленні лиману звернув увагу А. Веріго. За його даними, у водах пересипу спостерігалось збільшення солоності з глибиною. В поверхневих шарах пересипу води були прісні, а на глибині 5 м – досягали солоності та хімічного складу морської води. А. Веріго також звертає увагу на процес випаровування з поверхні пересипу та водної поверхні озер [56].

До будівництва об'їзної дороги вода з пересипу надходила в лиман у вигляді поверхневого стоку та фільтраційного підземного потоку. Величину цього припливу води врахувати неможливо, оскільки стік здійснювався розосереджено по всій ширині пересипу, а його величина обумовлювалася головним чином кількістю атмосферних опадів і перепадом рівнів води в морі та лимані.

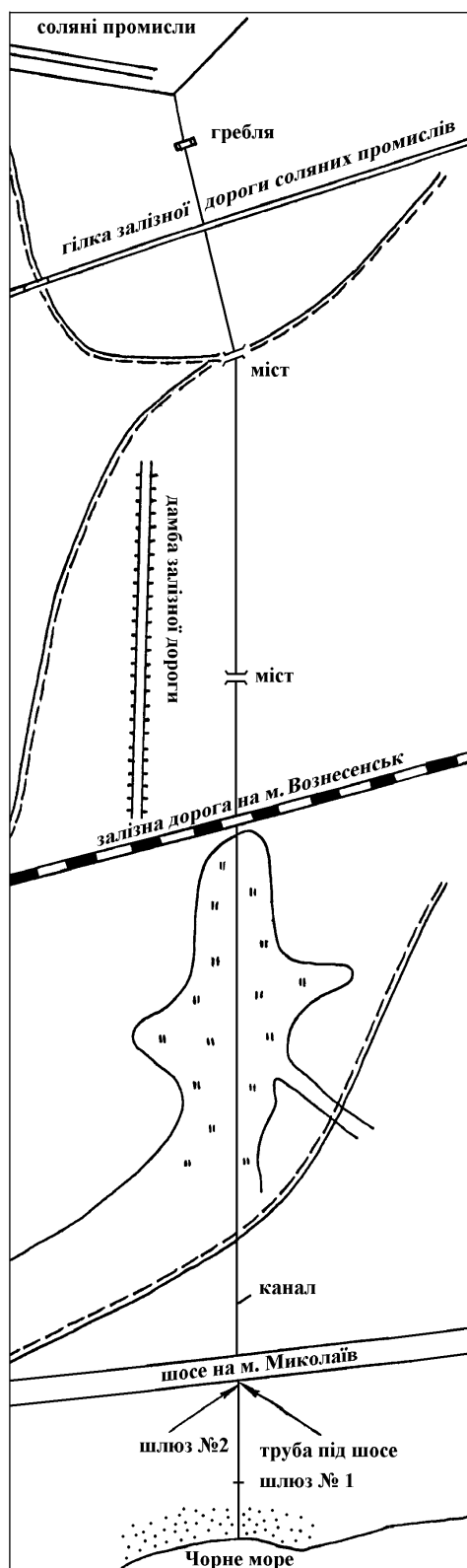


Рисунок 2.3 – Схема місцезположення каналу «море-лиман» на території пересипу Куяльницького лиману станом на 1926 р.

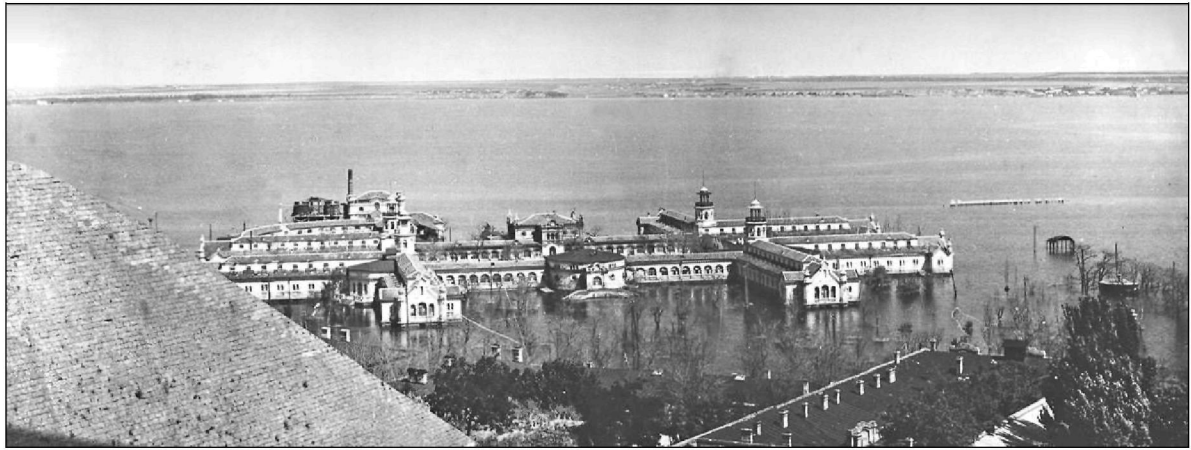


Рисунок 2.4 – Затоплена грязелікарня в південно-західній частині Куяльницького лиману після надходження води з Хаджибейського лиману у 1941 р. (вид з терренкурту на Жеваховій горі)



Рисунок 2.5 – Місцезнаходження водойм пересипу Куяльницького лиману (1, 2, 3, 4 – умовне позначення водойм)

У 1973-1975 рр. для вивчення взаємозв'язку між водами лиману та водоносними горизонтами в пересипу, були пробурені свердловини та організовані спостереження, які показали, що роль фільтрації морських вод через пересип незначна та становить $0,003-0,004 \text{ м}^3/\text{с}$ або $0,11 \text{ млн. м}^3/\text{рік}$.

Після будівництва окружної дороги м. Одеси її насип став своєрідною дамбою для надходження поверхневого та фільтраційного потоків з пересипу

до лиману, а об'єм води в озерах пересипу збільшився. Ці озера були поступово перетворені в чотири штучні водойми (так звані Лузанівські ставки), які з'єднані між собою нерегульованими водопропускними спорудами, головним чином у вигляді труб.

В періоди інтенсивних зливових дощів, як наприклад, 24.05.2012 р., в ставках пересипу спостерігається швидке та значне підвищення рівня води, яке в деяких випадках становить 0,5 м. Справа у тому, що водний режим цих ставків на сьогодні головним чином залежить від централізованого скидання зливових та інших стічних вод з території міста, об'єм яких оцінити неможливо через відсутність їхнього обліку.

До недавнього часу перетік води в цих ставках зазвичай був спрямований від східного ставка (1), куди стікають злилові води з Шевченково та Лузанівки, через південно-східний ставок (2), до якого також скидаються злилові й інші стічні води, в південно-західний ставок (3) і далі – в західний ставок (4), що також є приймачем вод зливової каналізації з вулиць Лиманна та Залізнична (див. рис.2.5). Такий напрямок перетоку води в цих ставках обумовлений розподілом рівня води, який зазвичай є найвищим в східному ставку (1). Для відведення води з ставків пересипу під окружною дорогою було споруджено нерегульований водовипуск з західного ставка (4) до південно-західної частини лиману. Цей водовипуск складається з залізобетонної труби діаметром 1,20 м (під окружною дорогою) та бетонного лотка з прямокутним перетином, шириною 1,1 м та найбільшою глибиною 0,85 м.

Обстеження 2015 р. дозволили установити, що головними джерелами надходження стоку в західний ставок (4) та далі в південно-західну частину Куяльницького лиману є стічні води дренажно-зливової каналізації з вулиць Лиманної та Залізничної, зливової каналізації з Об'їзної дороги та з скидного каналу заводу мінеральних вод «Куяльник». За даними обстеження, виконаного 26 травня 2015 р. (після зливи, що відбулася 24.05.2012 р.), перетік води з південно-західного ставка (3) в західний ставок (4) не установлений. За результатами спостережень за скиданням води в лиман через цей водовипуск впродовж періоду з 1986 по 1995 рр. та в 2012 р. виявлено, що величина скидів носить сезонний характер: у осінній та зимово-весняний періоди, коли рівень води в ставках пересипу найбільш високий, витрати скидних вод становлять в середньому $0,25 \text{ м}^3/\text{с}$, а в літній період – знижуються до $0,03\text{-}0,16 \text{ м}^3/\text{с}$. Тобто річні об'єми стоку з ставків до лиману становили у період 1986 - 1995 рр. становили 4,62-6,62 млн. м^3 . За даними 2015 р. середня витрата води в гирлі ставка дорівнювала $0,023 \text{ м}^3/\text{с}$, а річний об'єм скидних вод з ставків пересипу в Куяльницький лиман становив лише 0,66 млн. м^3 , тобто став значно нижчий у порівнянні із попередніми роками.

2.4 Гідротехнічна споруда (трубопровід) для поповнення Куяльницького лиману морською водою з Одеської затоки у 2014-2015 роках

У 2013-2014 рр. здійснено проектування гідротехнічної споруди, яка призначена для з'єднання Куяльницького лиману та Одеської затоки Чорного моря (трубопровід «море-лиман»). Після проходження будівельної й екологічної експертиз і наступного будівництва (жовтень-грудень 2014 р.), 22 грудня 2014 р. відбувся пробний, а 24 грудня 2014 р. – офіційний запуск морських вод до лиману. До комплексу споруд водогосподарської системи зі з'єднання водних об'єктів – Одеської затоки Чорного моря та Куяльницького лиману входять [110]:

- водозабірна споруда морського розташування;
- існуючий залізобетонний трубопровід Ø1000 мм;
- з'єднувальний трубопровід Ø1000 мм між водозабірною спорудою та існуючим залізобетонним трубопроводом Ø1000 мм;
- футляр під Миколаївською дорогою Ø1420 мм;
- колодязі з запірною арматурою;
- водовипуск до лиману.

Морський водозабір є водозабірною спорудою шахтного типу з рибозагороджувальним пристроєм парасолькового типу на кам'яній основі з позначкою мінус 5,0 м БС. Конструкція водозабору парасолькового типу є блоком, що складається з чотирьох секцій, кожна з яких розрахована на витрату 0,25 м³/с. Загальна витрата водозабірної споруди становить приблизно 1,00 м³/с. Пристрій змонтований на оголовку споруди. Внутрішній діаметр на вході в парасольку оголовка становить 1600 мм (труба 1620×10 мм). Вхідна частина парасолькового пристрою заглиблена під рівень води на 3,34 м. Верхні торці водоприймальних патрубків розташовані нижче розрахункового мінімального рівня води в морі.

Довжина з'єднувального трубопроводу «море-лиман» становить 1696 м, траса має вигляд дещо ламаної лінії, яка проходить через такі ділянки сучасної території пересипу : а) ділянка довжиною 238 м – парк «Лузанівка» (60-70 м на захід від центральної алеї); б) ділянка довжиною 56 м – під трамвайними шляхами та Миколаївською дорогою (50 м на схід від вул. Красна); в) ділянка довжиною 227 м – від Миколаївської дороги вздовж східної сторони вул. Красна до точки підключення до існуючого трубопроводу; г) ділянка довжиною 283 м – на території КНС-10 (вздовж її західної межі) або вздовж східної сторони вул. Красна; д) ділянка довжиною 99 м – на території гаражів, розташованих вздовж південної сторони насипу залізної дороги (район станції «Одеса-Сортувальна», напроти вул. Красна);

є) ділянка довжиною 83 м – під насипом залізної дороги (район станції «Одеса-Сортувальна», по лінії між вул. Красна і дамбою між східним і південно-східним ставками); ж) ділянка довжиною 628 м – вздовж дамби між східним і південно-східним ставками (з сторони східного ставка); з) ділянка довжиною 56 м – під насипом об'їзної дороги м. Одеса; и) ділянка довжиною 26 м – від об'їзної дороги до водовипуску.

Водоскид трубопроводу «море-лиман» розташований в підшві укосу автодороги «Об'їзд м. Одеси по дамбі Куяльницького лиману» та виконаний зі збірного залізобетонного оголовка, встановленого на габійний матрац.

2.5 Водогосподарські споруди в басейні річки Великий Куяльник та їх вплив на водний режим

Серед малих та середніх річок Північно-Західного Причорномор'я р. Великий Куяльник характеризується найбільшою кількістю штучних водойм та гідротехнічних споруд.

У 2010 р., по даних досліджень ОДЕКУ, кількість водойм дорівнювала 135 шт. (рис. 2.6), з загальним об'ємом (при максимальному наповненні) близько 15,6 млн. м³ і площею водної поверхні – 6,26 км² [111].

Першою частиною в системі заходів з регулювання стоку річки було її спрямлення, яке становило 78% (132 з 170 км) основного русла р. В. Куяльник.

Другою її частиною було (приблизно до 2000 р.) будівництво мережі гідротехнічних споруд у вигляді більш ніж 20 шлюзів-регуляторів (рис. 2.7), які побудували для затримки вод водопіль і паводків (об'ємом 2,0 млн. м³), а також лиманного зрошення (зволоження) сільськогосподарських угідь на заплаві річки.

В 1995-2000 рр. більшість з цих шлюзів знаходилися в несправному стані [58]. Після 2000 р. затвори шлюзів (за даними опитувань мешканців прилеглих сіл) майже всі зникли.

Даних про режим функціонування (роботу) шлюзів-регуляторів (періоди, коли вони були закриті; витрати води або рівні води в верхньому та нижньому б'єфах, коли вони були відкриті) немає. В зв'язку з цим для оцінки впливу роботи шлюзів-регуляторів (рис. 2.7) на стік в руслі р. В. Куяльник за період гідрологічних спостережень (з 1 січня 1986 р. по 31 грудня 2011 р.) використані дані вимірювань на гідрологічному посту в с. Северинівка, що знаходиться в 5 км вище місця впадіння річки в Куяльницький лиман.

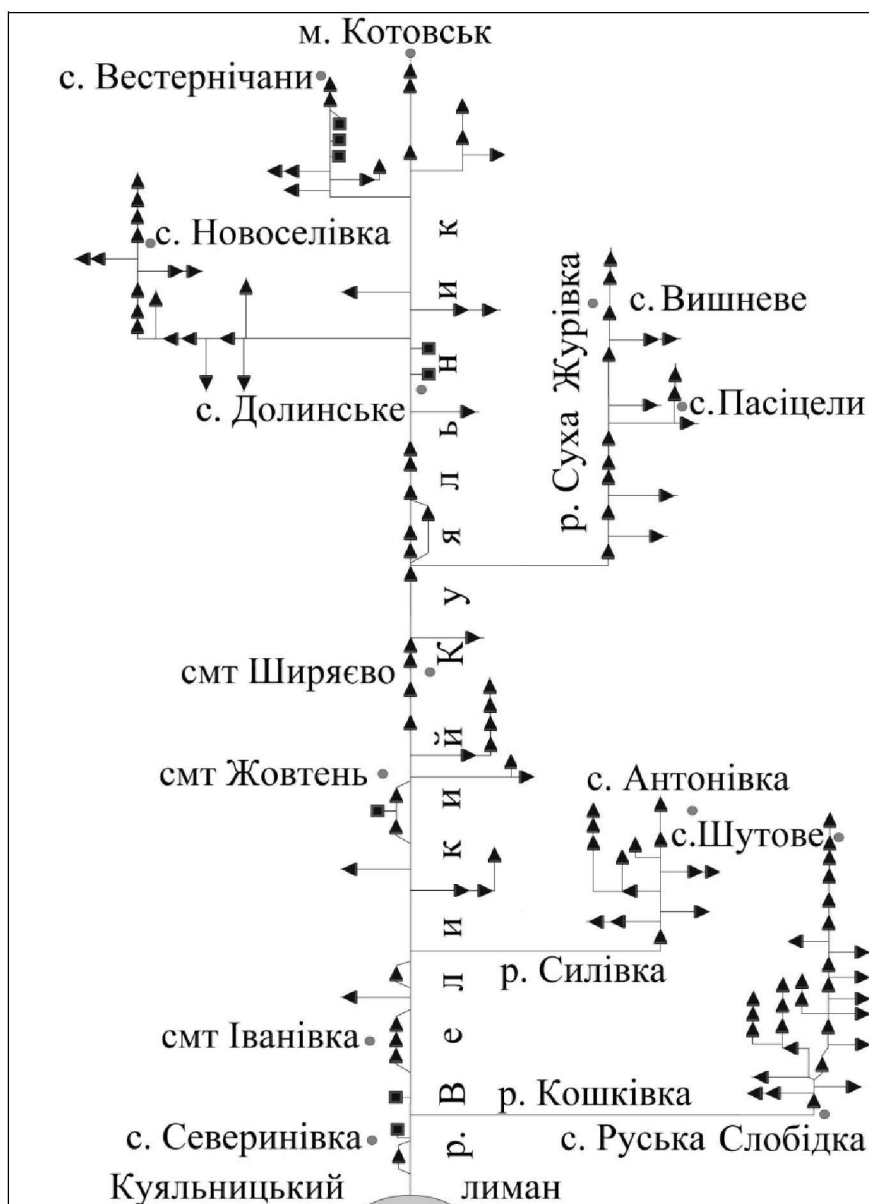


Рисунок 2.6 – Схема розташування штучних водойм і гідротехнічних споруд в басейні р. В. Куяльник



Рисунок 2.7 – Нижній б'єф одного з шлюзів-регуляторів на р. В. Куяльник (станом на 27.06.2014 р.)

За період з 01.01.1986 р. по 31.12.2011 р. в створі гідрологічного поста в гирловій ділянці р. В. Куяльник в межах с. Северинівка (рис. 2.8) за 9496 діб стік мав місце протягом 2096 діб або 22 % всього періоду. Багаторічна середньодобова витрата води за ті дні, коли стік спостерігався, дорівнювала $0,63 \text{ м}^3/\text{с}$, а за весь період – $0,14 \text{ м}^3/\text{с}$. Найбільша середньодобова витрата води становила $34,5 \text{ м}^3/\text{с}$, а найбільша виміряна витрата води – $35,9 \text{ м}^3/\text{с}$, які були визначені 26.03.2003 р.

Загальна кількість діб, коли стік на посту був відсутнім ($Q = 0 \text{ м}^3/\text{с}$), дорівнює 7400 діб або 78 % всього періоду, з них:

- при пересиханні річки (перевищення дна русла над нулем поста 1,59 м) 4496 діб або 47,4 % всього періоду, чи 60,8 % періоду, коли стік був відсутнім;

- при перемерзанні води (середня товщина льоду – 0,39 м, найбільша – 0,56 м, найменша – 0,13 м) 135 діб або 1,4 % всього періоду, чи 1,8 % періоду, коли стік був відсутнім;

- при стоячій воді (середнє значення максимальної глибини в створі поста – 0,45 м, найбільше – 1,64 м, найменше – 0,01 м) 2769 діб або 29,2 % всього періоду, чи 37,4 % періоду, коли стік був відсутнім.

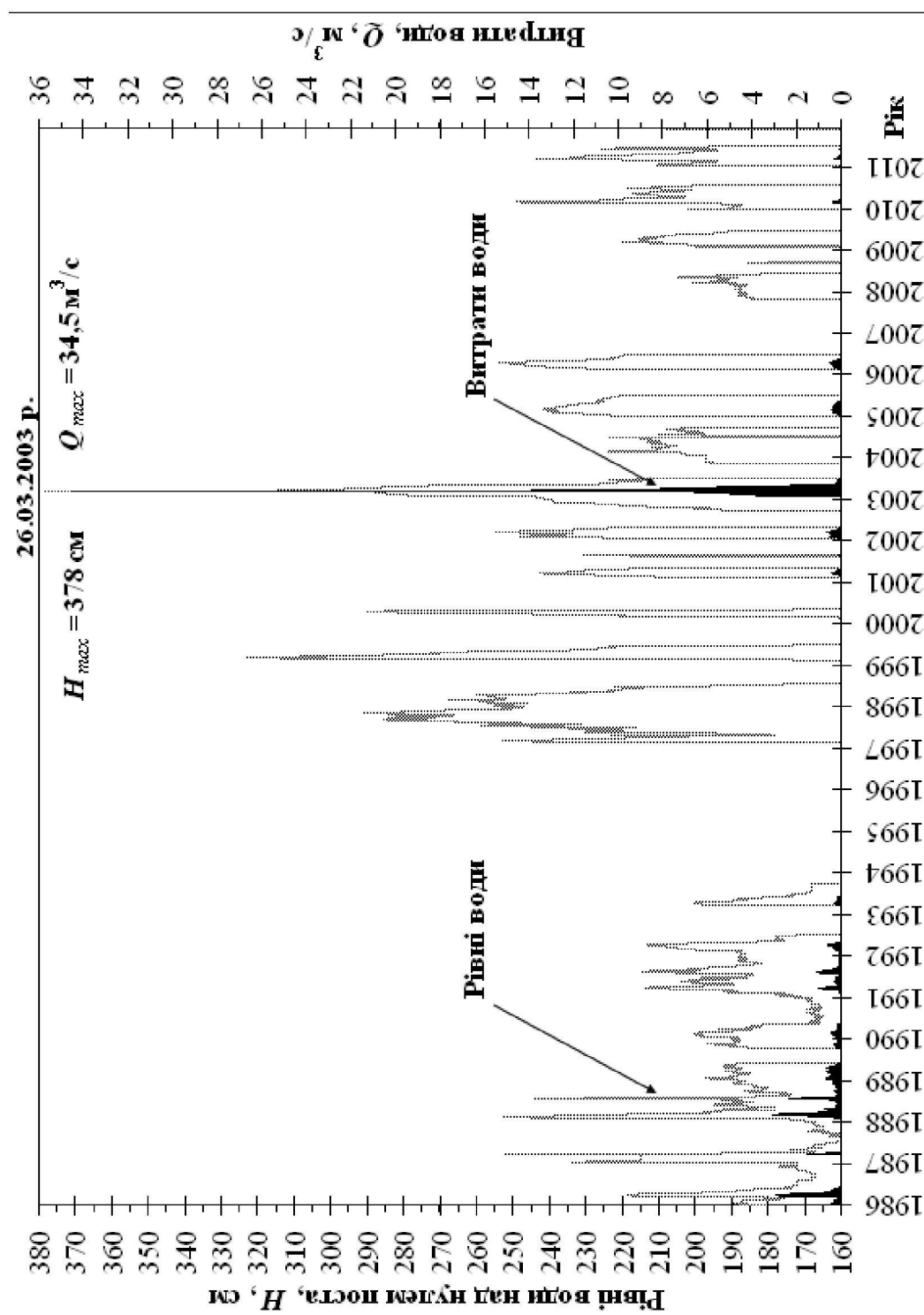


Рисунок 2.8 – Мінливість середньодобових рівнів і витрат води, р. В. Куяльник – с. Северинівка, за період з 01.01.1986 р. по 31.12.2011 р.

Шлюзи є регуляторами стоку здатними перекрити русло і спричинити підняття рівнів води у верхньому б'єфі, але швидкість течії у цей момент наблизатиметься до нуля, тобто вода буде «стоячою». Наслідки такого «регулювання» стоку р. В. Куяльник добре простежуються на суміщеному гідрографі рівнів і витрат води (рис. 2.8), коли високим рівням відповідає відсутність стоку, наприклад, у 1997-2001, 2004, 2008-2011 рр., а також на графіках зв'язку витрат і рівнів води при вільному руслі (рис. 2.9).

Наприклад, у 1989 р. стік води в гирловій ділянці річки регулювався лише одним шлюзом, який знаходився вище поста. Через регулювання гідрографи рівнів і витрат води отримали ступінчасту форму (рис. 2.10). Коливання рівнів та витрат проходили синхронно. Досить різко переривається надходження води у русло 03.06.1989 р. і так само різко 12.10.1989 р. з'являється, що можна пояснити повним закриттям і наступним відкриттям шлюзу. З цього прикладу можна зробити висновок, що штучні водойми фактично «перехоплюють» стік річок, який у подальшому витрачається на випаровування з водної поверхні. При цьому частина русла, розташована нижче шлюзу, залишається без припливу води з верхньої частини і стік у ній може з'являтися лише за рахунок припливу схилового стоку та стоку нижче розташованих водотоків.

2.6 Водогосподарські споруди на річках і балках східного берегу лиману

З використанням топографічних карт, супутникових знімків, довідникової літератури [109, 112] та результатів експедиційних досліджень ОДЕКУ в 2012 р. побудовано схеми русло-балкової мережі східного берегу Куяльницького лиману (річки Довбока та Кубанка, балки Гільдендорфська та Корсунцівська й ін.) з позначенням гідротехнічних споруд (ГТС) і штучних водойм (ШВ), які затримують русловий стік (ставки, копані тощо). Ці схеми показані на рис. 2.11.

Крім того, за результатами досліджень ОДЕКУ [76] для річок Кубанка та Довбока визначені площі водних поверхонь F_{max} (м²) та об'єми W_{max} (м³) ШВ при їхньому максимальному наповненні, а також описані основні характеристики ГТС станом на середину 2012 р. (табл.2.1).

В табл. 2.1 прийняті наступні позначення:

F_{max} – площа водної поверхні ШВ, при максимальному заповненні, м²;

W_{max} – об'єм ШВ, при максимальному заповненні, м³;

цифри курсивом (косим шрифтом) – характеристики ГТС, визначені лише з використанням супутникових знімків в Google Earth;

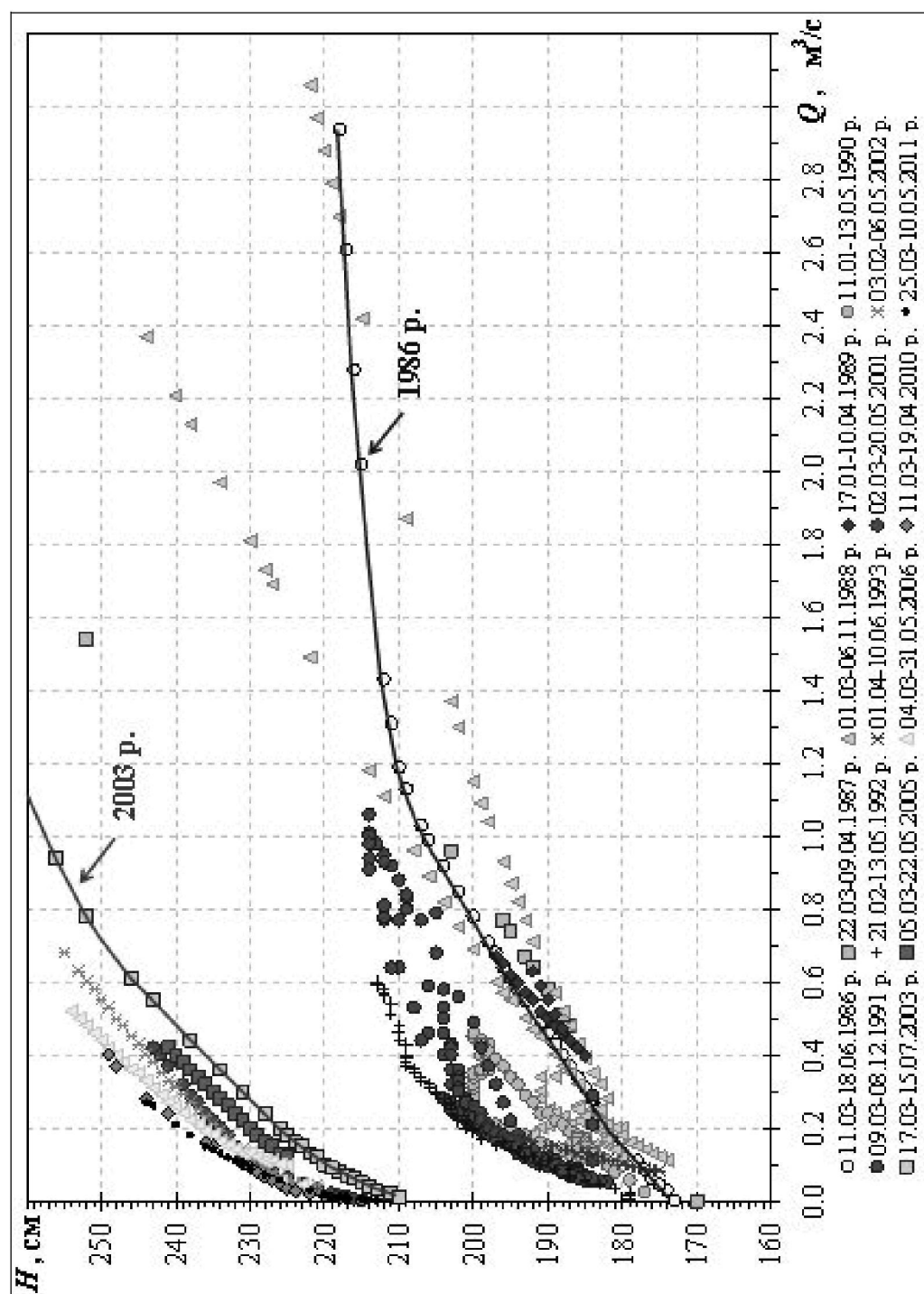


Рисунок 2.9 – Зв'язок середньодобових рівнів і витрат води при вільному руслі, р. В.Кузальник – с. Северинівка, за період 1986-2011 рр. (при $H = 160\text{-}260$ см)

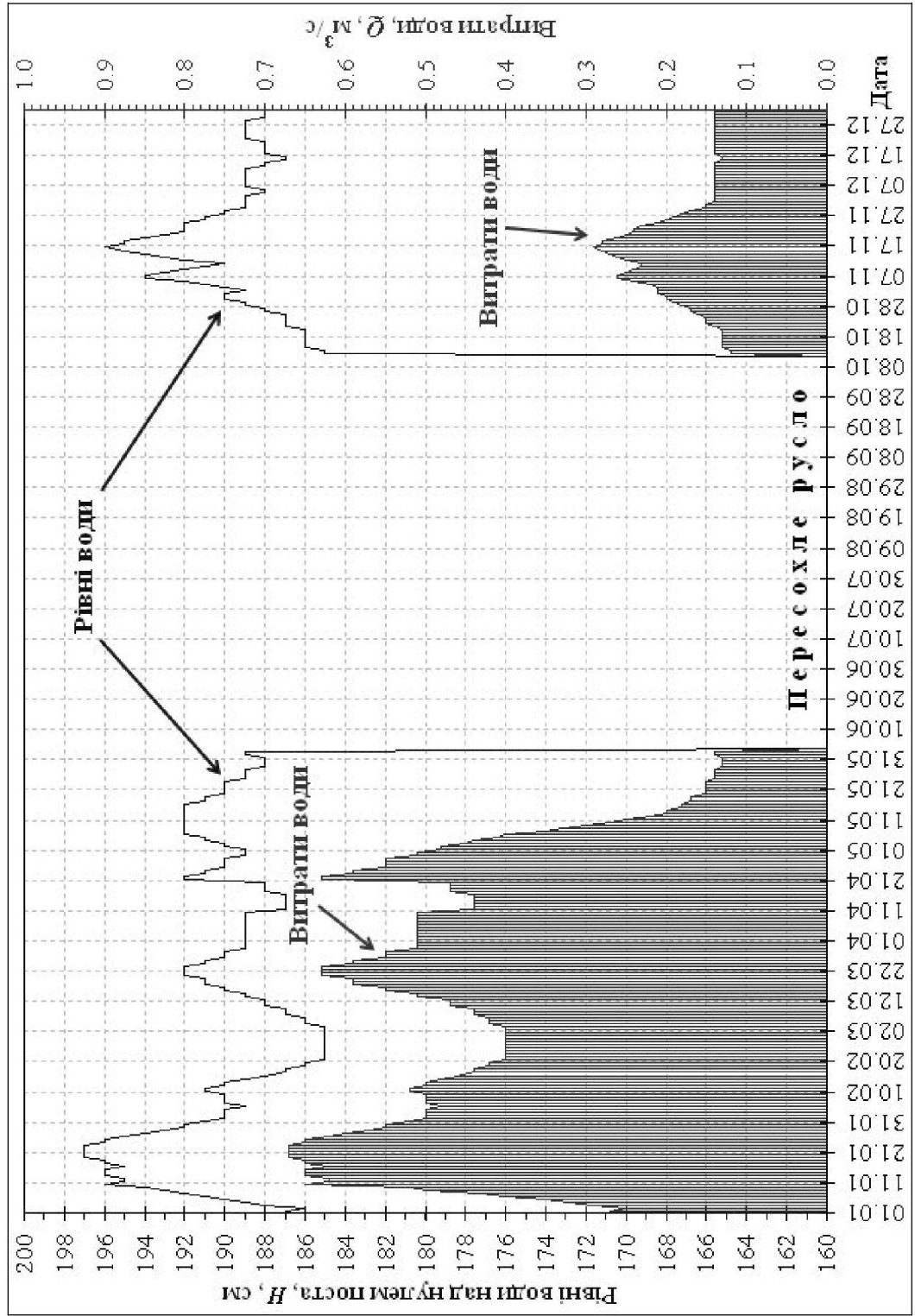


Рисунок 2.10 – Гідрограф середньодобових рівнів і витрат води, р. В. Куяльник – с. Северинівка, 1989 р.

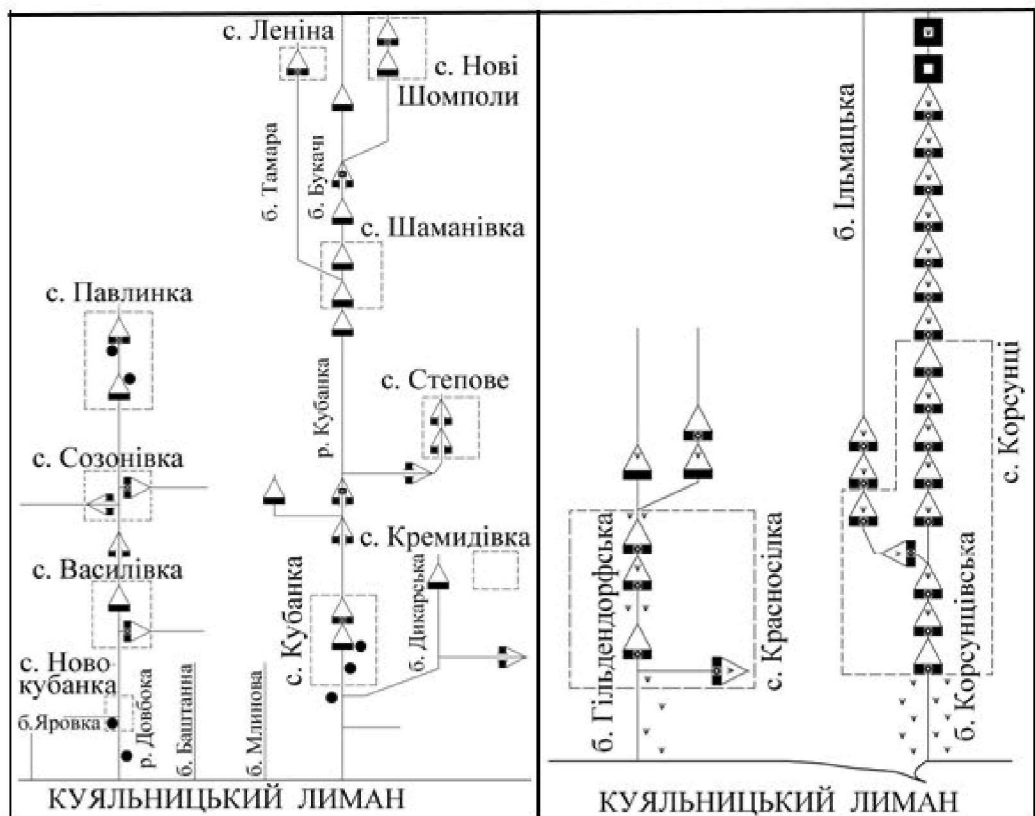


Рисунок 2.11 – Положення ГТС, ШВ та колодязів на рр. Довбока і Кубанка (схема з ліва) та на бб. Гільдендорфська і Корсунцівська (схема справа)

цифри в чисельнику – характеристики ГТС, визначені без урахування прорізів (проривів, промоїн) в дамбі;

цифри в знаменнику – характеристики ГТС, визначені з урахуванням прорізів (проривів, промоїн) в дамбі (станом на середину 2012 р.).

З табл. 2.1 видно, що у межах водозбору р. Кубанка знаходиться 19 ГТС та ШВ, з них станом на середину 2012 р. на 4 прорвано (розмито) дамбу. Сумарна площа водної поверхні 15 діючих ШВ (при їх максимальному заповненні) складає майже $0,4 \text{ км}^2$ ($0,386 \text{ км}^2$), що становить приблизно 0,3% від площі водозбору річки ($136,5 \text{ км}^2$).

Для р. Довбока (табл. 2.1) сумарна площа водної поверхні ставків (при їх максимальному заповненні) складає майже $0,2 \text{ км}^2$ ($0,198 \text{ км}^2$), що також становить приблизно 0,3% площі водозбору річки ($69,5 \text{ км}^2$). На р. Кубанка максимальний об'єм існуючих штучних водойм становить $0,974 \text{ млн. м}^3$, що в 1,4 рази перебільшує природні водні ресурси. Заповнення цих об'ємів можливе лише у багатоводні роки із забезпеченістю менше 25%. Об'єм максимального заповнення штучних водойм на р. Довбока становить $0,366 \text{ млн. м}^3$, тобто всі водні ресурси річки виявилися майже рівними цьому об'єму.

Таблиця 2.1 – Місцезаположення, тип і характеристика ГТС та ШВ в басейні річок Кубанка та Довбока (за даними ОДЕКУ станом на 2012 р.) [76]

Місцезаположення та тип ГТС або ШВ	Характеристика ГТС або ШВ	$F_{max},$ м ²	$W_{max},$ м ³
1	2	3	4
р. Кубанка			
с. Кубанка, нижній ставок в селі	земляна, без водопропускної споруди	49292	98583
с. Кубанка, верхній ставок в селі	земляна, з водопропускною спорудою (дві труби діаметром 0,5 м кожна)	3315	4973
с. Кубанка, дамба (залишки від ГТС ставка) в 2,0 км вище села	земляна, з проривом (промоїною) з лівого берегу (ширина 25 м)	$\frac{66000}{6750}$	$\frac{165000}{3375}$
с. Кубанка, копанка з дамбою (залишки від ГТС ставка) в 3,0 км вище села	земляна, з прорізом (промоїною) в центрі греблі (ширина 10 м)	$\frac{40000}{4875}$	$\frac{80000}{2438}$
с. Кубанка, ставок в 4 км вище села	земляна, без водопропускної споруди	63750	382500
с. Кубанка, дамба (залишки від ГТС ставка) в 2 км південно-східніше (нижче) села	земляна, з прорізом до дна в центрі дамби (ширина 10 м)	$\frac{46475}{0}$	$\frac{69713}{0}$
с. Леніна, ставок в межа села	земляна, з водопропускною спорудою (дві труби діаметром 0,9 м кожна)	39000	39000
с. Кремидівка, ставок в 1 км західніше села	земляна, з водопропускною спорудою (канал-промоїна з лівого берегу)	35500	53250
с. Степове, нижня дамба (залишки від ГТС ставка) в селі	земляна, з проривом (промоїною) з лівого берегу дамби (шириною 10 м)	$\frac{7975}{0}$	$\frac{15950}{0}$
с. Степове, верхня дамба (залишки від ГТС ставка) в селі	земляна, з проривами (промоїнами) в центрі та з правого берегу греблі (шириною 10 м кожна)	$\frac{10450}{0}$	$\frac{10450}{0}$
с. Шаманівка, дамба (залишки від ГТС ставка) в 1,5 км нижче села	земляна, з прорізом (промоїною) до дна в центрі дамби (шириною 10 м)	$\frac{15000}{0}$	$\frac{22500}{0}$

Продовження табл. 2.1

1	2	3	4
с. Шаманівка, ставок в 0,5 км нижче села	земляна, з водопропускною спорудою (канал-промоїна) з правого берегу (шириною 15 м)	60160	90240
с. Шаманівка, нижня дамба (залишки від ГТС ставка) в селі	земляна, з прорізом (промоїною) до дна в центрі греблі (ширина 30 м)	<u>38500</u> 2500	<u>38500</u> 1250
с. Шаманівка, в селі верхній ставок	земляна, без водопропускної споруди	69000	207000
с. Шаманівка, ставок в 2,0 км вище села	земляна, з водопропускною спорудою (канал-промоїна) з правого берегу (ширина 15 м)	10875	21750
с. Нові Шомполи, копанка в 1,5 км нижче села	земляна, без водопропускної споруди	1125	1688
с. Нові Шомполи, ставок в 1,0 км нижче села	земляна, з водопропускною спорудою (канал-промоїна) з правого берегу (ширина 15 м)	7000	7000
с. Нові Шомполи, в селі нижній ставок	земляна, без водопропускної споруди	24375	48750
с. Нові Шомполи, в селі верхній ставок	земляна, з водопропускною спорудою (труба діаметром 0,9 м)	8000	12000
р. Довбока			
с. Павлінка, ставок нижче села	земляна, з водопропускною спорудою (канал-промоїна з правого берегу)	105850	211700
с. Павлінка, ставок в селі	земле-кам'яна, з водопропускною спорудою (квадратний водозлив)	28875	43313
с. Василівка, ставок в селі	земляна, з водопропускною спорудою (канал-промоїна з лівого берегу)	33000	66000
с. Василівка, ставок нижче села	земляна, з водопропускною спорудою (труба діаметром 0,5 м)	26250	39375
між с. Созонівка та с. Василівка, дамба	земляна, з прорізом до дна в центрі дамби (ширина 20 м)	<u>31850</u> 0	<u>63700</u> 0
с. Созонівка, дамба вище села	земляна, з прорізом до дна в центрі дамби (ширина 15 м)	<u>6020</u> 0	<u>9030</u> 0
с. Созонівка, ставок вище села	земляна, з водопропускною спорудою (труба діаметром 0,5 м)	3800	5700

2.7 Замулювання річок

В зв'язку з тим, що стаціонарні гідрологічні спостереження в басейнах річок Довбока і Кубанка не здійснюються, у 2012 р. ОДЕКУ були виконані натурні експедиційні дослідження гирлових ділянок цих річок з метою визначення максимальних витрат води під час паводків, які пройшли на цих річках в кінці травні 2012 р. після інтенсивних зливових опадів 24.05.2012 р., з величиною 70,9 мм, що більш ніж в 2 рази перевищувало місячну норму для травня (34,9 мм) за даними метеостанції «Одеса-Обсерваторія». Для цього використано гідравлічний метод визначення максимальних витрат води за позначками рівнів високих вод (РВВ), який засновано на гідравлічних розрахунках і використовується на річках, де відсутні гідрометричні пости [113].

За даними вимірювань встановлено, що максимальні витрати води під час паводку склали: $8,65 \text{ м}^3/\text{с}$ – на р. Довбока, $78,6 \text{ м}^3/\text{с}$ – на р. Кубанка. Поява такої великої максимальної витрати води на р. Кубанка обумовлена не тільки зливовими опадами, а й проривом води «дамби» з сміттям (залишки сільгоспкультур, гілки дерев тощо) на б. Дикарська. Стік води під мостом на початку паводку було перекрито цим штучним затормом з сміття. Схилний та русловий стік, утворений зливою, прорвав цю тимчасову загату і вода хлинула в р. Кубанку. Крім того, за даними обстеження греблі ставка в межах с. Кубанка та за результатами опитування мешканців села встановлено, що дамба цього ставка приблизно в середині паводку 24.05.2012 р. також була прорвана. Вода після цього стрімким потоком пішла в гирлову частину річки, що також підтверджують позначки РВВ на водопропускній споруді моста в нижній частині с. Кубанка. В результаті на р. Кубанка сформувався паводок, значний за величиною максимальної витрати ($78,6 \text{ м}^3/\text{с}$) і швидкості течії води ($1,03 \text{ м/с}$), але короткочасний за періодом проходження. Цей приклад ілюструє високу ступінь чутливості водних ресурсів малих та середніх річок зони недостатнього зволоження до впливу водогосподарської діяльності, наслідки якої суттєво перетворюють природні показники їх стоку.

Аналізуючи наслідки паводку 24.05.2012 р. на рр. Довбока і Кубанка треба також відмітити значне замулювання русел річок в їх гирлових і середніх частинах. Наприклад, за результатами обстежень русел цих річок науковцями ОДЕКУ влітку 2012 р. встановлено, що на деяких (пересохлих на час обстежень) ділянках русел шар нового намулу становив 15-30 см і більше – в руслі р. Довбока на ділянці довжиною майже 1 км вище с. Новокубанка шар нових донних мулистих відкладів дорівнював 35-40 см. Це пов'язано зі змивом схиловими потоками поверхневого шару ґрунтів з ораних

сільськогосподарських угідь (полів), межі яких в останні роки зрівнялися з межами долин малих річок, а в деяких частинах – сільськогосподарськими угіддями зайняті навіть заплави та русла річок (наприклад, ділянки в середній частині р. Довбока, ділянка р. Кубанка – в межах с. Кубанка тощо), в яких також місцеві жителі влаштували ґрунтові («польові») автомобільні дороги.

Відкладанню наносів на розглядуваній ділянці русла р. Довбока також сприяла затримка паводкового стоку вище водопропускної споруди під дамбою дороги між с. Новокубанка і с. Кубанка, яка розташована майже перпендикулярно до напрямку русла річки та складається з п'яти залізобетонних труб з діаметром 1200 мм. За результатами натурних обстежень працівниками ОДЕКУ влітку 2012 р. було встановлено, що ця водопропускна споруда в період паводку 24.05.2012 р. була деякий час перекрита сміттям, тому швидкість течії зменшилась, а відповідно завислі і волочені наноси відклалися на дно річки, замуливши таким чином її русло новим шаром відкладів товщиною до 35-40 см.

З урахування цього, можна стверджувати, що при сучасному рівні сільськогосподарського та водогосподарського використання басейнів річок Довбока і Кубанка їх русла після декількох подібних паводків остаточно замуляться, а самі річки можуть зникнути з карти України.

2.8 Фізико-хімічні властивості та мінералізація ропи лиману в умовах кліматичних змін та водогосподарських перетворень

В умовах ізоляції Куяльницького лиману від моря в його водних масах відбувалися процеси, що призвели до утворення шару грязьових відкладень. Грязі та ропи лиману за сполученням солей мають унікальні лікувальні властивості, відповідають стандартам лікувальних грязей [114]. Гідрохімічний режим закритого Куяльницького лиману визначався природними і антропогенними чинниками: надходженням стоку річки Великий Куяльник, припливом прісних вод від водотоків східного берегу лиману та від водойм пересипу лиману і прилеглих територій, надходженням атмосферних опадів і величиною випаровування, фільтрацією морської води через пересип, поверхневим і підземним стоком зі схилів, розвитком внутрішньоводоймних гідробіологічних процесів.

Оскільки підземне живлення і фільтрація вод з моря дуже несуттєві в закритих лиманах [115], а стік річки Великий Куяльник у значній мірі затримується штучними водоймами, на формування гідрохімічного режиму лиману основний вплив чинить стік поверхневих вод зі схилів, атмосферні

опадів і випаровування (мілководність лиману забезпечує швидкий прогрів водних мас та інтенсивне випаровування з водної поверхні), антропогенний стік (скидні води) з прилеглих територій. Вплив внутрішньоводоймних, гідробіологічних процесів на гідрохімічний режим лиману через нестабільність внутрішньорічного і багаторічного режиму солоності періодично то посилюється, то слабшає. Це пов'язано з тим, що солоність більша 150 ‰ обмежує розвиток флори і фауни в водних екосистемах: верхньою межею розповсюдження тварин вважається солоність близько 220 ‰, бактерій – близько 300 ‰, при цьому припиняється і процес грязеутворення [116]. Основним компонентом біоти лиману є галорезистентний зябронігий рачок *Artemia parthenogenetica*, здатний до життя в гіпергалинних водоймах, і деякі види мікроводоростей.

Зміни гідрохімічного режиму і морфометричних характеристик лиману, зареєстровані в останні десятиліття, пов'язані зі зміною складових його водного балансу, які відбуваються під впливом кліматичних і антропогенних чинників [65]. Відсутність постійного припливу прісних вод на фоні значного випаровування, величина якого майже в 2 рази перевищує надходження атмосферних опадів (700-800 мм проти 423 мм) [117] сприяли поступовому зменшенню площі водного дзеркала, осолоненню лиману і перетворенню його в гіпергалинну водойму. Так, максимальна солоність води зафіксована в Куяльницькому лимані за період з 1987 р. по 2009 р. [118] становить 390 ‰ (2009 р.). До початку листопада 2011 р. площа водного дзеркала лиману зменшилась до 28,6 км², солоність в південній і центральній частинах стабілізувалася на значенні 318 ‰. Навіть після інтенсивних паводків і атмосферних опадів солоність води в лимані досить швидко збільшувалася за рахунок вилуджування сотень тисяч тонн солі з поверхневого шару донних відкладень та прилеглих до узбережжя солончаків, а також завдяки випаровуванню.

Дослідження іонного складу ропи Куяльницького лиману (за класифікацією природних вод, води з мінералізацією вище 50 ‰ відносяться до розсолів або ропи [108]) були розпочаті ще в кінці XIX ст. Було встановлено, що в залежності від солоності ропи її іонний склад (концентрації основного аніона хлору і процентне співвідношення до хлору кальцію, магнію, натрію, сульфатів, гідрокарбонатів) значно змінюється. Однак значення хлорного коефіцієнту (відношення кількості солей, які містяться в природній воді, до вмісту хлору) залишається стабільним – 1,55-1,65 (табл. 2.2).

Таблиця 2.2 – Відношення основних іонів до хлору для ропи Куяльницького лиману

Джерело, рік, місяць	Солоність води, S , ‰	Cl^- , ‰	Відношення іонів до хлору, %					Хлорний коефіцієнт, $K = S/Cl^-$
			Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	SO_4^{2-}	HCO_3^-	
Лабораторія гірничого департаменту, 1869, V	258	169	0,92	20,1	26,1	2,24	–	1,64
Вериго А.А., 1894, VII	79,4	47,7	1,99	8,90	47,8	4,89	–	1,66
Комар І.В., 1921, VII	305	196	1,83	13,8	37,7	1,82	–	1,55
Бурксер Е.С., 1921, IX	37,4	21,7	2,71	9,59	–	4,85	–	1,62
КНС-Одеса, 1962, IX	295	185	0,98	10,4	–	1,86	0,10	1,60
Розенгурт М.Ш., 1968, VIII	88,9	83,9	2,10	8,41	–	4,91	0,04	1,65

В роботі [51] показано, що ропа Куяльницького лиману представляє собою метаморфізовану морську воду хлоридно-натрієвого типу. Коефіцієнт метаморфізації ропи Куяльницького лиману (співвідношення $MgSO_4/MgCl_2$, величина, яка характеризує ступінь відхилення сольового складу природних розсолів від нормальної морської води) більше нуля і за класифікацією Курнакова-Валяшко вона відноситься до 1 класу розсолів [119], для яких характерний вміст хлоридів натрію і магнію та сульфатів натрію, магнію та кальцію.

При солоності вище 150 ‰ в лимані неодноразово спостерігали процес осідання солі [29], який супроводжувався випадінням гіпсу ($CaSO_4$) і тому різким зменшення іонів SO_4^{2-} и Ca^{2+} . Далі, по мірі розбавлення паводковими водами осаджених солей, розпочинався процес розчинення гіпсу. Але при цьому не увесь гіпс повертався в лиман. В періоди низьких концентрацій солоності води, коли посилюється життєдіяльності сульфаторедуруючих бактерій, значна частина гіпсу відновлювалась і перетворювалась в вуглекислий кальцій і сірководень, велика кількість яких відмічалась скрізь в мулових відкладеннях лиману. Відсутність кристалічного гіпсу у грязях була підтверджена численними бальнеологічними дослідженнями Е.С. Бурксера [116].

Дослідження 2000-2005 рр. [120], коли солоність в лимані коливалася в межах 120-216 ‰, показали, що основними іонами в ропі були: аніони – хлорид, сульфат і бікарбонат; катіони – натрію, магнію і кальцію. У відповідності із складом води лиману, розрахованим за формулою Курлова, домінуючими за значеннями іонами, як і в попередні роки, були хлорид-іони; катіонами – натрій і магній. Причому іони хлору в більшій мірі врівноважувалися катіонами натрію (вміст NaCl порядку 65 ‰), в меншій мірі – магнію (табл. 2.3).

Таблиця 2.3 – Основний іонний склад ропи Куяльницького лиману в 2005 р. (середні значення) [120]

Вміст основних іонів						Мінералізація, мг/дм ³
мг/дм ³						
Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	
24500	1570	6340	75900	3750	270	116000
% від мінералізації						
21,8	1,4	5,6	67,6	3,4	0,2	

За класифікацією О.А. Альокіна [119] ропа Куяльницького лиману відноситься до розряду хлоридно-натрієвих, де відсоткова сума гідрокарбонатів і сульфатів менша за суми іонів кальцію і магнію, а вміст іонів хлору перевищує вміст іонів натрію: $\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-} < \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ (або $\text{Cl}^- > \text{Na}^+$). З табл. 2.3 видно, що основну масу солей складають хлориди натрію і магнію. Вміст мікрокомпонентів у воді лиману в 2005 р. коливався в межах: бром – 200-800 мг·дм⁻³, фтору – 0,03-0,25 мг/дм³, бору 9,4-24,2 мг/дм³.

За основним іонним складом і співвідношенням солеутворюючих іонів ропа Куяльницького лиману є близькою до морських хлоридно-натрієвих вод, на що вказує і середнє багаторічне значення хлорного коефіцієнта Куяльницької води – 1,62 (для Чорного моря – 1,82) [51].

Вміст біогенних речовин (необхідних елементів для розвитку гідробіологічних, продукційних процесів) в Куяльницькому лимані, як і у всіх закритих лиманах північно-західного Причорномор'я, має сезонні коливання. Це пов'язано з особливостями гідрологічного і гідробіологічного режиму цих водойм. Максимум концентрацій біогенних речовин припадає на зимовий період, а влітку відмічають зниження їх вмісту до аналітичного нуля. Згідно з [51], концентрація біогенних сполук в лимані змінювалась в межах: нітрити – від 0 до 0,15 мг/дм³, нітрати – 0-0,65 мг/дм³, фосфати – 0-1,8 мг/дм³, кремній – 0,6-4,0 мг/дм³, вміст розчиненої органічної речовини (РОР) змінювався від 0,3 до 7,1 мгО₂/дм³.

Концентрації біогенних речовин в ропі лиману за даними досліджень 1999-2002 рр. також змінювались в широких межах [121]. Було відмічено, що в південній і центральній частинах лиману, куди надходять слабо очищені і неочищені води антропогенного походження, діапазони мінливості і середні концентрації біогенних речовин досягали свого максимуму (табл. 2.4).

Таблиця 2.4 – Мінливість вмісту біогенних речовин в акваторії Куяльницького лиману за період 1999-2002 рр. [121]

Частина лиману	Показники	Роки			
		1999	2000	2001	2002
Південна частина	N-NH ₄ ⁺ , мг/дм ³	0,0-8,47	0,447-1,39	0,439-1,22	0,939-0,608
	N-NO ₂ ⁻ , мг/дм ³	0,003-0,009	0,0-0,015	0,001-0,04	0,021-0,027
	N-NO ₃ ⁻ , мг/дм ³	0,414-1,27	0,115-1,01	0,085-0,253	0,138-0,184
	P-PO ₄ ³⁻ , мг/дм ³	–	0,053-0,241	0,046-0,251	0,040-0,089
Центральна частина	N-NH ₄ ⁺ , мг/дм ³	2,16-16,2	0,0-0,739	0,123-0,431	0,193-0,354
	N-NO ₂ ⁻ , мг/дм ³	0,006-0,007	0,002-0,021	0,036-0,12	0,021-0,048
	N-NO ₃ ⁻ , мг/дм ³	0,575-1,73	0,115-1,82	0,115-1,86	0,115-0,506
	P-PO ₄ ³⁻ , мг/дм ³	–	0,076-0,218	0,053-0,37	0,069-0,218
Північна частина	N-NH ₄ ⁺ , мг/дм ³	3,23-7,32	0,0-3,850	0,146-0,77	–
	N-NO ₂ ⁻ , мг/дм ³	0,006-0,009	0,001-0,021	0,012-0,060	–
	N-NO ₃ ⁻ , мг/дм ³	0,874-1,73	0,575-0,667	0,184-0,713	–
	P-PO ₄ ³⁻ , мг/дм ³	–	0,026-0,165	0,056-0,063	–

Дослідження гідрохімічного режиму лиману у 2001-2002 рр. [122] також показали значну сезонну мінливість майже всіх гідрохімічних показників, що пов'язано з нестійким гідрологічним режимом Куяльницького лиману (табл. 2.5).

Було встановлено, що амонійний азот є основною мінеральною формою азоту в лимані. Одним з джерел його постачання в ропу лиману є процеси життєдіяльності *Artemia parthenogenetica*. В період масового розвитку артемії, як, наприклад, пізньою осінню 2001 р., в місцях її скупчення вміст амонійного азоту досягав 0,364 мг/дм³. Високі концентрації амонійного азоту, які спостерігалися на протязі зимових і весняних місяців, свідчать про активну деструкцію азотовмісних органічних речовин. Пониження концентрації амонійного азоту влітку і восени обумовлене, головним чином, погіршенням умов мінералізації органічної речовини через різке підвищення солоності і зниження насичення вод лиману киснем.

Таблиця 2.5 – Діапазон и середні значення деяких гідрохімічних показників Куяльницького лиману (2001-2002 рр.) [122]

Показники	Зима	Весна	Літо	Осінь
Солоність, ‰	<u>179-188</u> 180	<u>169-184</u> 174	<u>189-265</u> 227	<u>158-266</u> 222
O ₂ , мгО ₂ /дм ³	<u>2,3-5,73</u> 5,25	<u>6,58-7,38</u> 6,98	<u>2,31-3,50</u> 2,91	<u>3,02-3,46</u> 3,53
N-NH ₄ ⁺ , мг/дм ³	<u>0,123-0,246</u> 0,254	<u>0,234-0,535</u> 0,385	<u>0,024-0,031</u> 0,028	<u>0,007-0,364</u> 0,081
N-NO ₂ ⁻ , мг/дм ³	<u>0,009-0,01</u> 0,008	<u>0,002-0,009</u> 0,005	<u>0,003-0,011</u> 0,007	<u>0,004-0,007</u> 0,006
N-NO ₃ ⁻ , мг/дм ³	<u>0,022-0,152</u> 0,106	<u>0,096-0,141</u> 0,119	<u>0,015-0,062</u> 0,032	<u>0,011-0,051</u> 0,022
N _{орг} , мг/дм ³	<u>3,45-17,0</u> 10,6	<u>4,38-7,47</u> 5,88	<u>2,90-11,7</u> 6,78	<u>2,10-6,57</u> 3,52
P-PO ₄ ³⁻ , мг/дм ³	<u>0,058-0,062</u> 0,054	<u>0,038-0,045</u> 0,041	<u>0,078-0,317</u> 0,198	<u>0,012-0,103</u> 0,050
P _{орг} , мг/дм ³	<u>0,182-0,232</u> 0,143	<u>0,032-0,040</u> 0,034	<u>0,015-0,067</u> 0,041	<u>0,003-0,061</u> 0,026
Si, мг/дм ³	<u>0,240-0,765</u> 0,754	<u>1,30-1,49</u> 1,40	<u>0,891-2,01</u> 1,52	<u>1,33-1,65</u> 1,51
POP, мгО/дм ³	<u>18,2-21,8</u> 21,0	<u>20,2-22,9</u> 21,5	<u>18,4-28,5</u> 24,2	<u>21,5-35,4</u> 25,9

Аналіз динаміки співвідношення величин мінеральних і органічних форм азоту і фосфору у воді Куяльницького лиману показав, що мінімальні значення цих показників притаманні весняному періоду, максимальні значення спостерігалися влітку при високій температурі води. Лише взимку азот і фосфор містяться у воді переважно в органічній формі. Це узгоджується з особливостями перебігу продукційно-деструкційних процесів в лимані (продукція - розвиток фітопланктону і зоопланктону в теплий період року, деструкція - розкладання органічних речовин під дією гетеротрофних організмів, переважно бактерій).

Однією з найбільш характерних особливостей сучасних гідрохімічних умов лиману є високий вміст розчиненої органічної речовини, який у порівнянні з 1960-1970 рр. [51] збільшився в 4-6 разів. Це пов'язано з підвищенням солоності в лимані з 24-25 ‰ у 1940-1950 рр. до 100-300‰ і більше – в сучасний період, а також низьким ступенем окислення зваженої органічної речовини. Накопичення зваженої органічної речовини у воді

лиманів з високою мінералізацією призводить до її седиментації і депонуванню в донних відкладеннях, де проходять складні біохімічні процеси перетворення органічної речовини у пелоїдах [123].

Як правило, у воді лиману, при солоності більше 150 ‰, відмічали відносно низький вміст розчиненого кисню. Це пов'язано як з його низькою розчинністю при надвисокій солоності, так і з незначною кількістю фітопланктону - його основного продуцента. Так, в 2001-2002 рр. максимальне значення вмісту кисню ($7,38 \text{ мгО}_2/\text{дм}^3$) було зафіксоване навесні 2002 р. при температурі ропи $10,5^\circ\text{C}$ і максимальній величині первинної продукції фітопланктону – $2,68 \text{ мгО}_2/\text{дм}^3 \cdot \text{д}^{-1}$. Мінімальне значення кисню установлене у серпні при температурі води $31,4^\circ\text{C}$ і солоності 227,1 ‰ [121].

Близькість розташування об'єктів енергетичного і нафтоперевального комплексів, транспортних магістралей, скид неочищених стічних, зливних і талих вод, надходження вод від водотоків антропогенного походження, фільтрація ґрунтових вод призвели до забруднення акваторії Куяльницького лиману. В минулі десятиріччя в ропі лиману, особливо в його південній частині, реєструються високі концентрації забруднюючих речовин – нафтопродуктів, важких металів та інше [124, 125]. Основними постійними джерелами забруднення акваторії лиману є: залізниця, стихійні звалища побутових і промислових відходів на берегах лиману, біологічно неочищені або недостатньо очищені господарсько-побутові і промислові стічні води. Рівень забруднення акваторії лиману нафтопродуктами в 1999-2001 рр. змінювався в межах $10\text{-}70 \text{ мг}/\text{дм}^3$, досягаючи максимальних значень $170\text{-}200 \text{ мг}/\text{дм}^3$. Концентрації важких металів в цей же період змінювались в наступних діапазонах: мідь – $0,010\text{-}0,092 \text{ мг}/\text{дм}^3$, свинець – $6,9\text{-}20,0 \text{ мг}/\text{дм}^3$, кадмій – $0,1\text{-}0,2 \text{ мг}/\text{дм}^3$, цинк – $39\text{-}55 \text{ мг}/\text{дм}^3$, хром – $4,1\text{-}9,6 \text{ мг}/\text{дм}^3$ [121]. Подальші (до 2008 р.) дослідження ропи і донних відкладень лиману щодо вмісту свинцю показали зміну його концентрації в воді в межах $0,0022\text{-}0,087 \text{ мг}/\text{дм}^3$, в донних відкладеннях – $4\text{-}43 \text{ мг}/\text{кг}$. Це свідчить про міграції цього металу з ропи в донні відкладення і акумуляцію в них.

Результати моніторингу екосистеми лиману в період 1999-2011 рр. дозволили виявити [126], що в ропі лиману і водах сполучених водойм реєструється перевищення ГДК по нафтопродуктам і продуктам їх окислення (формальдегід і феноли), а також високий рівень вмісту металів – ванадію, свинцю і кадмію.

Донні відкладення лиману є важливим фактором впливу на гідрохімічні показники ропи і являють собою потужні запаси лікувальної грязі (пелоїдів), в яких проходять специфічні хімічні і бактеріальні процеси. Пелоїди лиману містять значний запас основних аніонів (хлоридів, сульфатів, гідрокарбонатів і карбонатів) та катіонів (натрію, калію, кальцію і магнію)

ропи, концентрації яких помітно змінюються в залежності від величини її солоності. За класифікацією Курнакова-Валяшко порові розчини пелоїдів Куяльницького лиману, також як і ропа лиману, відносяться до I класу, де сульфату магнію більше ніж сульфату кальцію і їхній коефіцієнт метаморфізації більше нуля [123].

Аналіз даних за вмістом мінеральних і органічних речовин в порових розчинах пелоїдів лиману показав, що концентрації мінерального і органічного фосфору, мінеральних сполук азоту в них на один-два порядки вище, ніж в ропі; органічного азоту і розчиненої органічної речовини – вище в 2-3 рази [122]. Це свідчить про інтенсивне накопичення і слабку мінералізацію органічної речовини, як в ропі, так і в пелоїдах. Така ситуація, в цілому, є типовою для гіперсолоних водойм, в яких перевищення продукції над деструкцією веде до накопичення автохтонної органічної речовини [121].

Вміст в порових розчинах пелоїдів Куяльницького лиману органічної речовини, мінеральних і органічних сполук азоту і фосфору в середньому на порядок перевищує значення в інших лиманах Північно-Західного Причорномор'я.

За період досліджень 2005-2007 рр. (табл. 2.6) мінералізація ропи коливалась від 102,77 до 157,01 г/дм³, рН – від 6,9 до 7,55 одиниць рН. Ропи Куяльницького лиману за основним іонним складом відноситься до хлоридних натрієвих, натрієво-магнієвих. Вміст хлорид-іонів становить 58,58-94,08 г/дм³, вміст іонів натрію і калію – 34,00-44,72 г/дм³, магнію – 5,59-8,97 г/дм³. Серед специфічних біологічно активних компонентів та сполук (табл. 2.7) в терапевтично значимій кількості виявлені: йод 2,33-13,2 мг/дм³, бром 278-398 мг/дм³, ортоборна кислота 36,4-101 мг/дм³. Матеріали по середньому хімічному складу ропи Куяльницького лиману в період з 1996 по 2007 р. (більш 400 досліджень) наведений в табл. 2.8.

Аналіз даних фізико-хімічних досліджень дає підставу стверджувати, що основний компонентний склад ропи Куяльницького лиману формують хлорид-іони, іони натрію та магнію. Коливання мінералізації залежать від вмісту цих компонентів. Причому, співвідношення основних компонентів при коливанні мінералізації практично не змінюється.

За класифікацією, яка використовується в бальнеологічній практиці, ропа Куяльницького лиману характеризується як бромний борний йодний хлоридний магнієво-натрієвий розсіл. За даними фізико-хімічних досліджень розчин пелоїдів характеризується хлоридним магнієво-натрієвим, натрієвим складом з мінералізацією 38,9-146 г/дм³.

За солоністю (мінералізацією) води Куяльницький лиман можна поділити на три частини: північну, середню та південну [127].

Таблиця 2.6 – Макрокомпонентний склад ропи Куяльницького лиману за період 2005-2007 рр.

Дата відбору	Концентрації компонент, мг/дм ³							pH
	Na ⁺ +K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	
14.03.2005	34000	120	5590	58600	4380	–	240	7,25
14.03.2005	34000	120	5590	58600	4340	–	260	7,50
10.07.2006	37500	1700	6990	76300	6560	–	240	7,55
12.09.2006	39600	1800	8030	83400	5810	–	240	6,90
16.04.2007	39500	2000	7660	82400	5970	40	170	–
6.06.2007	43300	2000	8660	90500	6770	40	200	–
07.06.2007	44700	2250	8970	94100	6760	40	200	–

Таблиця 2.7 – Вміст біологічно активних компонент та сполук (мг/дм³) у ропі Куяльницького лиману за період 2005-2007 рр.

Біологічно активні сполуки	14.03.2005	14.03.2005	10.07.2006	12.09.2006	23.04.2007	06.06.2007	07.06.2007	ДСТУ 42.10.02-96 Значення масової концентрації, не менше
Fe ²⁺ , Fe ³⁺	–	–	–	–	–	–	–	10,0
As	–	–	–	–	–	–	–	0,70
H ₃ BO ₃	38,0	39,0	36,4	101	–	–	–	35,0
H ₂ SiO ₃	<0,8	<0,8	<0,1	<0,1	–	<0,1	<0,1	50,0
I	2,52	2,33	13,2	5,26	4,37	6,62	6,62	5,00
Br	294	278	398	342	302	294	310	25,0

Таблиця 2.8 – Середній хімічний склад ропи південної частини Куяльницького лиману за період 2005-2007 рр.

Показник	Концентрація, мг/дм ³						
	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ +K ⁺	Мінералізація
середнє	270	101000	4910	1690	9060	48600	165000
максимум	340	161000	7380	2710	13900	79200	261000
мінімум	100	48800	2090	20	4310	23400	80100

Північна частина лиману навесні знаходиться під більшим впливом річкового стоку, тому тут мінералізація нижча, ніж в південній і середній. У південній частині концентрація ропи найбільша. Центральна частина займає проміжне положення. Різниця в концентрації ропи між частинами лиману незначна (менше 1 г/дм³ внаслідок мілководості лиману та сильного перемішування водних мас вітром.

В зв'язку з тим, що стаціонарні строкові спостереження за мінералізацією води Куяльницького лиману виконуються не завжди та не публікуються, як, наприклад, дані про рівні та температури води водойми, оцінити режим солоності ропи лиману можливо лише за даними, наведеними в науковій літературі.

Солоність води Куяльницького лиману тісно пов'язана з водним режимом водойми [65], тому для визначення середньомісячних значень солоності води за період надійних стаціонарних спостережень за рівнем води в лимані (з 1936 по 2015 рр.), можуть бути використані емпіричні залежності $S = f(H)$ солоності від рівня води.

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

$$S = 23330 \cdot (10 + H)^{-3,5506}, \quad (2.1)$$

де S – солоність води (ропи), ‰;

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

Для періоду з січня 2009 р. по листопад 2014 р. використана уточнена залежність $S = f(H)$, яка апроксимується в аналітичному виді наступним степеневим рівнянням

$$S = 161 \cdot H^{1,12}. \quad (2.2)$$

де S – солоність води (ропи), ‰;

H – рівень води над нулем графіка поста, м.

Ропи гіперсолонного Куяльницького лиману при зниженні рівнів води в літні періоди 2009-2015 рр. перетворювалась в перенасичений («кріпкий») водно-сольовий розчин, мінералізація якого за експедиційними даними ОДЕКУ в серпні 2009 р. сягала 390 ‰, а з квітня по серпень 2012 р. зросла з 266 до 365 ‰, «опріснюючись» тільки в періоди весняного водопілля та короточасних інтенсивних зливових опадів, як, наприклад, в кінці травня 2012 р., коли солоність ропи лиману зменшилась до 206 ‰.

В умовах такого водно-сольового режиму Куяльницького лиману в літні періоди у водоймі відбувалася самосадка розчинених в ропі лиману солей та утворення «соляної пустелі» (насамперед у верхній частині), як, наприклад, в липні-серпні 2009-2012 рр.

Існуючий водно-сольовий режим Куяльницького лиману може викликати такі наслідки у функціонуванні екосистеми:

- повне зникнення своєрідної флори та фауни лиману при солоності ропи більше 200 ‰, наприклад, зябраногого рачка – артемія (*Artemia parthenogenetica*), та червоно-буре «цвітіння» води за рахунок масового розвитку та відмирання (деструкції) фітопланктонної зеленої водорості *Dunaliella Salina*, як, наприклад, в період з травня по жовтень 2012 р.;
- втрата унікальних за лікувальними властивостями запасів грязей та ропи лиману (пелоїди лиману визнані еталонними у світі);
- зниження рекреаційного та бальнеологічного потенціалу Одеської області та України, втрата лиману як курорту.

За даними спостережень науковців ОДЕКУ у липні-серпні 2009 р. було отримано, що на акваторії Куяльницького лиману температура води змінювалась від 27,9 °С – в центральній частині водойми, до 29,8 °С – біля берегів. Температура води в гирлі р. В. Куяльник дорівнювала 29,6 °С. На акваторії лиману відчувався гнильний запах, інтенсивністю 3-5 балів. Прозорість води складала 0,60 м – на акваторії лиману, та 0,03 м – в гирлі р. В. Куяльник. Значення рН води коливалось від 6,69 – в нижній частині лиману до 7,50 – в верхній; в гирлі р. В. Куяльник рН дорівнювало 8,00. Концентрація розчиненого кисню у воді Куяльницького лиману змінювалась від 6,00-6,39 мгО₂/дм³ – біля берегів, до 8,14 мгО₂/дм³ – в центральній частині водойми. Солоність води Куяльницького лиману практично не змінювалась і складала в середньому по акваторії водойми 390 ‰, в центральній частині лиману вона була меншою і складала 380 ‰. В гирлі р. В. Куяльник солоність води дорівнювала 7,70 ‰.

2.9 Гідрохімічні показники водотоків і водойм басейну Куяльницького лиману

Наявність мілководних зон, зарегульованість русла, розораність берегової зони під земельні угіддя та садиби, велика кількість населених пунктів повздовж русла р. В. Куяльник та на території водозбору призводять до значного антропогенного навантаження на річкову екосистему, що позначається, в першу чергу, на зростанні мінералізації води (табл. 2.9),

підвищенні концентрацій неорганічних сполук азоту, фосфору (табл. 2.10) та органічних сполук – загальних фенолів, формальдегідів (табл. 2.11).

Таблиця 2.9. Вміст головних іонів (аніонів і катіонів) у воді р. Великий Куяльник (2004-2007 рр.) [118].

Мінералізація та головні іони, мг/дм ³						
Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ + K ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	ΣI
<u>113-341</u> 178	<u>120-450</u> 256	<u>255-1295</u> 554	<u>336-695</u> 506	<u>495-1618</u> 882	<u>346-2012</u> 1135	<u>1250-5160</u> 3513

Таблиця 2.10. Основні гідрохімічні показники біологічної характеристики вод р. Великий Куяльник (2004-2007 рр.) [118].

Граничнодопустимі концентрації (ГДК), мг/дм ³	Ph	Нітрити, мг/дм ³	Нітрати, мг/дм ³	Азот амонійний, мг/дм ³	Фосфати, мг/дм ³	ХСК, мгО ₂ /дм ³	БСК ₅ мгО ₂ /дм ³	Кисень розчинений, мг/дм ³
	<u>7,27-8,75</u> 178,4	<u>0,01-0,15</u> 0,07	<u>0,05-0,15</u> 0,39	<u>0,42-9,7</u> 3,09	<u>0,01-1,1</u> 0,33	<u>29,3-119,9</u> 55,6	<u>10,9-19,3</u> 13,9	<u>12,8-16,2</u> 14,6
ГДК _В	6,5-8,5	1,0	10,16	2,0	3,5	15,0-30,0	3,0-6,0	>4,0
ГДК _{ВР}	–	0,02	9,0	0,39	0,2	–	2,0	6,0

Таблиця 2.11. Вміст пріоритетних токсикантів органічного і неорганічного походження (мг/дм³) у воді р. Великий Куяльник (2004-2007 рр.) [118].

Граничнодопустимі концентрації (ГДК), мг/дм ³	Свинець	Формальдегід	Феноли
	<u>0,035-0,093</u> 0,055	<u>0,012-0,014</u> 0,011	<u>0,01-0,024</u> 0,018
ГДК _В	0,03	0,05	0,001
ГДК _{ВР}	0,1	0,1	0,001

В табл. 2.9-2.11: в чисельнику (цифра над ризикою) наведені граничні значення, в знаменнику (цифра під ризикою) – середні значення за період 2004-2007 рр., ГДК_В – граничнодопустимі концентрації для водойм

культурно-побутового та господарсько-питного призначення; ГДК_{ВР} – для водойм рибогосподарського призначення (токсикологічні).

На високий рівень забруднення органічними сполуками вказують величини інтегральних показників органічного забруднення ХСК та БСК₅. Вміст амонійного азоту, фосфатів, фенолу та свинцю перевищує величини ГДК для водойм як культурно-побутового і господарсько-питного, так і рибогосподарського призначення. Така ситуація є результатом впливу неочищених скидів комунально-побутових стоків з низки довколишніх населених пунктів та сільськогосподарських стоків з удобрених полів та тваринницьких ферм. Кисневий режим у руслі річки, незважаючи на високі показники БПК₅ (табл. 2.10), які свідчать про істотний антропогенний вплив, у цілому сприятливий, рН річкової води за вегетаційні періоди 2004-2007 рр. коливалась від нейтральної до слабо лужної. За іонним складом вода р. Великий Куяльник солонувата, хлоридно-сульфатного класу, переважно натрієвої групи, третього типу.

Середня мінералізація води водних об'єктів в басейні р. В. Куяльник осінню 2010 р. (експедиційні дослідження [111]) складала 4260 мг/дм³, максимальна – 14760 мг/дм³ (ставок нижче с. Шутове), а мінімальна – 813 мг/дм³ (ставок в с. Качурівка). Високі значення мінералізації можуть бути пов'язані з декількома чинниками – припливом високо мінералізованих підземних вод (чи верховодки); значним випаровуванням води, що за багато років призвело до поступового накопичення вмісту солей у водоймі; за рахунок біогенних елементів органічного походження (відмерлі рослини і тварини); залишками мінеральних добрив та ін.

В процесі виконання працівниками ОДЕКУ натурних експедиційних гідроекологічних досліджень водних об'єктів в басейнах водотоків і водойм східного і південного берегу Куяльницького лиману в 2012 р. були проведені гідрохімічні дослідження поверхневих і підземних вод в річок Довбока та Кубанка, балок Гільдендорфська та Корсунцівська [76].

Роботи проводились на мережі гідрохімічних станцій (ГХС) в руслах водотоків, на штучних водоймах і в колодязях (в басейні р. Довбока – на 8 ГХС, в басейні р. Кубанка – на 14 ГХС, в басейні б. Гільдендорфська – на 4 ГХС, в басейні б. Корсунцівська – на 4 ГХС).

Гідрохімічні дослідження склалися з візуальних спостережень стану поверхні водойм (наявність нафтових або масляних плівок, загибель риби, рослин і т.п.), визначення мінералізації, фізико-хімічних властивостей води (температура, запах, прозорість, кольоровість), рН, вмісту розчиненого у воді кисню, сірководню, БСК₅ та аналізу хімічного складу води в лабораторії хімії навколишнього середовища ОДЕКУ.

В результаті досліджень русел водотоків і штучних водойм (ШВ) в басейнах річок Довбока і Кубанка було встановлено, що колір води в них переважно жовто-коричневий, прозорість вод змінювалась від 0,02 до 0,1 м в басейні р. Довбока і від 0,05 до 0,35 м в басейні р. Кубанка. На усіх ГХС у воді не було виявлено сірководню. Запах води в більшості випадків був відсутній або землистий, до 2 балів. Смак води в більшості випадків – не виявлений, в гирлі р. Кубанка – солоний, до 5 балів; в гирлі р. Довбока – болотний, до 3 балів. Показник рН змінювався в межах 7,63-8,44 (р.Кубанка) і 8,39-9,56 (р.Довбока), що відповідає «лужній» реакції води. Мінералізація води в гирлі р. Кубанка складала 1665-12992 мг/дм³, в гирлі р.Довбока – 1001-2970 мг/дм³, у штучних водоймах – від 110 до 371 мг/дм³. Загальна твердість води в гирлі р. Кубанка становила 18,4 ммоль/дм³, в гирлі р. Довбока – 7,5 ммоль/дм³, у водоймах в басейнах зазначених річок від 2,5 до 4,63 ммоль/дм³. За іонним складом у рр. Кубанка і Довбока у гирловій частині домінуючим катіоном є натрій (у ШВ – кальцій), аніоном – хлор. Вміст розчиненого у воді кисню коливався в басейні р. Кубанка в інтервалі 1,94-9,95 мгО₂/дм³, в басейні р. Довбока – 5,62-14,2 мгО₂/дм³. Забрудненість води органічними речовинами за БСК₅ по басейну р. Кубанка складала від 0 до 8,84 мгО₂/дм³, по басейну р. Довбока – від 5,13 до 14,1 мгО₂/дм³. Сполуки азоту були виявлені по всім ГХС у рр. Кубанка і Довбока, що свідчить про їх постійне забруднення. Серед сполук азоту найбільші концентрації по всім ГХС установлені для азоту амонійного: у басейні р. Кубанка вони знаходилися у межах 0,076-0,937 мгN/дм³, у басейні р. Довбока – 2,12-3,19 мгN/дм³. Досить високим виявився вміст азоту нітритного, який змінювався по басейну р. Кубанка від 0,066 до 0,507 мгN/дм³, по басейну р. Довбока - від 0,035 до 0,044 мгN/дм³. Вміст азоту нітратного коливався по басейну р. Кубанка від 0 до 0,233 мгN/дм³, по басейну р. Довбока від 0,029 до 0,032 мгN/дм³. Вміст фосфатів у басейні р. Кубанка змінювався від 0,071 до 0,727 мгP/дм³, а в р.Довбока від 0,086 до 0,203 мгP/дм³.

В результаті досліджень *грунтових вод в колодязях в басейнах річок Довбока і Кубанка* було встановлено, що прозорість води в них була досить висока – від 0,3 до 0,8 м в басейні р. Кубанка і знаходилася в межах від 0,6 до 0,9 м в басейні р.Довбока. В усіх колодязях у воді не було виявлено сірководню. Запах і смак води в колодязях також не був виявлений. Показник рН змінювався в межах 7,4-7,67 (р.Кубанка) і 7,14-7,92 (р.Довбока), що відповідає «лужній» реакції води. Мінералізація вод в колодязях басейну р. Кубанка складала 1589-3538 мг/дм³, в басейні р. Довбока – 209-3252 мг/дм³. Загальна твердість ґрунтових вод в басейні р. Кубанка становила 12,5 ммоль/дм³, в басейні р. Довбока змінювалась від 11 до 32,3 ммоль/дм³. За іонним складом ґрунтових вод у рр. Кубанка і Довбока домінуючим

катіоном є натрій, аніоном – хлор. Забрудненість ґрунтових вод органічними речовинами за БСК₅ по басейну р. Кубанка складала 0,85 мгО₂/дм³, по басейну р. Довбока – від 0,16 до 0,43 мгО₂/дм³. Сполуки азоту були виявлені у всіх відібраних пробах ґрунтових вод, що вказує на їх постійне забруднення. Концентрація азоту амонійного змінювалась від 0,07 (басейн р. Кубанка) до 14,9 мгN/дм³ (басейн р. Довбока). Вміст азоту нітритного коливався від 0,07 мгN/дм³ (басейн р. Кубанка) до 4,37 мгN/дм³ (басейн р. Довбока). Вміст азоту нітратного знаходився у межах від 0,078 (р. Кубанка) до 11,8 мгN/дм³ по басейну р. Довбока. Вміст фосфатів у ґрунтових водах басейна р. Кубанка становив 0,071 мгP/дм³, в р. Довбока – 0-2,17 мгP/дм³.

Таким чином, при вивченні гідрохімічних показників річок Кубанка і Довбока в басейні Куяльницького лиману було встановлено, що поверхневі та підземні води в басейнах цих річок зазнають забруднення, яке проявляється у підвищених концентраціях сполук азоту і фосфору. Найбільш забрудненими є ґрунтові води в басейні р. Довбока.

В результаті досліджень *штучних водойм (ШВ) в басейнах балок Корсунцівська і Гільдендорфська* було встановлено, що гідрохімічні показники водойм та їх динаміка досить подібні. Так, колір води у водоймах був переважно жовто-коричневий, прозорість вод змінювалась від 0,3 до 0,43 м в басейні б. Корсунцівська і від 0,2 до 0,35 м в басейні б. Гільдендорфська. В усіх ГХС у воді не було виявлено сірководню. Органолептичні показники водойм були відмінні (запах і смак відсутні). Показник рН змінювався в межах 7,2-7,49 (б. Корсунцівська) і 8,28-8,94 (б. Гільдендорфська), що відповідає «лужній» реакції води. Мінералізація води в обох балках зростає по течії і складала в б. Корсунцівська 947-2673 мг/дм³, в б. Гільдендорфська – 1363-6785 мг/дм³. Аналогічно змінюється загальна твердість води – в б. Корсунцівська зростає з 10 до 23,5 ммоль/дм³, в б. Гільдендорфська – з 16,9 до 47,5 ммоль/дм³. За іонним складом у бб. Корсунцівська і Гільдендорфська домінуючим катіоном є натрій, аніоном – сульфати (б. Корсунцівська), гідрокарбонат і хлор (б. Гільдендорфська). Вміст розчиненого у воді кисню коливався у ШВ в басейні б. Корсунцівська в інтервалі 4,06-4,5 мгО₂/дм³, в ШВ басейну б. Гільдендорфська – від 12,3 до 17,42 мгО₂/дм³. Забрудненість води органічними речовинами за БСК₅ по басейну б. Корсунцівська складала від 4,06 до 4,50 мгО₂/дм³, по басейну б. Гільдендорфська – від 6,67 до 9,57 мгО₂/дм³. Сполуки азоту і фосфору були виявлені по всім ГХС у балках Корсунцівська і Гільдендорфська, що свідчить про їх постійне забруднення. Вміст азоту амонійного в обох балках зростав вздовж течії у ШВ б. Корсунцівська з 0,711 до 4,76 мгN/дм³, у ШВ б. Гільдендорфська – з 0,538 до 5,55 мгN/дм³. Досить високим виявився вміст

азоту нітритного, який у ШВ б. Корсунцівська змінювався від 0,061 до 0,599, у ШВ б. Гільдендорфська від 0,079 до 0,804 мгN/дм³. Вміст азоту нітратного зменшувався вздовж течії по ШВ б. Корсунцівська від 1,047 до 0,078 мгN/дм³, по ШВ басейну б. Гільдендорфська вміст нітратів зростав від 0,194 до 2,754 мгN/дм³. Вміст фосфатів у басейні б. Корсунцівська у ШВ вздовж течії зменшувався від 0,384 до 0,135 мгP/дм³, а в б.Гільдендорфська – збільшувався від 0,051 до 0,1 мгP/дм³.

При вивченні гідрохімічних показників штучних водойм балок Корсунцівська і Гільдендорфська в басейні Куяльницького лиману було встановлено, що ці водні об'єкти зазнають забруднення біогенними сполуками. Найбільш забрудненими виявилися поверхневі води в балці Гільдендорфська в районі с. Красносілка. В цьому районі біля ШВ в південній частині с. Красносілка виявлено величезне несанкціоноване звалище сміття і скид неочищених господарсько-побутових стічних вод від приватних будинків просто в балку.

За результатами гідроекологічних досліджень (у тому числі гідрохімічних зйомок), проведених науковцями ОДЕКУ в 2012 р. [74] штучних водойм пересипу було встановлено, що площа водної поверхні ставка 1 дорівнювала майже 0,377 млн. м², об'єм води – майже 0,393 млн. м³, а середня глибина – 1,04 м, площа водної поверхні ставка 2 – 0,167 млн. м², об'єм води – 0,058 млн. м³, а середня глибина – 0,34 м. Ставки 3 та 4 були практично пересохлими (станом на середину травня 2012 р.). Також був виявлений перетік води впродовж періоду з квітня по вересень 2012 р. з ставка 1 в ставок 2, а в періоди інтенсивних зливових дощів, як наприклад, 24 травня 2012 р., в ставках пересипу спостерігалось швидке та значне підвищення рівня води, в деяких випадках на 0,5 м.

Температура води в ставках пересипу змінювалася від 21,4 до 24,3°C, прозорість води – від 1,3 (ставок 2) до 0,60 м (ставок 1), колір води – від жовтого (ставок 2) до брунатно-жовтого (ставок 1), спостерігався слабкий вуглеводний (ставок 1) та гнильний (ставок 2) запах води з інтенсивністю 2 бали, рН – від 7,98 (ставок 1) до 8,11 (ставок 2), значення окислювально-відновного потенціалу – від мінус 51 (ставок 2) до мінус 154 мВ (ставок 1), що свідчить про вміст та стадію трансформації органічних речовин у воді цих озер. Мінералізація води ставків пересипу в середньому становила 3533 мг/дм³ та зменшувалася до 1600-1800 мг/дм³ після випадіння інтенсивних атмосферних опадів. Наявність вмісту у воді сірководню не була встановлена. Вміст розчиненого кисню змінювався від 3,13 (ставок 2) до 6,55 мгO₂/дм³ (ставок 1), БСК₅ – від 1,35 до 0,13 мгO₂/дм³.

На узбережжі ставків знаходяться несанкціоновані звалища сміття, на ділянках прибережних смуг акваторії водойм (особливо прилеглих до

Об'їзної дороги м. Одеси) була знайдена нафтова плівка, а в деяких місцях дна водойм виявлені нафтопродукти (мазут).

2.10 Гідрохімічні показники опадів

Для характеристики мінливості показників хімічного складу атмосферних опадів в басейні Куяльницького лиману використані дані вимірювань на двох метеостанціях в пункті смт. Любашівка (метеостанція «Любашівка») та в пункті м. Одеса (метеостанція «Одеса-Обсерваторія») за період з 1995 по 2006 рр. [128]. Крім того, для оцінки хімічного складу вод, що надходили на водну поверхню Куяльницького лиману з атмосферними опадами за період з 1962 по 1985 рр., використані середні та фонові дані багаторічних гідрохімічних спостережень в районі м. Одеса (табл. 2.12) [22] та результати вимірювань ОДЕКУ за період з 2013 по 2015 рр. [129].

Таблиця 2.12 – Середні та фонові значення показників хімічного складу атмосферних опадів в районі м. Одеса за період з 1962 по 1985 рр. [130]

Показник	Значення показника, мг/дм ³	
Гідрокарбонат, HCO_3^-	Середні	6,0
	Фонові	0,00-30,0
Сульфат, SO_4^{2-}	Середні	18,2
	Фонові	4,2-40,0
Хлор, Cl^-	Середні	6,0
	Фонові	1,3-26,0
Кальцій, Ca^{2+}	Середні	3,4
	Фонові	1,2-12,0
Магній, Mg^{2+}	Середні	2,1
	Фонові	0,4-11,0
Натрій, Na^+	Середні	2,6
	Фонові	0,6-9,0
Калій, K^+	Середні	1,0
	Фонові	0,2-3,9
Азот амонійний, NH_4^+	Середні	0,8
	Фонові	0,1-3,7
Мінералізація (сума іонів), S_p	Середні	35,1

Хімічний склад атмосферних опадів в цих пунктах вивчався за даними про концентрації головних іонів (аніонів і катіонів), азоту амонійного і нітратного, мінералізацію та рН води.

За період з 1962 по 1985 рр. в районі Куяльницького лиману (пункт м. Одеса) середні (фонові) значення показників хімічного складу води атмосферних опадів дорівнювали: гідрокарбонат – 6,0 (0,00-30,0) мг/дм³; сульфат – 18,2 (4,2-40,0) мг/дм³; хлор – 6,0 (1,3-26,0) мг/дм³; кальцій – 3,4 (1,2-12,0) мг/дм³; магній – 2,1 (0,4-11,0) мг/дм³; натрій – 2,6 (0,6-9,0) мг/дм³; калій – 1,0 (0,2-3,9) мг/дм³; азот амонійний – 0,8 (0,1-3,7) мг/дм³; сума іонів (мінералізація) – 35,1 мг/дм³.

За період з 1995 по 2006 рр. (рис. 2.12) мінералізація води атмосферних опадів в пункті м. Одеса змінювалась від 20,5 до 44 мг/дм³, а в пункті смт. Любашівка – від 8,43 до 26,9 мг/дм³, тобто зростала в напрямку з півночі на південь. Серед аніонів в обох пунктах контролю переважає *сульфат*, серед катіонів (рис. 2.13) – *кальцій*. Вміст азоту амонійного в пункті м. Одеса змінювався від 0,32 до 1,46 мг/дм³, в смт. Любашівка – від 0,23 до 0,87 мг/дм³.

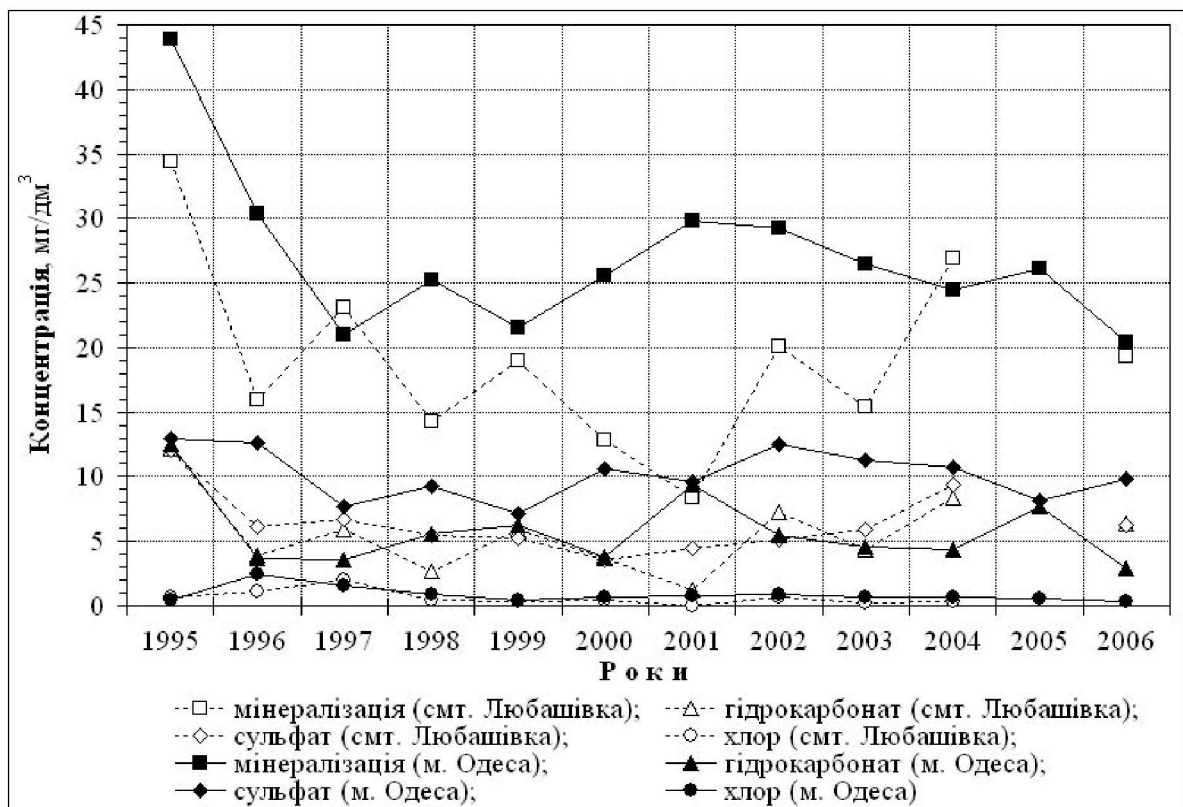


Рисунок 2.12 – Мінливість середньорічних значень мінералізації та концентрацій (мг/дм³) аніонів у воді атмосферних опадів в пунктах м. Одеса та смт. Любашівка за період 1995-2006рр.

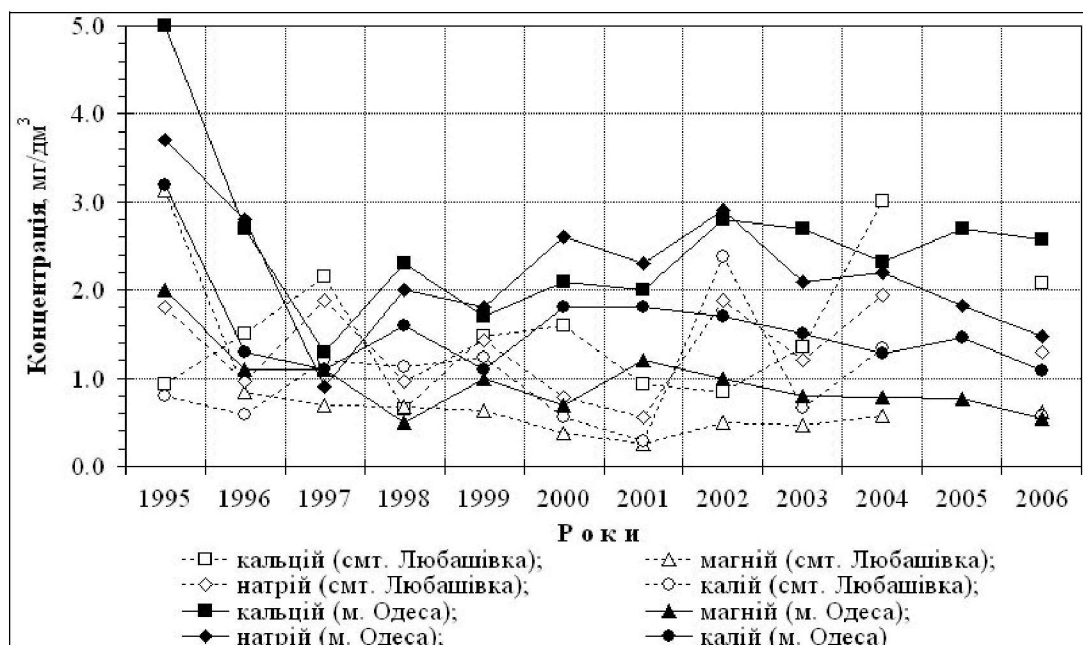


Рисунок 2.13 – Мінливість середньорічних концентрацій (мг/дм³) катіонів у воді атмосферних опадів в пунктах м. Одеса та смт. Любашівка за період 1995-2006 рр.

Концентрація азоту нітратного в пункті м. Одеса змінювалась від 1,24 до 2,77 мг/дм³, в смт. Любашівка – від 0,45 до 2,16 мг/дм³ (рис.2.14).

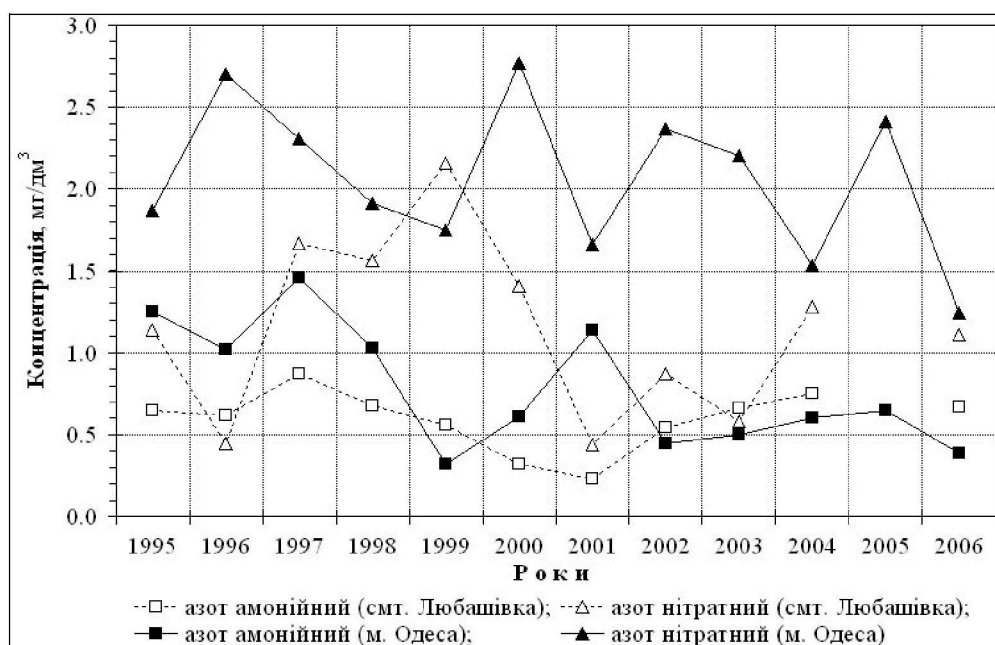


Рисунок 2.14 – Мінливість середньорічних концентрацій (мг/дм³) азоту амонійного і нітратного у воді атмосферних опадів в пунктах м. Одеса та смт. Любашівка за період 1995-2006 рр.

Значний вміст у атмосферних опадах півдня України сульфат іонів пов'язаний з природними і антропогенними процесами, він зумовлює високу окисну здатність і сильну кислотну агресивність атмосферних опадів [131].

Згідно класифікації природних вод за вмістом у них головних іонів (аніонів і катіонів), запропонованої в 1946 р. О.О. Альокіним та удосконаленої в 2006 р. В.К. Хільчевським і С.М. Курило [132], в середньому за період 1962-2006 рр. атмосферні опади в районі лиману (пункт м. Одеса) належали до сульфатного класу, групи магнію та кальцію, другого типу, підтипу $\delta - S_{II\delta 0,035}^{MgCa0,34}$. За мінералізацією атмосферні опади були прісні (дуже прісні), за твердістю – дуже м'якими. За величиною рН, яка в середньому за період з 1996 по 2005 рр. дорівнювала 6,0 од. рН (змінюючись від 5,9 до 6,1 од. рН), атмосферні опади в районі лиману (пункт м. Одеса) належали до слабкокислих вод. Однак, за даними ОДЕКУ (рис. 2.15) за період 2013-2015 рр. середнє значення рН атмосферних опадів в районі лиману дорівнювало 6,78 од. рН, тобто їх води належали до нейтральних, змінюючись від слабкокислих (5,46 од. рН – у березні 2015 р.) до слабколужних (7,68 од. рН – у жовтні 2014 р.).

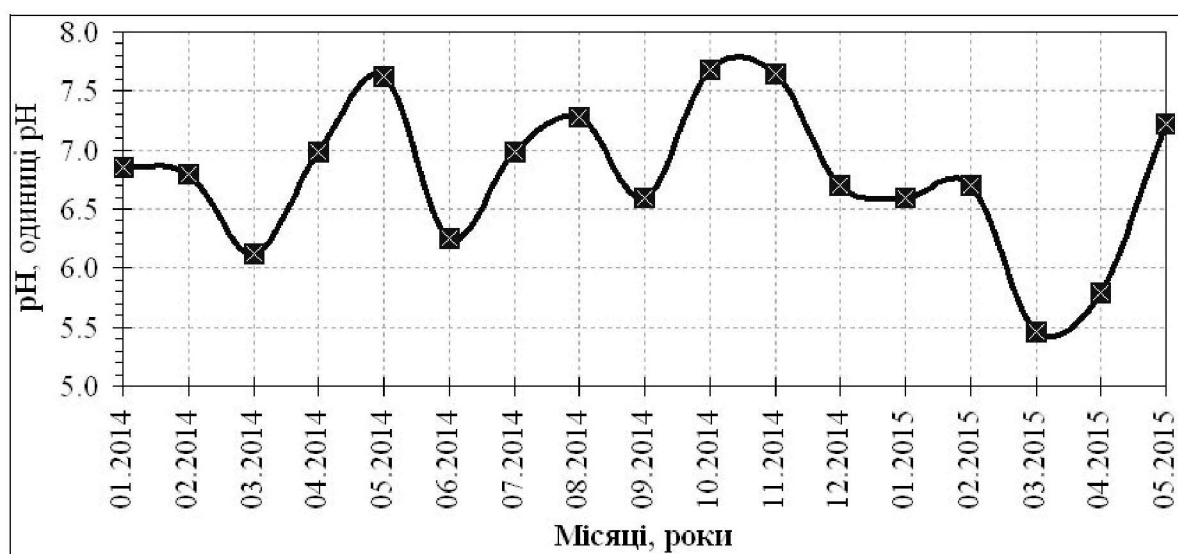


Рисунок 2.15 – Мінливість рН води атмосферних опадів пункті м. Одеса за період з січня 2014 р. по травень 2015 р. (дані ОДЕКУ)

2.11 Якість води водотоків та штучних водойм басейну Куяльницького лиману в умовах антропогенного навантаження

2.11.1 Екологічна оцінка якості вод р.В.Куяльник

Оцінка якості води та екологічного стану річок надавались за «Методикою екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями» [133]. Ця методика дозволяє виконувати екологічну оцінку якості води – одержувати інформацію про воду як складову водної екосистеми, життєве середовище гідробіонтів і важливу частину природного середовища людини. Крім того, методика передбачає проведення оцінки для середніх і найгірших значень гідрохімічних і гідробіологічних показників екологічного стану водних об'єктів, які зведені в межах трьох блоків. Залежно від кількості вхідних параметрів (повноти наявних показників) екологічна оцінка якості води буває повна (за всіма показниками) і орієнтовна (за не повним переліком показників, які передбачені в методиці).

За обсягом і переліком наявних даних по гідрохімічним показникам досліджуваних водних об'єктів в басейні Куяльницького лиману була здійснена орієнтовна екологічна оцінка якості води за окремими показниками. При цьому за наявними параметрами визначались значення двох блокових індексів якості води – сольового складу і еколого-санітарного (трофо-сапробіологічного). На підставі значень блокових індексів якості води, визначалася їх приналежність до певного класу і категорії якості води за допомогою систем екологічної класифікації даної методики. Розрахунок проводився за середніми та екстремальними (найгіршими) значеннями показників.

За отриманими екологічними індексами (I_1 – індекс забруднення компонентами сольового складу, I_2 – індекс трофо-сапробіологічних показників) обчислювалось значення екологічного (інтегрального) індексу якості води I_E .

У роботі використані матеріали гідрохімічних досліджень гідрометслужби у період з 1986 по 2012 рр. Гідрометеорологічному Центрі, доповнені даними експедиційних досліджень, які проводилися працівниками ОДЕКУ з 2002 року.

За інтегральним екологічним індексом (I_E), розрахованим за методикою екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями за повний період дослідження (1986-2012 рр.) води річки Великий Куяльник – с. Северинівка відповідають III класу (5 категорія), за станом оцінюються у середньому як «задовільні», за ступенем чистоти – як «слабко забруднені»

(табл. 2.13). Установлено, що компоненти сольового складу забезпечують найбільший рівень забруднення. За критерієм мінералізації було визначено, що води р. Великий Куяльник – с. Северинівка з 1986 – 2012 рр. є солонуватими мезогалінними, за критеріями іонного складу за середніми значеннями належать до хлоридного класу, групи натрію, тип III, а за максимальними значеннями – до сульфатного класу, групи натрію, тип III.

Другою методикою, яка використовувалась для оцінок якості води р. Великий Куяльник, була методика Гідрохімічного інституту (ГХІ) [134], яка широко використовується у діяльності установ Державної гідрометеорологічної служби та Державного агентства водних ресурсів України. Метод ГХІ полягає в одержанні однозначної оцінки якості води та проведенні на її основі класифікації води за ступенем придатності для основних видів водокористування.

За методом Гідрохімічного інституту (ГХІ) розрахунок виконувався для 16 гідрохімічних показників (рН, розчинений кисень, БСК₅, феноли, сульфати SO_4^{2-} , кальцій Ca^{2+} , магній Mg^{2+} , натрій Na^{2+} , залізо Fe^{3+} , азот нітритний NO_2^- , азот нітратний NO_3^- , мінералізація, мідь Cu^{2+} , азот амонійний NH_4^+ , хлориди Cl^- , марганець Mn^{2+}) згідно господарсько-питних нормативів ГДК (ГДК_{Г-П}).

Таблиця 2.13 – Орієнтовна екологічна оцінка якості води у створі р. Великий Куяльник – с. Северинівка за період 1986-2012 рр.

Показники	Блокові індекси			Інтегральний екологічний індекс			
	I ₁	I ₂	I ₃	I _e	Клас (категорія)	Екологічна класифікація	
						за станом	за ступенем чистоти
З 1986 -до 1989 року							
середні	7	3,5	1	3,83	III(4)	задовільні	слабко забруднені
найгірші	7	4,5	1,33	4,20	III(4)	задовільні	слабко забруднені
За весь період							
середні	5	4	1	3,30	III(4)	задовільні	слабко забруднені
найгірші	7	5,6	1,33	4,66	III(5)	посередні	помірно забруднені

Аналіз вихідних гідрохімічних даних по повторюваності випадків перевищення ГДК за методикою Гідрохімічного інституту (ГХІ) показав, що для річки Великий Куяльник є “характерно стійким” забруднення хлоридами Cl^- (повторюваність перевищення ГДК становить 50-100%), яке спостерігалось на протязі усіх років досліджень (клас шкідливості 4 – помірно небезпечна речовина); сульфатами SO_4^{2-} , починаючи з 2001 року, (клас шкідливості 4 – помірно небезпечна речовина). Виявлене “стійке забруднення” (перевищення ГДК спостерігалось у 30-50 % випадків) азотом амонійним NH_4^+ , яке спостерігалось з 1986 по 1993 р.

Розрахунок рівня забрудненості за показником кратності перевищення (K_i) ГДК_{Г-П} дав змогу визначити належність забруднювальної речовини до одного з чотирьох ступенів рівня забрудненості. Так, до забрудненості «дуже високого» рівня відносяться мідь Cu^{2+} , залізо Fe^{3+} та азот амонійний NH_4^+ (кратність перевищення [50-100]). «Високий» рівень забрудненості спостерігався за сульфатами SO_4^{2-} , хлоридами Cl^- , азотом нітратним NO_3^- та натрієм Na^+ (кратність перевищення [10-50]). Такі забруднювачі як: мінералізація, азот нітритний NO_2^- , кальцій Ca^{2+} , магній за розрахунками K_i були віднесені до «середнього» рівня забруднення (кратність перевищення нормативів [2-10]), а «низький» рівень забрудненості мають БСК₅, розчинений кисень, рН, марганець Mn, феноли (кратність перевищення [0-2]) [135].

Після узагальнення даних по окремих гідрохімічних показниках за допомогою комбінаторного індексу забруднення (КІЗ) шляхом додавання всіх узагальнених оцінних балів (Si) було отримано, що для господарсько-питного використання максимальний індекс забрудненості КІЗ дорівнював 75 та спостерігався у 2001 році, а мінімальний становив 15 (1999 рік). Максимальне значення питомого комбінаторного індексу забрудненості (ПКІЗ) становило 6, а мінімальний – 1 (рис. 2.16).

На основі таблиці класифікації якості води за питомим комбінаторним індексом (ПКІЗ) було визначено, що найбільшу повторюваність має III клас якості води (66,7%). На IV клас припадає 23,8%, а II клас води має повторюваність лише 9,5%. I клас взагалі не спостерігається (табл.2.14)

Отже, за допомогою методики Гідрохімічного інституту (ГХІ) було визначено, що на р. Великий Куяльник – с. Северинівка за період 1986-2012 рр. переважаючим є «брудний» стан води, який свідчить про непридатність для вживання її для господарсько-питного водокористування.

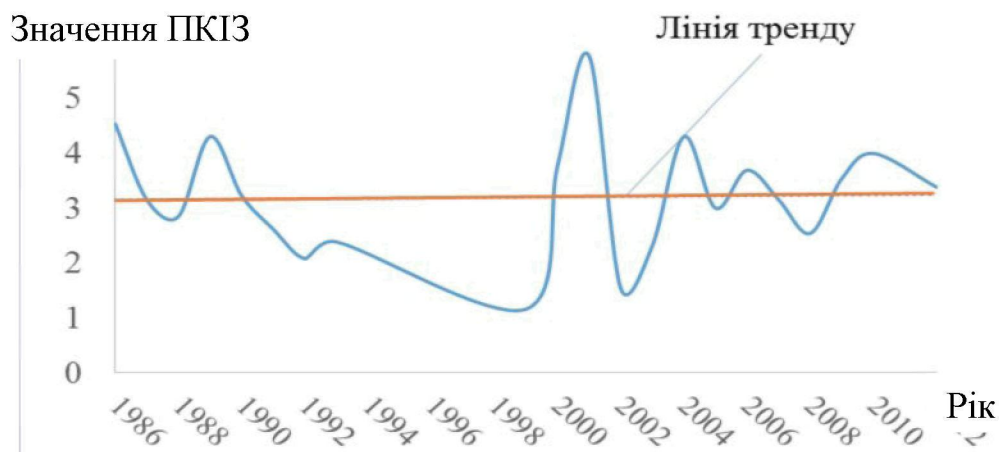


Рисунок 2.16 – Хронологічний хід значень ПКІЗ на р. Великий Куяльник – с. Северинівка за період 1986-2012 рр.

Таблиця 2.14 – Повторюваність класів якості води на р.Великий Куяльник–с.Северинівка (1986-2012рр.), визначених за допомогою питомого комбінаторного індексу забруднення (ПКІЗ)

Клас якості води	I	II	III	IV
Характеристика	Слабко забруднена	Забруднена	Брудна	Дуже брудна
Повторюваність, %	0	9,5	66,7	23,8

Було встановлено, що основними забруднювачами річки є: хлориди (Cl^-), сульфати (SO_4^{2-}), азот амонійний (NH_4^+) та в окремих випадках залізо (Fe^{2+}) (рис. 2.17-2.20). Характерною рисою є зростання мінералізації у часі (рис. 2.21).

2.11.2 Екологічна оцінка якості вод річок Довбока та Кубанка, балок Гільдендорфська та Корсунцівська, водойм пересипу

Води р. Довбока за критерієм мінералізації є солонуватими мезогалінними, за критеріями іонного складу за середніми значеннями належать до хлоридного класу, групи натрію, тип III, за максимальними значеннями – до сульфатного класу, групи натрію, тип III. Води р. Кубанка за критерієм мінералізації є солонуватими мезогалінними, за критеріями іонного складу за середніми і максимальними значеннями характеризуються хлоридним класом, групи натрію, тип III.

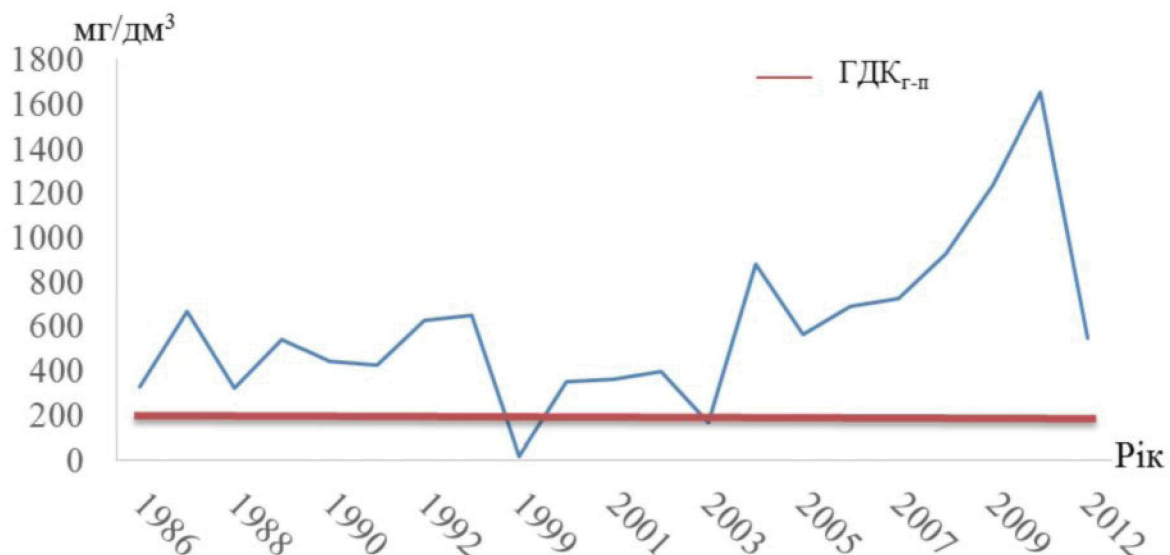


Рисунок 2.17 – Перевищення ГДК_{г-п} хлоридами Cl^- у створі р.Великий Куяльник– с.Севериновка за період 1986-2012 рр.

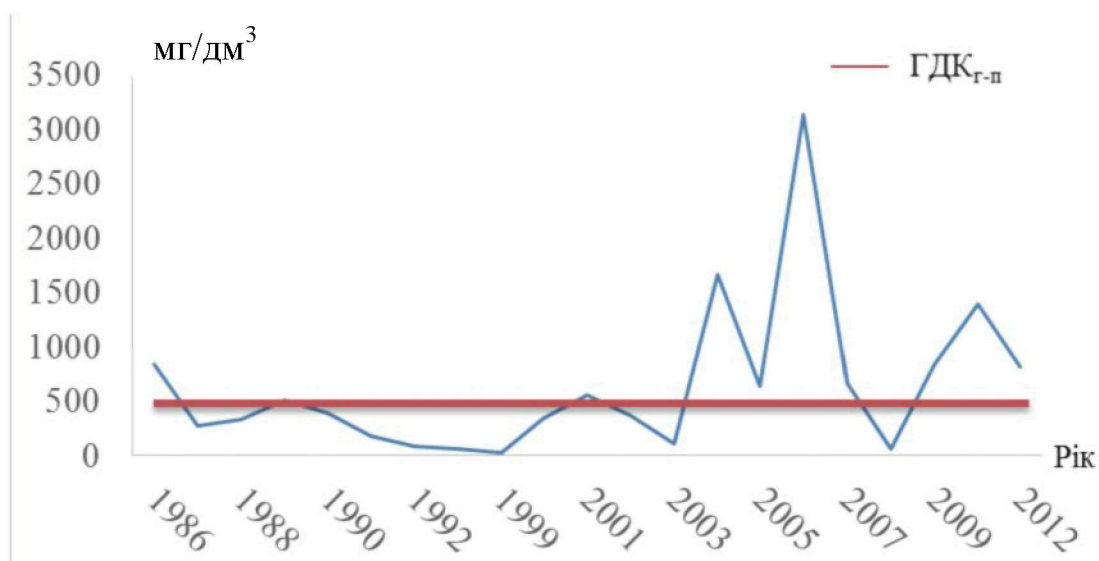


Рисунок 2.18 – Перевищення ГДК_{г-п} сульфатами SO_4^{2-} у створі р. Великий Куяльник – с.Севериновка за період 1986-2012 рр.

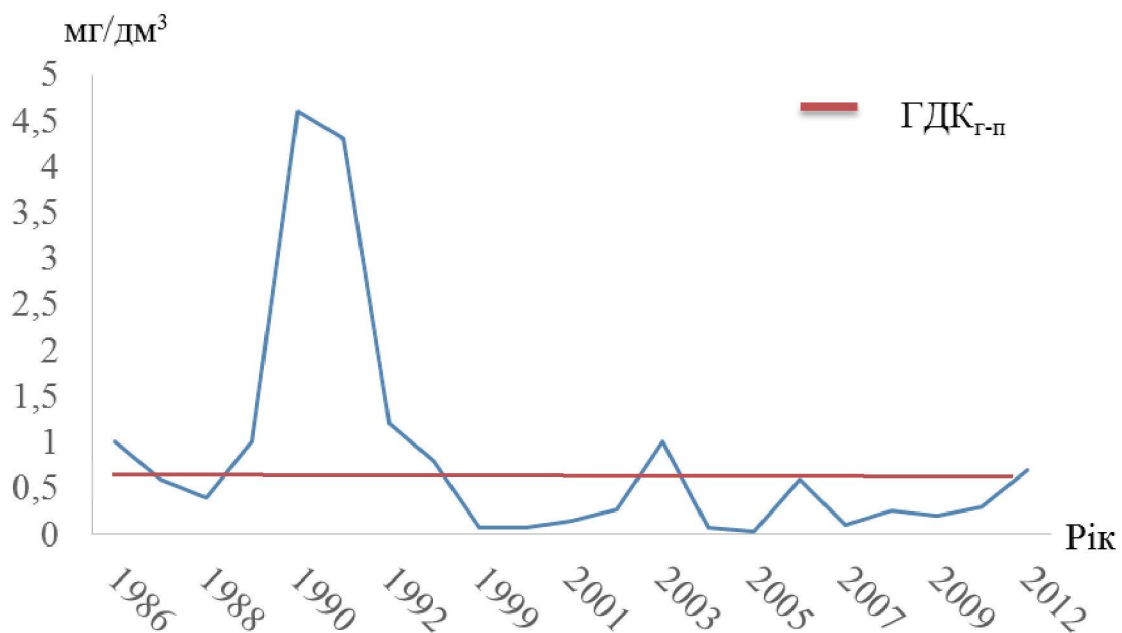


Рисунок 2.19 – Перевищення ГДК_{Г-П} азотом амонійним NH_4^+ на р. Великий Куяльник- с.Северинівка за період 1986-2012рр.

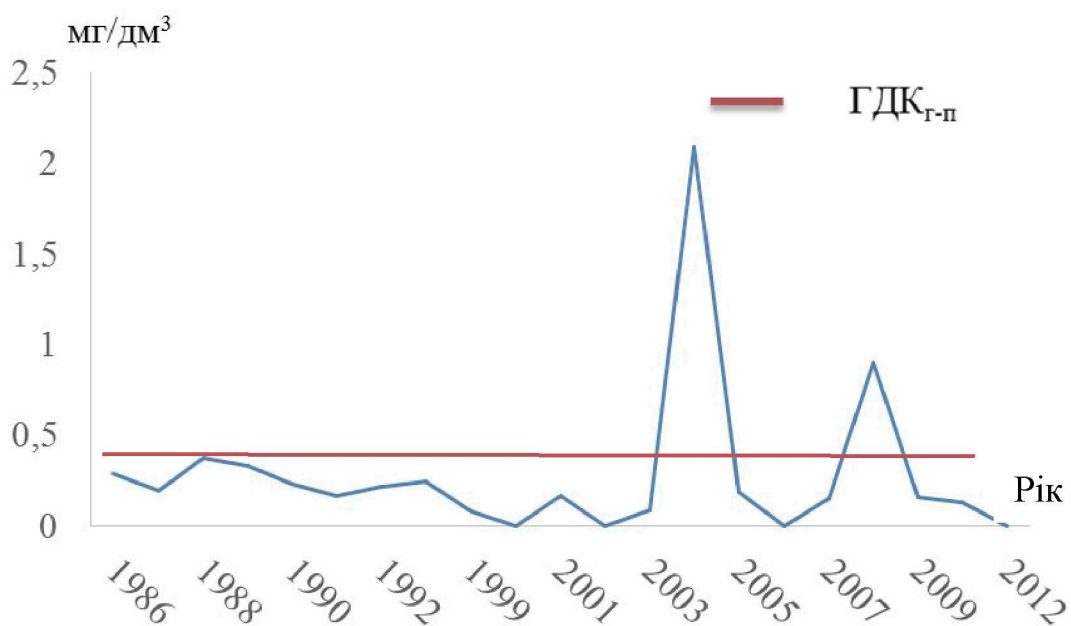


Рисунок 2.20 – Перевищення ГДК_{Г-П} залізом Fe^{2+} на р.Великий Куяльник – с. Севериновка за період 1986-2012 рр.

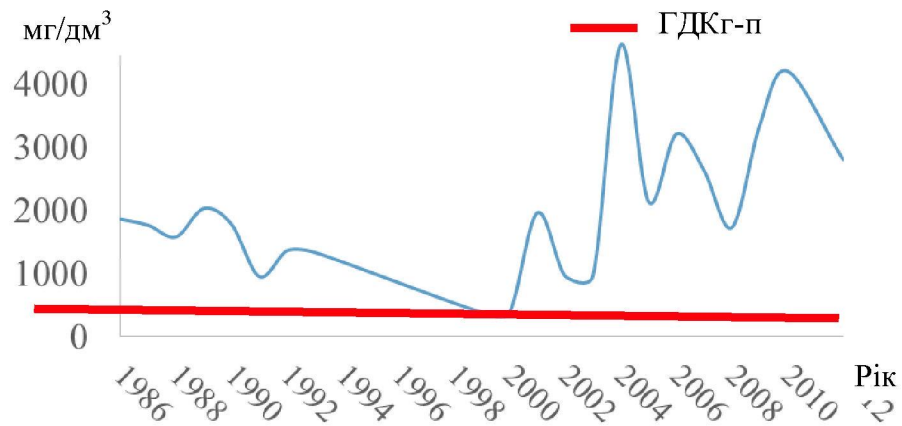


Рисунок 2.21 – Перевищення річних значень ГДК_{Г-п} мінералізацією в створі р.Великий Куяльник - с. Северинівка за 1986-2012 рр.

Води балок Гільдендорфська і Корсунцівська за критерієм мінералізації є солонуватими мезогалінними, за критеріями іонного складу характеризуються приналежністю до сульфатного класу, відрізняючись переважаючим катіоном. Води б. Гільдендорфська за середніми значеннями належать до групи натрію, тип II, за максимальними значеннями – до групи натрію, тип III. Води б. Корсунцівська за середніми та максимальними значеннями належать до групи натрію, тип II. За критеріями іонного складу води ставків пересипу характеризуються приналежністю до сульфатного класу, групи натрію, тип II.

Проведена екологічна оцінка якості води водних об'єктів в басейні Куяльницького лиману за відповідним категоріями (табл. 2.15) показала, що за інтегральним (екологічним) індексом за середніми значеннями показників екологічний стан річок Довбока і Кубанка та балки Корсунцівська відповідає II класу (3 категорія), тобто за станом оцінюється як «добрий», за ступенем чистоти вони є «досить чисті», за трофністю – «мезоевтрофні», за сапробністю – «β'-мезосапробні».

Рівень забруднення речовинами трофо-сапробіологічного блоку (передусім, біогенні сполуки, погіршений кисневий режим, високий вміст органічних речовин) в 2-4,4 рази переважає забруднення по сольовому блоку (вміст хлоридів, сульфатів, мінералізація). За найгіршими (екстремальними) значеннями показників за екологічною класифікацією водні екосистеми річок Довбока і Кубанка та балки Корсунцівська відповідають III класу (4-5 категорія), тобто, за станом оцінюються як «задовільні» та «посередні», за ступенем чистоти – «слабо забруднені» та «помірно забруднені», за трофністю – «евтрофні» та «евполітрофні», за сапробністю – «β"- та α'-мезосапробні».

Таблиця 2.15 – Результати екологічної оцінки якості води річок Довбока та Кубанка, балок Гільдендорфська та Корсунцівська, водойм пересипу за даними ОДЕКУ в 2012 р. [74]

Показники	Блокові		Інтегральний екологічний індекс					
	індекси			Клас (категорія)	Екологічна класифікація			
	I ₁	I ₂			I _е	За станом	За ступенем чистоти	Трофність
річка Довбока								
середні	1,33	5,88	3,60	II (3)	Добрі	Досить чисті	Мезо- евтрофні	β'-мезо- сапробні
найгірші	4,67	7,00	5,83	III (5)	Посередні	Помірно забруд- нені	Евполі- трофні	α'-мезо- сапробні
річка Кубанка								
середні	2,00	4,75	3,38	II (3)	Добрі	Досить чисті	Мезо- евтрофні	β'-мезо- сапробні
найгірші	5,33	5,88	5,60	III (5)	Посередні	Помірно забруд- нені	Евполі- трофні	α'-мезо- сапробні
балка Корсунцівська								
середні	2,33	4,88	3,60	II (3)	Добрі	Досить чисті	Мезо- евтрофні	β'-мезо- сапробні
найгірші	4,33	5,63	4,98	III (4)	Задовільні	Слабко забруд- нені	Евтрофні	β''-мезо- сапробні
балка Гільдендорфська								
середні	6,00	5,13	5,56	III (5)	Посередні	Помірно забруд- нені	Евполі- трофні	α'-мезо- сапробні
найгірші	6,33	5,75	6,04	IV (6)	Погані	Брудні	Полі- трофні	α''-мезо- сапробні
водойми пересипу (ставок 1 та 2)								
середні	6,33	4,00	5,17	III (5)	Посередні	Помірно забруд- нені	Евполі- трофні	α'-мезо- сапробні
найгірші	6,67	4,50	5,58	III (5)	Посередні	Помірно забруд- нені	Евполі- трофні	α'-мезо- сапробні

Найбільшим є рівень забруднення речовинами трофо-сапробіологічного блоку, але значно зростає також забрудненість речовинами сольового блоку.

Екологічний стан ставків пересипу за середніми і найгіршими значеннями показників за екологічною класифікацією оцінюється на рівні III класу (5 категорія) за станом як «посередні», за ступенем чистоти «помірно забруднені», за трофністю – «евполітрофні», за сапробністю – « α' -мезосапробні». Найбільшим є рівень забрудненості води компонентами сольового складу, який в 1,5 рази більший, ніж забруднення речовинами трофо-сапробіологічного блоку.

Екологічний стан водних екосистем в басейні балки Гільдендорфська за середніми значеннями показників за екологічною класифікацією відповідає III класу (5 категорія), тобто, за станом «посередні», за ступенем чистоти «помірно забруднені», за трофністю – «евполітрофні», за сапробністю – « α' -мезосапробні». За найгіршими значеннями показників екологічний стан водойм в балці Гільдендорфська відповідає IV класу (6 категорія), тобто за станом вони «погані», за ступенем чистоти – «брудні», за трофністю – «політропні», за сапробністю – « α'' -мезосапробні». Рівень забруднення речовинами сольового блоку є найбільшим і незначно перевищує забрудненість по трофо-сапробіологічному блоку.

В цілому екологічний стан річок, балок і озер в басейні Куяльницького лиману за «Методикою екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями» оцінюється як незадовільний. В порівняно кращому стані перебувають штучні водойми в балці Корсунцівська, в найгіршому – в балці Гільдендорфська. У всіх досліджуваних водних об'єктах якість води погіршується внаслідок високих концентрацій мінеральних і біогенних речовин, органічних сполук. В критичні періоди (маловоддя або при забрудненні) якість води та екологічний стан зазнають відчутного погіршення.

За рівнем трофності (кількості органіки і біогенних елементів на одиницю об'єму води, що визначає біорізноманіття вод) водні екосистеми річок, балок і ставків в басейні Куяльницького лиману потенційно відносяться до середньо- і високопродуктивних, а за сапробністю (ступенем забруднення органічними речовинами) їх стан відповідає рівню «мезосапробні».

Екологічний стан річок Довбока і Кубанка за середніми і найгіршими значеннями показників відповідає перехідному « β - α -мезосапробному». Водойми в басейні балки Корсунцівська, що знаходиться в порівняно кращому екологічному стані, за сапробністю є « β -мезосапробними».

Водойми в басейні балки Гільдендорфська і ставки пересипу за всіма показниками відносяться до категорії « α -мезосапробні».

Оцінюючи екологічний стан водотоків східного берега Куяльницького лиману за окремими показниками можна відзначити досить низьку прозорість вод та перевищення вмісту хлору у водах р. Кубанка, сульфатів у водах р. Довбока, б. Гільдендорфська, ставків пересипу. Дефіцит вмісту розчиненого кисню по більшості ГХС у досліджуваних водних об'єктах є причиною утворення несприятливих анаеробних умов. Значне забруднення сполуками азоту – азоту нітритного та амонійного, що спостерігається в водах річок Довбока і Кубанка, балок Гільдендорфська і Корсунцівська, є свідомством протікання зворотного процесу трансформації азотних сполук в умовах значного біогенного навантаження.

Для оцінки якості води за методикою ГХІ були використані дані гідрохімічних досліджень в басейнах рр. Довбока, Кубанка, бб. Гільдендорфська, Корсунцівська, ставків пересипу, одержані в результаті гідрохімічних спостережень ОДЕКУ в 2012 р. Розрахунок виконувався для 13 гідрохімічних показників згідно рибогосподарських нормативів (ГДК_{р-г}).

Загальна характеристика якості води р. Довбока (табл. 2.16) продемонструвала переважання IV класу якості («дуже брудна»), з найгіршою якістю води (розряд *а*) в середній ділянці річки (ставок в гирлі лівої притоки річки, вище с. Созонівка) до витoku (розряд *в*). Виключенням є ставки у верхів'ях річки (в межах с. Павлінка), де вода за якістю належала до III класу та була «брудна». Питомий комбінаторний індекс забруднення (ПКІЗ) змінювався від 2,9 до 7,1 балів. Найзначнішим забруднювачем води був азот нітритний. Крім того, відзначено погіршення кисневого режиму.

Результати оцінки якості води в басейні р. Кубанка (табл. 2.16) продемонстрували переважання в нижній частині річки (нижче с. Кубанка) IV-го класу якості («дуже брудна», розряди *а*, *б*). В середній ділянці річки (ставок в межах с. Кубанка) та у верхів'ях приток р. Кубанка (ставки на балках Дикарська та Букачі) спостерігається поліпшення якості води до III класу («брудна»). Питомий комбінаторний індекс забруднення змінювався від 2,8 до 6,0 балів. Найбільший забруднювач води - азот нітритний.

Загальна характеристика якості води на балках Гільдендорфська та Корсунцівська (табл. 2.16) свідчить про переважання IV класу якості води («Дуже брудна», розряди *а*, *в*). Крім того, питомий комбінаторний індекс забруднення (ПКІЗ) цих балок змінювався від 5,2 (б. Гільдендорфська) до 6,8 балів (б. Корсунцівська). Найбільшими забруднювачами води були азот нітритний і сульфати.

Таблиця 2.16 – Результати оцінки придатності вод річок, балок та штучних водойм в басейні Куяльницького лиману для рибогосподарських потреб за методом ГХІ за даними ОДЕКУ в 2012 р.

Річка, балка, ставок	Речовини ЛОЗ	КІЗ	ПКІЗ, бал	Клас якості
Гирло р. Довбока (в руслі нижче с. Новокубанка)	–	57	4,4	IV, a – «Дуже брудна»
Середня ділянка р. Довбока (ставок вище с. Созонівка)	O_2 , NO_2^-	92	7,1	IV, b – «Дуже брудна»
Верхів'я р. Довбока (ставок в межах с. Павлінка)	–	38	2,9	III – «Брудна»
Гирло р. Кубанка (нижче впадінні б. Дикарська)	–	72	5,5	IV, a – «Дуже брудна»
В руслі р. Кубанка (в створі моста нижче с. Кубанка)	NO_2^-	78	6,0	IV, b – «Дуже брудна»
В руслі р. Кубанка (ставок в межах с. Кубанка)	–	42	3,2	III – «Брудна»
Ставок на б. Дикарська (в створі с. Кремидівка)	NO_2^-	40	3,1	III – «Брудна»
Ставок на б. Букачі (в межах с. Шаманівка)	–	36	2,8	III – «Брудна»
Нижній ставок на б. Корсунцівська	SO_4^{2-} , NO_2^-	89	6,8	IV, b – «Дуже брудна»
Нижній ставок на б. Гільдендорфська	NO_2^-	67	5,2	IV, a – «Дуже брудна»
Ставки 1 та 2 на пересипу між лиманом і морем	SO_4^{2-}	74	5,7	IV, b – «Дуже брудна»

Стан води ставків пересипу (табл. 2.16) характеризується IV класом кості води («дуже брудна», розряд **b**). Крім того, визначено, що ПКІЗ дорівнював 5,7 балів, а найбільшим забруднювачем води були сульфати.

Результати визначення класу якості та забрудненості води окремими речовинами дозволяють зробити висновок, що за хімічним складом води річок і балок східного берега Куяльницького лиману та ставків пересипу між лиманом і морем не можуть бути безпечно використані для рибогосподарських потреб без ризику для риб та кінцевого споживача – людини. Обмежений водообмін і накопичення забруднювальних речовин в умовах відсутності достатнього припливу води з водозбірної басейну та інтенсивного випаровування з водної поверхні штучних водойм, потрапляння

забруднених господарсько-побутових вод з приватного сектору, зі звалищ, забрудненого поверхневого стоку призводять до накопичення у водах надлишкових концентрацій головних іонів, біогенних речовин, розвитку дефіциту (відсутності) розчиненого у воді кисню та, як наслідок, до значного біогенного навантаження, а отже до деградації водотоків і екосистеми Куяльницького лиману. Поліпшити ситуацію дозволить комплекс науково-обґрунтованих заходів щодо усунення впливу речовин ЛОЗ, поліпшення водообміну, суворого дотримання вимог водоохоронного законодавства.

2.11.3 Оцінка придатності підземних (грунтових) вод річок Довбока та Кубанка для споживання людиною

Придатність підземних вод у колодязях в басейнах річок Довбока та Кубанка для споживання людиною оцінювалась за даними гідрохімічних спостережень ОДЕКУ в 2012 р. [76]. Оцінка виконувалась з використанням ДСанПіН 2.2.4-171-10 «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» [136], а також ДСТУ 4808:2007 «Джерела централізованого питного водопостачання. Гігієнічні та екологічні вимоги щодо якості води і правила вибирання» [137].

Результати оцінки придатності підземних вод у колодязях в басейні р. Довбока за гігієнічними нормативами санітарно-хімічних показників безпечності та якості питної води наступні:

а) органолептичні показники води (запах, забарвленість, смак і присмак) не перевищують встановлених нормативів;

б) за фізико-хімічними показниками: водневий показник – води не перевищують встановлені межі; твердість – за середніми значеннями спостерігається перевищення в 1,9 разів, за максимальними значеннями – в 3,2 рази; сульфати – в середньому перевищують норматив у 1,0 раз, за максимальними значеннями – в 2,4 рази; сухий залишок – за середніми значеннями перевищення не спостерігається, за максимальними є перевищення в 2,2 рази; хлор – за середніми значеннями перевищення не спостерігається, за максимальними – є перевищення в 1,1 рази;

в) за санітарно-токсикологічними показниками: амоній – за середніми значеннями є перевищення в 2,0 рази, за максимальними значеннями в 5,7 разів; нітрати – за середніми значеннями перевищення не спостерігається, за максимальними є перевищення в 1,1 рази; нітрити – за середніми значеннями є перевищення в 2,6 разів, за максимальними значеннями є перевищення в 4,4 рази.

Оцінка придатності підземних вод, розташованих в басейні р. Кубанка, за гігієнічними нормативами санітарно-хімічних показників безпечності та якості питної води з колодязів показала, що:

а) органолептичні показники води (запах, забарвленість, смак і присмак) не перевищують встановлених нормативів;

б) за фізико-хімічними показниками: водневий показник – води не перевищують встановлені межі; твердість – за середніми значеннями є перевищення в 1,2 рази; сульфати – перевищень не спостерігається; сухий залишок – за середніми значеннями є перевищення в 1,4 рази, за максимальними значеннями є перевищення в 2,3 рази; хлор – за середніми значеннями спостерігаються перевищення в 1,3 рази;

в) за санітарно-токсикологічними показниками: амоній, нітрати, нітрити – відсутні будь-які перевищення.

Оскільки однією з найголовніших вимог щодо безпечності застосування води для пиття людиною є вимога про сприятливість її органолептичних властивостей та нешкідливість хімічного складу, то за санітарно-хімічними показниками безпечності та якості питної води підземні води у колодязях в басейнах річок Довбока та Кубанка є небезпечними та неякісними. Результати оцінки якості води підземних джерел (колодязів), розташованих в басейнах річок Довбока та Кубанка, як потенційно можливих для централізованого питного водопостачання за гігієнічними та екологічними критеріями представлені в табл. 2.17. Етапи визначення за цією методикою є аналогічними, до наведених в методиці [133].

У 2012 р. підземні (грунтові) води в колодязях басейну р. Довбока за середніми значеннями були (табл. 2.17): «відмінними» або дуже чистими – за органолептичними показниками (запах, присмак) та NO_3^- ; «добрими» або чистими вони – за загально-санітарними показниками (Cl^- , pH) та забарвленістю; «задовільними» або слабо забрудненими – за мінералізацією та PO_4^{3-} ; «посередніми» або небажаної якості – за SO_4^{2-} , Mg^{2+} , NO_2^- , NH_4^+ та твердістю. За максимальним значеннями води були: «добрими» або чистими – за органолептичними показниками (запах, присмак, забарвленість) та pH; «задовільними» або слабо забрудненими – за Cl^- ; «посередніми» або небажаної якості – за мінералізацією, SO_4^{2-} , Mg^{2+} , NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} та твердістю. З табл. 2.17 видно, що в 2012 р. підземні (грунтові) води у колодязях в басейні р. Кубанка за середніми значеннями були: «відмінними» або дуже чистими – за органолептичними показниками (запах, присмак), NO_3^- , NH_4^+ та PO_4^{3-} ; «добрими» або чистими вони – за загально-санітарними показниками (NO_2^-), «задовільними» або слабо забрудненими – за SO_4^{2-} , pH; «посередніми» або небажаної якості – за мінералізацією, Cl^- , Mg^{2+} та твердістю.

Таблиця 2.17 – Класи якості підземних вод у колодязях річок Довбока та Кубанка (згідно [136]) за даними ОДЕКУ в 2012 р.

Групи показників якості води	Показники якості підземних вод у колодязях	Клас якості підземних вод в басейні			
		р. Довбока		р. Кубанка	
		Середнє	Найгірше	Середнє	Найгірше
Органолептичні	Запах	1	2	1	1
	Присмак	1	2	1	2
	Забарвленість	2	2	–	–
Загально-санітарні	Мінералізація	3	4	4	4
	SO_4^{2-}	4	4	3	–
	Cl^-	2	3	4	–
	Mg^{2+}	4	4	4	–
	Твердість загальна	4	4	4	–
	pH	2	2	3	3
	NO_2^-	4	4	2	–
	NO_3^-	1	4	1	–
	NH_4^+	4	4	1	–
	PO_4^{3-}	3	4	1	–

За максимальними значеннями підземні (грунтові) води були: «відмінними» або дуже чистими – за запахом; «добрими» або чистими – за присмаком; «задовільними» або слабо забрудненими – за показником pH, «посередніми» або небажаної якості – за мінералізацією.

Узагальнене оцінювання якості води підземних вод у колодязях в басейнах річок Довбока та Кубанка в 2012 р., як потенційно можливих для централізованого водопостачання населених пунктів на водозборах цих річок, продемонструвало, що за середніми значеннями показників якості (табл. 2.18) вода р. Довбока належала до 2 класу підкласу 2, тобто була «Добра», чиста вода прийнятної якості, а вода р. Кубанка належала до 2 класу підкласу 2(1) – «Добра», чиста вода з ухилом до класу «відмінної», дуже чистої. За максимальними значеннями: вода в колодязях р. Довбока належала до 3 класу підкласу 3(2), тобто була «Задовільна», слабо забруднена вода з ухилом до класу «доброї», чистої, вода р. Кубанка належала до 2 класу підкласу 2(3) – «Добра», чиста вода з ухилом до класу «задовільної», слабо забрудненої прийнятної якості.

Таблиця 2.18 – Оцінка придатності підземних вод річок Довбока і Кубанка для питного водопостачання (згідно [137]) за даними ОДЕКУ в 2012 р.

Показник	Басейн р. Довбока		Басейн р. Кубанка	
	Середній	Найгірший	Середній	Найгірший
I ₁	1,33	2,00	1,00	1,50
Клас (підклас)	1, 1 (2)	2, 2	1, 1	1, 1 (2)
Характеристика класів	«Відмінна», дуже чиста вода з ухилом до класу «доброї», чистої води бажаної якості	«Добра», чиста вода прийнятної якості	«Відмінна», дуже чиста вода	«Відмінна», дуже чиста вода з ухилом до класу «доброї», чистої води бажаної якості
I ₂	3,10	3,70	2,70	3,50
Клас (підклас)	3, 3	4, (3-4)	3, (2-3)	3, 3(4)
Характеристика класів	«Задовільна», слабо забруднена вода прийнятної якості	Вода перехідна за якістю від «задовільної», слабо-забрудненої прийнятної якості до «обмежено придатної» небажаної якості	Вода, перехідна за якістю від «доброї», чистої до «задовільної», слабо-забрудненої	«Задовільна», слабо-забруднена вода з ухилом до класу «обмежено придатної», небажаної якості
I _k	2,21	2,85	1,85	2,50
Клас (підклас)	2, 2	3, 3(2)	2, 2(1)	2, 2(3)
Характеристика класів	«Добра», чиста вода прийнятної якості	«Задовільна», слабо забруднена з ухилом до класу «доброї», чистої	«Добра», чиста вода з ухилом до класу «відмінної», дуже чистої	«Добра», чиста вода з ухилом до класу «задовільної», слабо-забрудненої прийнятної якості

Згідно з [137] такі води при їх використанні для централізованого водопостачання потребують додаткового оброблення (кондиціонування за органолептичними показниками та показниками хімічного складу води).

У межах басейну Куяльницького лиману виділяють 8 підземних водоносних горизонтів, які залягають у відкладах четвертинної, неогенової, палеогенової, крейдяної систем. Більшість водоносних горизонтів є недостатньо захищеними від поверхневого забруднення. Найбільше забруднення азотом нітратним і загальним спостерігається у водах в еолово-делювіальних відкладах. Надходження сполук азоту в цей водоносний горизонт відбувається шляхом інфільтрації атмосферних опадів та зрошування з поверхні сільськогосподарських угідь. Умовно захищеними від забруднення є водоносні горизонти у верхньосарматських та середньосарматських відкладеннях [118]. Водовмісними породами є прошарки пісків і вапняків, ракуші. Живлення горизонту відбувається за рахунок інфільтрації атмосферних опадів, перетоку вод з верхніх водоносних горизонтів і підтоку з нижчих. Розвантаження верхньосарматського водоносного горизонту проходить в південно-східному напрямку в долини річок і балок. Глибина залягання водоносного горизонту варіює від 1 до 120 м, потужність 0-10 м. Води використовується для централізованого водопостачання. Контроль якості води проводиться в районі смт. Іванівка з 1975 і 1985 рр. по свердловинах №№ 545, 76. В іонному складі [58] у водах даного горизонту переважають іони гідрокарбонатів, хлоридів, натрію і кальцію; рН води змінюється в інтервалі 7,2-8,3, мінералізація – 600-700 мг/дм³, загальна твердість - 1,6-2,9 ммоль/дм³, вміст нітратного азоту – 0-0,06 мг/дм³. Водовмісними породами у середньосарматських відкладеннях є прошарки вапняків, пісків, мергелів. Живлення горизонту відбувається за межами басейну лиману за рахунок інфільтрації атмосферних опадів в областях виходу порід на поверхню, підтоку від сусідніх водоносних горизонтів. Розвантаження водоносного горизонту проходить в південно-східному напрямку. Водоносний горизонт залягає на глибині від 40 до 150 м, потужність знаходиться у межах 1-30 м. Води є основним джерелом водопостачання. Контроль якості води проводиться в районі смт. Іванівка по свердловині № 9 з 1982 р, в районі с. Катерино-Платонівка по свердловині № 556 з 1985 р, в районі смт. Ширяєве по свердловині № 560 з 1983 р. В іонному складі води даного горизонту переважають іони хлоридів, сульфатів, магнію, натрію. рН води змінюється в межах 7,2-8,3, мінералізація – 300-3300 мг/дм³, загальна твердість – 2,2-23,0 ммоль/дм³, вміст нітратного азоту – 0-6 мг/дм³.

3 ХАРАКТЕРИСТИКА КЛІМАТИЧНИХ ЧИННИКІВ ТА ОЦІНКА ЇХ ЗМІН У МЕЖАХ ВОДОЗБОРУ ЛИМАНУ І ПРИЛЕГЛИХ ТЕРИТОРІЙ

3.1 Оцінка змін кліматичних чинників формування стоку на початку XXI сторіччя

Зв'язок стоку з кліматичними чинниками витікає з рівняння водного балансу замкненого водозбору за багаторічний період [138]

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

де \bar{X} , \bar{E} , \bar{Y} – річні норми опадів, випаровування з поверхні суші та стоку, відповідно.

Норма річних опадів та випаровування з поверхні суші є кліматичними чинниками формування річного стоку, які розподіляються у просторі згідно із законами широтної або вертикальної зональності. Оскільки норма річного стоку залежить від кліматичних чинників, то її просторовий розподіл також визначається широтою місцевості або висотою, якщо мова йде про гірські райони.

Величина випаровування з поверхні суші \bar{E} залежить від зволоження підстильної поверхні та теплоенергетичних ресурсів клімату [139]. Кількісна оцінка зволоження підстильної поверхні за багаторічний період надається у виді середньобагаторічної суми опадів \bar{X} . Теплоенергетичні ресурси клімату визначаються припливом до земної поверхні сонячної радіації, яка обумовлює термічний режим приземного шару повітря. Дуже часто температури повітря використовуються як основний чинник при розрахунках теплоенергетичних ресурсів клімату та випаровування з поверхні суші [140]. У північній півкулі випаровування з поверхні суші збільшується у напрямі з півночі на південь. Якщо на півночі випаровування з поверхні суші обмежене теплоенергетичними ресурсами, то на півдні ця величина обмежується ресурсами вологи. За рахунок цього у аридних та напіваридних зонах випаровування з поверхні суші може зменшуватися у південному напрямку. Зазвичай, температури повітря та опади розглядаються як головні кліматичні чинники формування стоку [141].

Зміни глобального, а разом із ним і регіонального клімату, які спостерігаються на протязі останніх десятиріч, впливають на умови формування стоку річок України, а, отже, обумовлюють зміни її поверхневих водних ресурсів [142]. За даними В.В. Гребіня [143] середня річна температура повітря на метеостанції Роздільна зросла на 0,7 °С за період

1989-2008 рр. при порівнянні із періодом до 1951-1988 рр., а опади зменшилися з 518 мм до 494 мм. Дослідження змін метеорологічних характеристик були проведені по даним метеорологічних станцій, розташованих на водозборі Куяльницького лиману або прилеглих до нього територій: Роздільна, Любашівка, Одеса, Затишшя та Сербка [144]. Розглядалися середня температура повітря й кількість опадів за рік, теплий (з квітня по жовтень) та холодний (з листопада по березень) періоди. Тривалість спостережень на метеостанції Одеса становила 113 років (1900 – 2013 рр.), на метеостанції Затишшя – 61 рік (1951-2012 рр.), на інших метеостанціях – 60 років (1951-2011 рр.). Аналіз змін кліматичних чинників був проведений на основі порівняння даних до 1989 року та після: від початку спостережень до 1988 р.; 1989-2012 рр. 1989 рік розглядається як переламний. В.В. Гребінем виявлено, що саме з цього року почалися суттєві зміни температур повітря.

Установлено, що середня річна температура повітря (табл. 3.1) за період 1989-2012 рр. на всіх метеостанціях збільшилась від 0,8°C (Роздільна) до 1,1°C (Одеса, Любашівка) у порівнянні із попереднім періодом спостережень (1951-1988 рр.).

Таблиця 3.1 – Зміна температур повітря у абсолютних величинах ($\Delta T, ^\circ\text{C}$) при порівнянні періодів до та після 1989 р.

Метеостанція	За рік	За теплий період	За холодний період
Одеса	1,1	1,0	2,0
Роздільна	0,8	0,7	1,0
Любашівка	1,1	0,7	1,2
Затишшя	1,0	0,7	1,2
Сербка	0,9	0,7	1,0

Виявлено, що за теплий період (з квітня по жовтень) за період 1989-2012 рр. на всіх метеостанціях середня температура повітря збільшилась на 0,7°C, на м/ст. Одеса – на 1,0°C (табл. 3.1), що склало 4,3 – 6,1% по відношенню до періоду 1951-1988 рр.

З листопада по березень (холодний період) на всіх метеостанціях середня температура повітря збільшилась на 1,0 – 2,0°C (табл. 3.1) за розрахунковий період 1989-2012 рр. по відношенню до попереднього розрахункового інтервалу. Характерно, що у 1951-1988 рр. середня

температура за холодний період знаходилася у межах від'ємних значень, які змінювалися від $-0,2^{\circ}\text{C}$ до $-1,4^{\circ}\text{C}$. В останні десятиріччя середня температура коливається від $-0,2^{\circ}\text{C}$ до $0,8^{\circ}\text{C}$. В Одесі середня температура повітря холодного періоду за 1900–1988 рр. становила $0,2^{\circ}\text{C}$, а в розрахунковий інтервал після 1989 р. досягла $2,2^{\circ}\text{C}$. За даними метеостанції Роздільна в зимовий сезон (XII – II) зросли середньомісячні температури січня та лютого на $1,6$ – $1,9^{\circ}\text{C}$ (в межах від'ємних значень), однак знизилася температура повітря за грудень на $0,6^{\circ}\text{C}$. У весняний сезон (III – V) основне підвищення температур повітря припадало на березень ($1,8^{\circ}\text{C}$). В літні місяці (VII – VIII) середньомісячна температура повітря зросла на $1,2$ – $1,8^{\circ}\text{C}$.

Порівняльний аналіз температур повітря за даними спостережень на метеостанції Любашівка за періоди 1951–1988 та 1989–2011 рр. показав, що з 1989 р. середня місячна температура повітря осені підвищилася в середньому на $0,8^{\circ}\text{C}$, зими – на $1,5^{\circ}\text{C}$.

На хронологічних графіках ходу температур середніх за рік (рис. 3.1), теплий (рис. 3.2) та холодний (рис. 3.3) періоди відзначається тенденція до зростання. У холодний період спостерігається перехід лінії регресії з області від'ємних в область додатних значень. Аналіз даних по всіх метеорологічних станціях дозволив виявити, що виявлені тренди температур за рік, теплий та холодний періоди характеризуються статистично значущими коефіцієнтами кореляції.

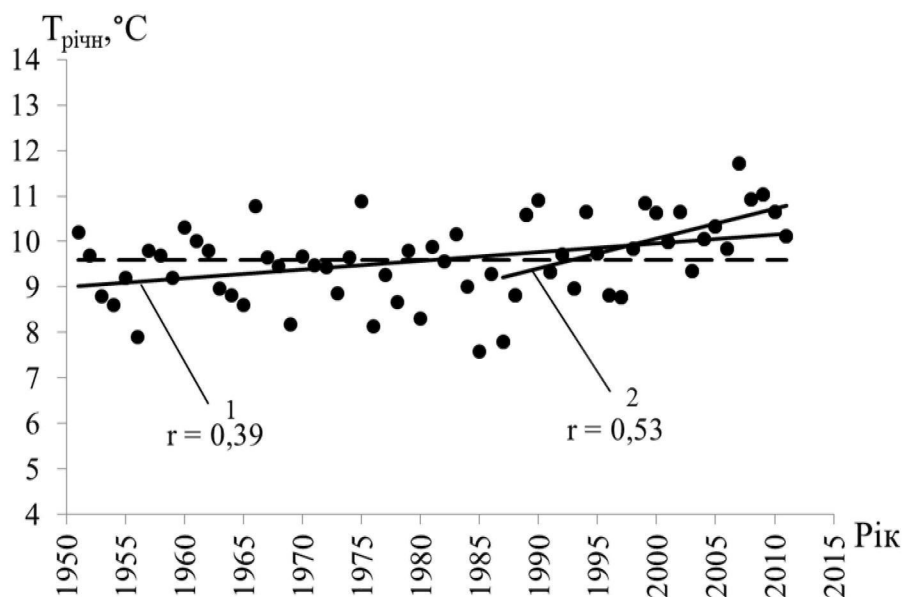


Рисунок 3.1 – Хронологічний хід річної температури повітря за даними метеорологічної станції Роздільна (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренда, 1–лінія тренда за 1951–2011 рр., 2–лінія тренда за 1989–2011 рр.)

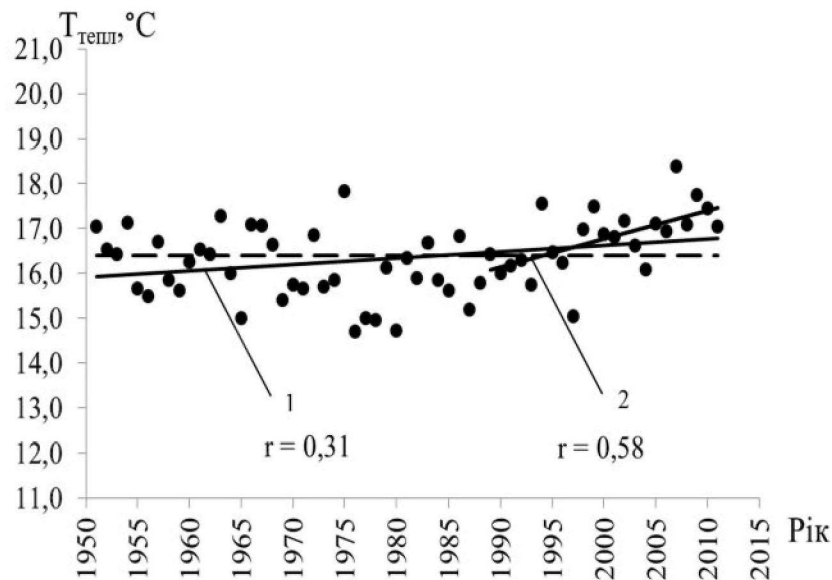


Рисунок 3.2 – Хронологічний хід температури повітря теплого періоду (IV-X) за даними метеорологічної станції Роздільна (---- середнє багаторічне значення, 1 – лінія тренда за 1951-2011 рр., 2 – лінія тренда за 1989-2011 рр.)

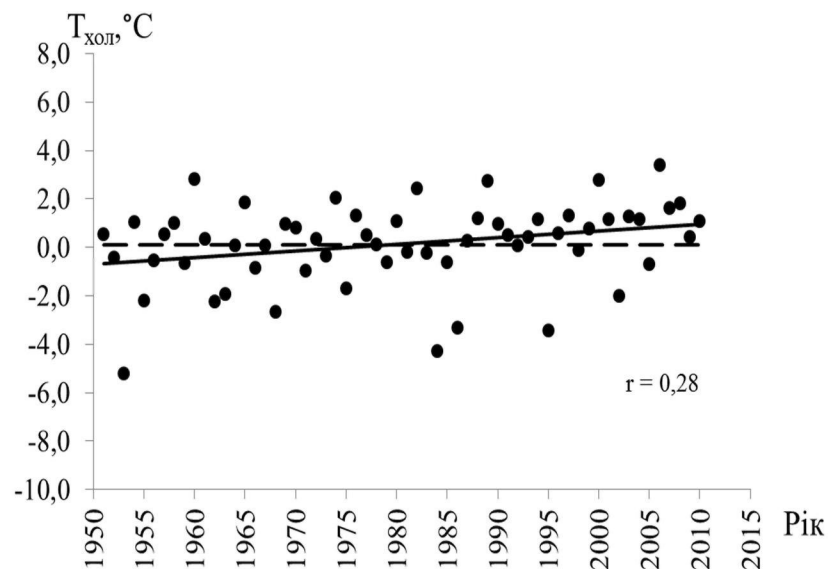


Рисунок 3.3 – Хронологічний хід температури повітря холодного періоду (XI- III) за даними метеорологічної станції Роздільна, 1951-2011 рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренда)

Для осереднених за багаторічний період сум річних опадів (табл. 3.2) за період 1989-2012 рр. по розглянутих метеостанціях не виявлено статистично значущих трендів (рис. 3.4-3.6). За кількісними показниками у холодний період переважає тенденція до статистично незначущого зменшення сум опадів, у теплий – до зростання.

Таблиця 3.2 – Зміна сум опадів у абсолютних величинах (ΔX , мм) за період 1989-2012 рр. у порівнянні із періодом 1951-1988 рр.

Метеостанція	За рік	За теплий період	За холодний період
Одеса	23	20	3
Роздільна	-11	13	-19
Любашівка	-8	20	-24
Затишся	16	31	-16
Сербка	2	18	-12

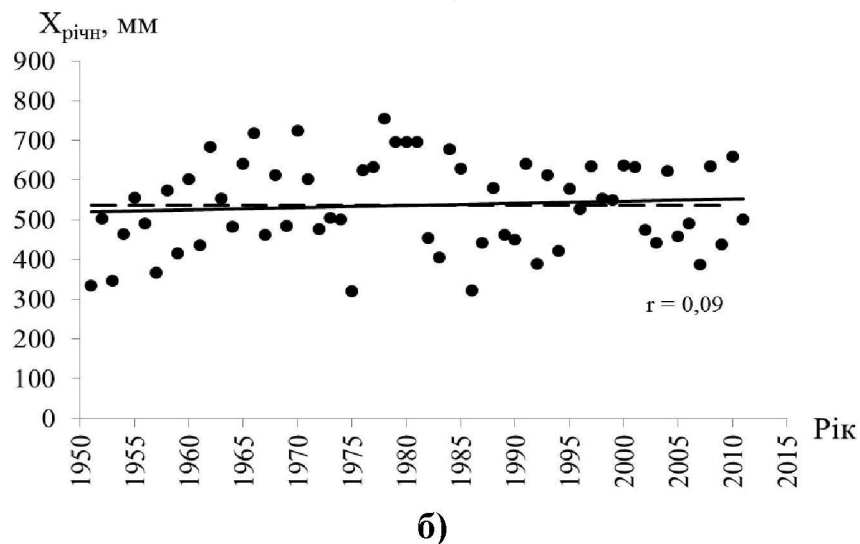
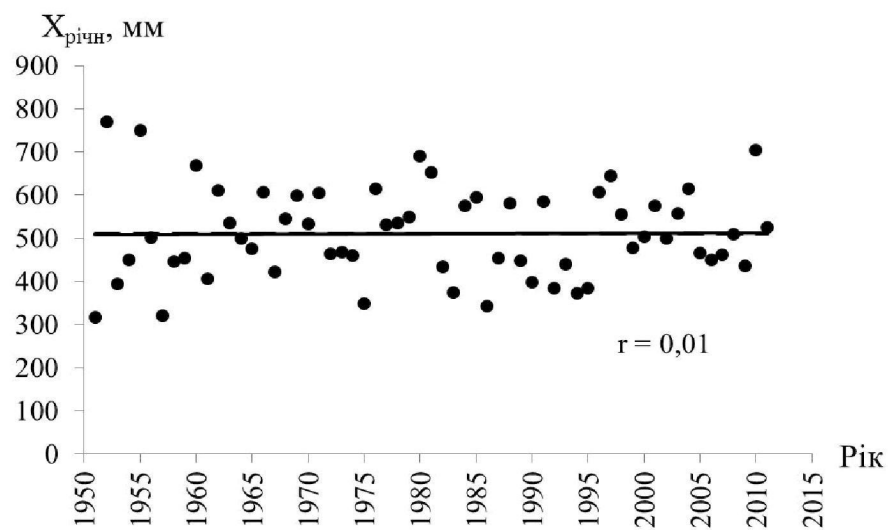


Рисунок 3.4 – Хронологічний хід річних сум атмосферних опадів за даними метеорологічної станції Роздільна (а) і Любашівка (б), 1951-2011 рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренда).

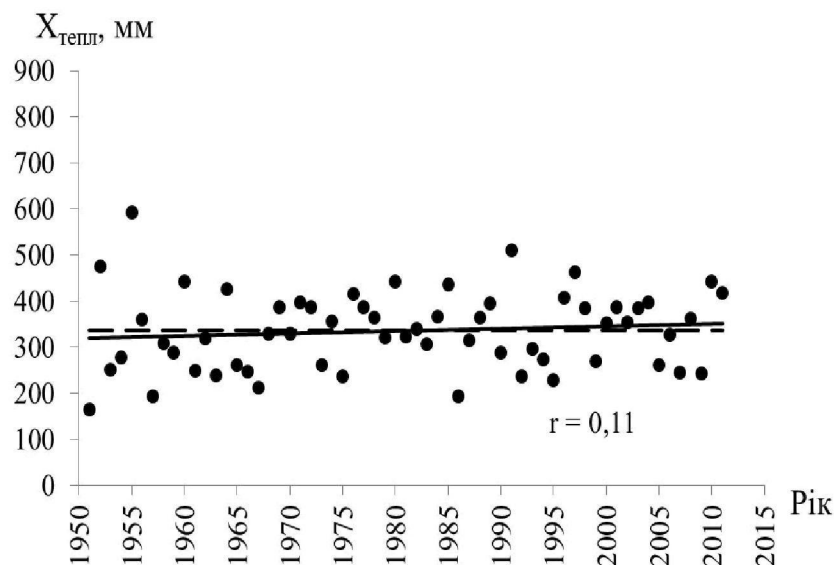


Рисунок 3.5 – Хронологічний хід сум опадів теплого періоду (IV-X) за даними метеорологічної станції Роздільна, 1951-2011 рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренда)

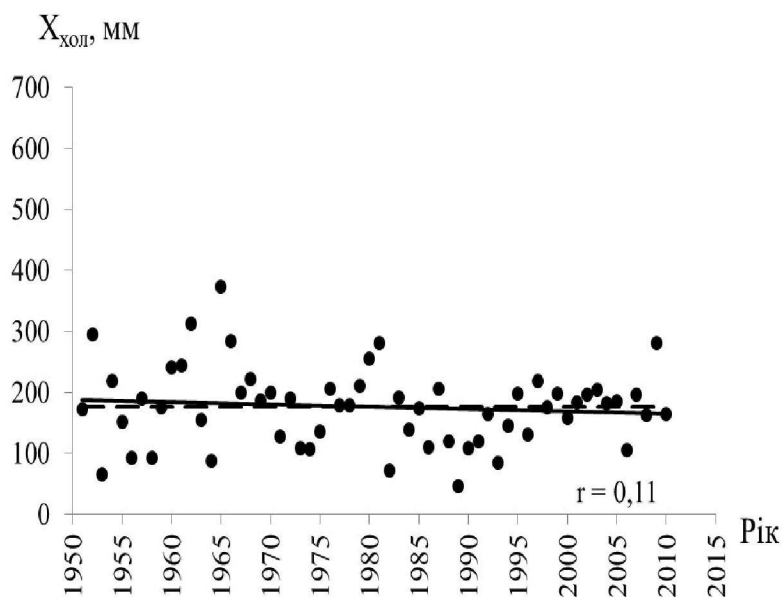


Рисунок 3.6 – Хронологічний хід сум опадів холодного періоду (XI-III) за даними метеорологічної станції Роздільна, 1951-2011 рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренда)

За теплий період – з квітня по жовтень – на всіх метеостанціях сумарна кількість опадів за 1989-2012 рр. зросла на 13 – 31 мм у порівнянні із базовим періодом (1951-1988рр.), що становить 3,9 – 9,8 % по відношенню до попереднього розрахункового інтервалу.

У той же час кількість опадів за холодний період зменшилася на 12 – 24 мм. По метеорологічній станції Одеса змін опадів за холодний період (1951-1988рр.) у порівнянні із даними 1951-1988рр не виявлено.

Установлені тенденції змін кліматичних чинників на водозборі Куяльницького лиману вказують на несприятливі умови формування стоку на початку XXI сторіччя. Перехід у область додатних значень температур повітря холодного сезону супроводжується відлигами та незначною глибиною промерзання ґрунтів, що призводить до зростання втрат поверхневого стоку на інфільтрацію у підстильну поверхню, зменшення запасів води у сніговому покриві на початок весняного водопілля та відповідного зменшення максимальних витрат і об'ємів весняного водопілля. Збільшення температур повітря теплого періоду обумовлює зростання випаровування з поверхні суші і особливо з водної поверхні водойм, серед яких більшість має штучне походження. Ці втрати стоку не компенсуються зростанням зволоження території. Навпаки, кількість опадів залишається практично незмінною. Таким чином, можна зробити висновок, що на водозборі Куяльницького лиману на початку XXI сторіччя сформувалися кліматичні умови, які сприяють зменшенню водних ресурсів території.

3.2 Посушливість клімату та посухи

Зростання температур повітря на фоні незмінних опадів в зоні степу супроводжується посухами. Посуха є явищем, на протязі якого спостерігається тривала (багатоденна, багатомісячна, багаторічна) суха погода, часто при підвищеній температурі повітря, з відсутністю чи вкрай незначною кількістю опадів, яка призводить до виснаження запасів води (вологи) у ґрунті та різкого зниження відносної вологості повітря. Внаслідок посухи створюються несприятливі умови для розвитку рослин, формування стоку у річках, через що виникає дефіцит водоспоживання. З агрометеорологічної точки зору наслідками посухи є неврожаї сільськогосподарських культур, деградація луків, зниження приросту деревини, загибель худоби та різкі коливання чисельності мікроорганізмів [145]. Посуха супроводжується такими посушливими явищами як тривале бездощів'я, висока температура повітря, суховії, атмосферна та ґрунтова посухи.

Для оцінки наявності та інтенсивності посух у сучасний період використовується стандартизований індекс опадів (CIO) або (SPI), який може бути розрахований для будь-якого пункту за допомогою тривалого ряду спостережень за опадами і ґрунтується на понятті стандартизованих

опадів [146]. Під стандартизованими опадами розуміють відхилення їх величини для певного періоду часу від середньої багаторічної величини, поділене на середньоквадратичне відхилення, тобто використовуються нормовані величини. Далі цей індекс було модифіковано залученням поняття про потенціальне сумарне випаровування PE [147], після чого розрахований індекс дістав назву стандартизований індекс опадів та сумарного випаровування (CIOCB) або (SPEI). Установлена класифікація посух в залежності від значення, яке прийняла величина SPEI (табл. 3.3).

Процедура визначення SPEI базується на обчисленні середньомісячних різниць між опадами та потенціальним сумарним випаровуванням і впроваджена у міжнародну практику з 2009 року. Наявність та інтенсивність посухи визначаються відповідно до значень SPEI, представлених в табл. 3.3. Розрахунок індексів SPEI проводився за допомогою спеціального комп'ютерного забезпечення. У вхідному файлі містилася інформація про середньомісячні температури повітря, суми опадів та координати метеостанцій.

Таблиця 3.3 – Класифікація значень SPEI [146]

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

Аналіз динаміки посух у часі виконувався за інтенсивністю посух та їх тривалістю [13]. Розглядалися посухи усіх категорій (при $SPEI \leq 0,00$). За період 1952-2011 рр. на метеостанціях, розташованих на водозборі Куяльницького лиману та прилеглих територіях було зареєстровано 21-23 випадки посух різної тривалості та інтенсивності. Установлено, що після 1989 р. на досліджуваній території відбувається зменшення частоти появи інтенсивних посух та зростає частота появи слабких, помірних та екстремальних посух (табл. 3.4).

Таблиця 3.4 – Частота появи (%) посух різної суворості згідно значень індексу SPEI

Метео-станція	Період спостережень	Категорія посухи			
		слабка	помірна	інтенсивна	екстремальна
Любашівка	1952-2011 рр.	23	50	18	9
	до 1989 р.	15	46	31	8
	після 1989 р.	33	56	0	11
Баштанка	1952-2011 рр.	24	48	19	10
	до 1989 р.	18	45	27	9
	після 1989 р.	30	50	10	10
Одеса	1952-2011 рр.	32	32	18	18
	до 1989 р.	31	31	23	15
	після 1989 р.	33	33	11	22
Затишся	1952-2011 рр.	35	22	35	9
	до 1989 р.	27	33	40	0
	після 1989 р.	50	0	25	25

Для аналізу тривалості посух різних категорій була визначена загальна кількість місяців, коли спостерігалась посуха ($SPEI \leq 0,00$), та кількість місяців, яка припадала на кожну категорію (табл. 3.5). При розгляді усього періоду спостережень виявлено, що слабкі посухи тривають найдовше, проте після 1989 р. зростає тривалість екстремальних посух. Аналіз відношення кількості місяців із $SPEI \leq 0,00$ до загального числа місяців в досліджуваному періоді показав, що після 1989 р. кількість місяців із посухою зросла в середньому на 20 %.

Оцінка внеску тривалості посух кожної категорії у загальну їх тривалість (табл. 3.6) також виявила зростання частки слабких, помірних та екстремальних посух.

З хронологічного ходу індексу SPEI (рис. 3.7, 3.8) видно, що метеорологічні посухи переривалися помірно вологими періодами та періодами близькими до нормального зволоження, проте саме на початку XXI сторіччя з'являються “екстремальні посухи”. На метеостанції Любашівка найбільш тривала посуха спостерігалася з липня 2005 р. по червень 2008 р., яка з травня 2007 р. по квітень 2008 р. набула категорії «екстремальна посуха» із $SPEI \leq -2,00$ (рис. 3.7). Формуванню цієї метеорологічної посухи передувало найбільш тривале бездощів'я (з 06.04.2007 р. по 22.06.2007 р. - 78 діб), визначене за період з 1989р. по 2011 р.

Таблиця 3.5 – Тривалість посух різних категорій (по даним метеостанцій Північно-Західного Причорномор'я), у місяцях

Метео-станція	Період спостережень	Загальна кількість місяців з посухою	Категорія посухи			
			слабка	помірна	інтенсивна	екстремальна
Любашівка	1952-2011 рр. (720 міс.)	368	251	69	34	14
	до 1989 р. (444 міс.)	205	137	34	30	4
	після 1989 р. (276 міс.)	163	114	35	4	10
Баштанка	1952-2011 рр. (720 міс.)	352	209	99	34	10
	до 1989 р. (444 міс.)	209	121	55	27	6
	після 1989 р. (276 міс.)	143	88	44	7	4
Одеса	1952-2011 рр. (720 міс.)	368	231	78	48	11
	до 1989 р. (444 міс.)	181	121	31	25	4
	після 1989 р. (276 міс.)	187	110	47	23	7
Затишшя	1952-2011 рр. (720 міс.)	339	208	83	42	6
	до 1989 р. (444 міс.)	203	118	55	30	0
	після 1989 р. (276 міс.)	136	90	28	12	6

Таблиця 3.6 – Внесок посухи кожної категорії у загальну їх тривалість, %

Метео-станція	Період спостережень	Категорія посухи			
		слабка	помірна	інтенсивна	екстремальна
Любашівка	1952-2011 рр.	68	19	9	4
	до 1989 р.	67	17	15	2
	після 1989 р.	70	21	2	6
Баштанка	1952-2011 рр.	59	28	10	3
	до 1989 р.	58	26	13	3
	після 1989 р.	62	31	5	3
Одеса	1952-2011 рр.	63	21	13	3
	до 1989 р.	67	17	14	2
	після 1989 р.	59	25	12	4
Затишшя	1952-2011 рр.	61	24	12	2
	до 1989 р.	58	27	15	0
	після 1989 р.	66	21	9	4

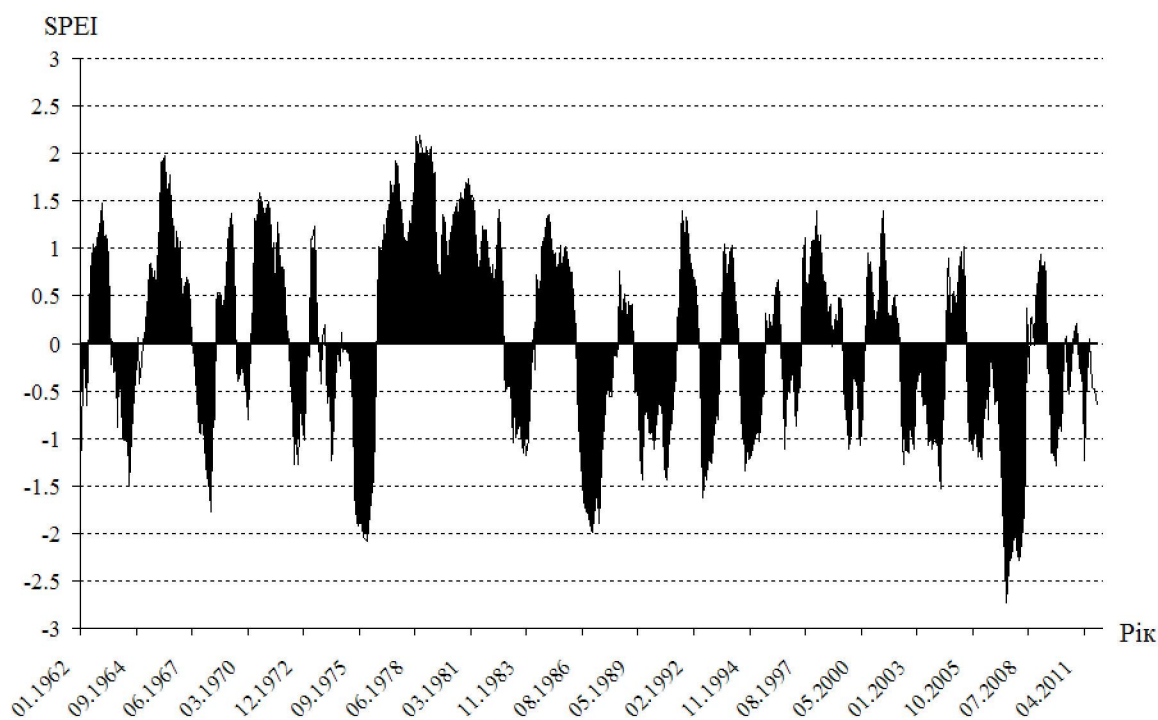


Рисунок 3.7 – Хронологічний хід індексів посушливості SPEI, метеостанція Любашівка, 1962-2011 рр.

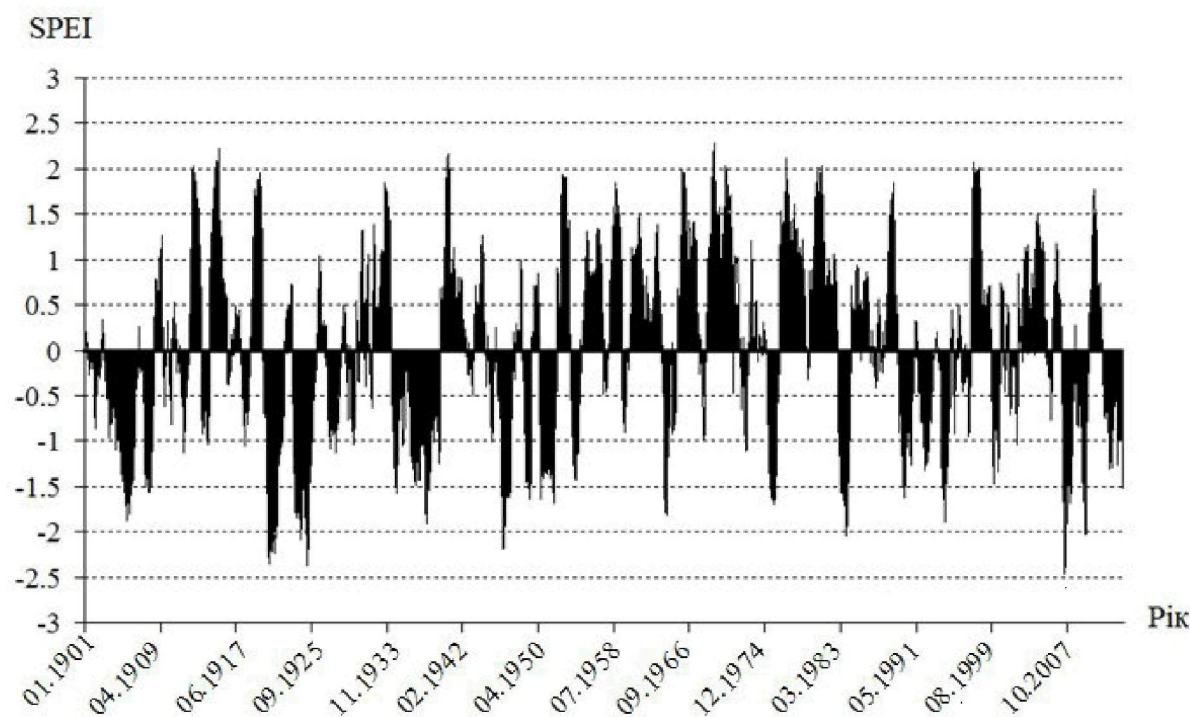


Рисунок 3.8 – Хронологічний хід індексів посушливості SPEI, метеостанція Одеса, 1901-2013 рр.

Довготривалий посушливий період за даними метеостанції Одеса спостерігався з липня 1989 р. до червня 1995 р., причому з квітня по липень 1994 р. посуха перейшла з категорії інтенсивної до екстремальної (рис. 3.8). В цей час у 1994 р. зареєстрований найдовший бездощовий період тривалістю 85 діб (почався 11.03 і закінчився 03.06). Екстремальні посухи супроводжуються довгими бездощовими періодами і призводять до зменшення мінімального стоку річок Північно-Західного Причорномор'я [148]. Аналіз тривалості бездощових періодів до та після 1989 року показав, що у останні десятиріччя тривалість бездощових періодів зростає (табл. 3.7), що обумовлює пересихання річок із нестійким підземним живленням. Припинення припливу прісних вод річок до лиманів викликає їх обміління, що призводить до певних екологічних, соціальних та економічних проблем [7].

Таблиця 3.7 – Найбільша тривалість (діб) бездощових періодів різної забезпеченості на метеостанціях Північно-Західного Причорномор'я

Метео-станція	Період	Забезпеченість (%)						Найбільша тривалість	Дати початку та кінця бездощового періоду найбільшої тривалості
		5	10	25	50	75	90		
Люба-шівка	До 1989 р.	50	47	42	36	26	18	59	15.08-12.10.1983 р.
	Після 1989 р.	75	56	47	39	29	25	78	06.04-22.06.2007 р.
Баштанка	До 1989 р.	83	70	57	43	31	27	92	06.07-05.10.1954 р.
	Після 1989 р.	91	68	51	45	32	25	96	12.10-15.01.1989 р.
Одеса	До 1989 р.	88	71	55	43	37	26	90	15.08-12.11.1983 р.
	Після 1989 р.	85	72	57	43	36	33	85	11.03-03.04.1994 р.
Затишшя	До 1989 р.	75	61	47	34	28	24	78	29.07-14.10.1975 р.
	Після 1989 р.	67	58	45	40	32	26	69	31.07-07.10.2011 р.

3.3 Виявлення тенденцій до змін водності внаслідок кліматичних змін

Водозбір Куяльницького лиману має площу, яка дорівнює 2250 км². Основними річками, які впадають у Куяльницький лиман, є р. Великий Куяльник (В. Куяльник) з площею водозбору $F = 1860$ км², р. Довбока із площею $F = 68,3$ км² та р. Кубанка, для якої площа водозбору F дорівнює 129 км². Таким чином, площа водозбору р. В. Куяльник становить 83 % від загальної площі водозбору Куяльницького лиману і може розглядатися як

головна річка, що несе до лиману основну частину вод річок та водотоків.

На цій річці гідрометслужбою були організовані досить тривалі гідрологічні спостереження, які проводились у створі с. Северинівка у період 1986-2011 рр. Відстань до створу від гирла становить 5 км, площа водозбору дорівнює 1840 км², відмітка нуля графіка поста дорівнює мінус 4,15 м БС [149].

Згідно із просторово-часовими узагальненнями побутового стоку, виконаними А.І. Шерешевським та П.Ф. Вишневським [150] середня багаторічна величина річного стоку р. В. Куяльник змінюється від 0,6 л/(с·км²) на північному заході водозбору до 0,2 л/(с·км²) – при її впадінні у Куяльницький лиман, коефіцієнт варіації річного стоку зростає у цьому ж напрямку (від 0,8 до 1,0, відповідно).

За даними спостережень про стік р. В. Куяльник в створі Северинівка отримано, що найбільший річний стік спостерігався у 2003 р. (34 мм), найменший – у 1994-2000 рр., 2004 р., 2007-2009 рр. і становив 0 мм [78]. Середня багаторічна величина річного стоку р. В. Куяльник за період 1986-2011 рр. становила 2,4 мм, коефіцієнт варіації C_V дорівнював 2,77, коефіцієнт асиметрії C_S – 4,51, відношення C_S/C_V – 1,6. Статистично значущий лінійний зв'язок між річним стоком попередніх та наступних років, який оцінюється за допомогою коефіцієнта автокореляції $r(1)$, не установлений ($r(1) \approx 0,00$). Відносна середня квадратична похибка розрахунку середньої багаторічної величини стоку становить 54 %, що обумовлено високою варіацією річного стоку та коротким періодом спостережень (табл. 3.8). З 26 років спостережень річний стік дорівнював нулю у 11 випадках.

Таблиця 3.8 – Оцінки статистичних параметрів річного стоку, визначені за даними спостережень на р. Великий Куяльник – с. Северинівка за різні періоди

Період спостережень	n	\bar{Y} , мм	$\varepsilon_{\bar{Y}}$, %	C_V	ε_{C_V} , %	C_S	σ_{C_S}	C_S/C_V
1986-2011 рр.	26	2,4	54,2	2,77	18,7	4,51	8,85	1,6
1953-2011 рр. (після відновлення)	57	5,3	23,5	1,78	15,6	2,62	2,71	1,5
1953-1988 рр. (після відновлення)	34	7,5	23,8	1,38	16,9	2,20	2,34	1,6
1989-2011 рр.	23	2,1	68,1	3,26	17,6	4,62	12,8	1,4

Установлено, що існує тісний лінійний зв'язок між коливаннями річного стоку у створі р. В. Куяльник – с. Северинівка та р. Тилігул – смт Березівка. Коефіцієнт кореляції за 22 роки сумісних спостережень становить 0,84 (рис. 3.9). За побудованою залежністю відновлені значення стоку за 31 рік, що дозволило уточнити характеристики річного стоку. Порівняння середніх багаторічних величин стоку, визначених за періоди до та після 1989 р., показало зменшення стоку більш, ніж у 3 рази. Перевірка гіпотези про статистичну приналежність середніх арифметичних значень та дисперсій двох вибірок (до та після 1989 р.) до однієї генеральної сукупності, показала, що ряд спостережень за річним стоком у створі Северинівка можна розглядати як статистично неоднорідний.

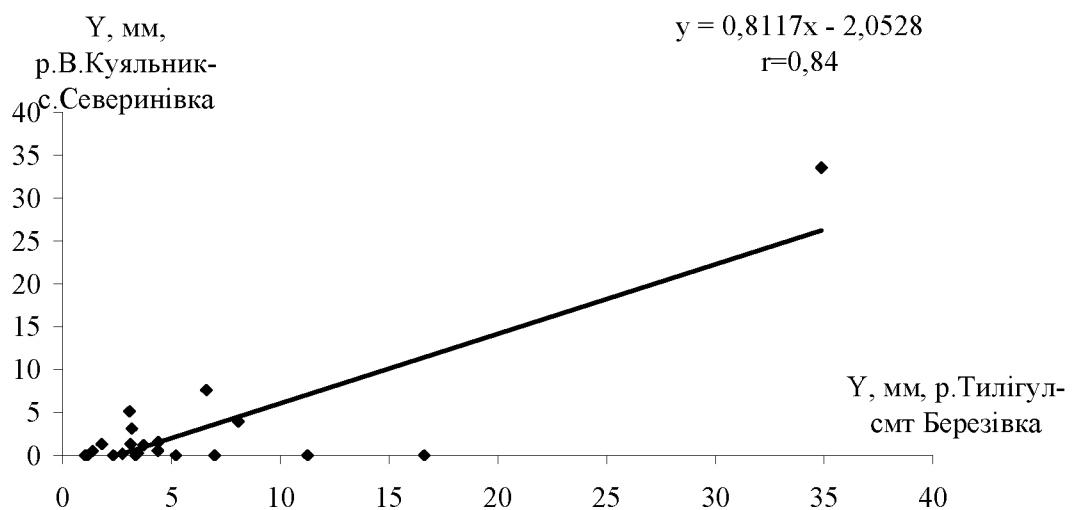


Рисунок 3.9 – Зв'язок річних шарів стоку Y р.Тилігул – смт Березівка, р. В.Куяльник – с.Северинівка (1986-2011 pp.)

Виявлено, що за весь період спостережень максимальна середня місячна витрата води ($10,3 \text{ м}^3/\text{с}$) у створі р. В. Куяльник – с. Северинівка спостерігалась у березні 2003 р. Мінімальне значення добових та середньомісячних витрат води у створі дорівнювало нулю. Річка пересихала у всі роки спостережень, окрім 1986-1988 pp., 1990-1991 pp. В середньому у період після 1989 р. річка пересихала 195 днів на рік. У 1986-1987 pp., 2010-2011 pp. відбувалося перемерзання річки.

Формування високих максимальних витрат води можливе у роки із стійкими від'ємними температурами повітря, коли створюються умови для накопичення на водозборі запасів води у сніговому покриві. Так, наприклад, у 2003 році від'ємні температури повітря спостерігалися на протязі усього зимового сезону. Найбільш холодними були грудень (середня місячна температура становила мінус $7,9 \text{ }^\circ\text{C}$) та лютий (мінус $7,4 \text{ }^\circ\text{C}$). Найбільш

низька середньодобова температура повітря відмічена у січні (мінус 19,5 °C). Перехід температури повітря до додатних значень відбувся 25.03.2003 р. Найбільша витрата води дорівнювала 35,9 м³/с (26.03.2003 р.). Саме у зимовий сезон 2003 р. стійкий льодовий покрив спостерігався з 09.12.2002 р. до 12.02.2003 р., а сума опадів за грудень-березень становила 123 мм.

Внутрішньорічний розподіл стоку по сезонах і місяцях може описуватися згідно із типовою схемою, наведеною в [151]. Звідки видно, що приблизно 50 % річного стоку р. В. Куяльник надходить до лиману у весняний сезон (III-V), а найменший приплив води спостерігається у осінній сезон (IX-XI). Визначення внутрішньорічного розподілу стоку по даних характерних років показало (табл. 3.9), що протягом більшої частини року річка пересихає. У багатоводні роки річка пересихає з червня – серпня до грудня або січня включно. У середні за водністю роки пересихання спостерігається і у зимові місяці. У маловодні роки річка пересихає протягом року.

Таблиця 3.9 – Внутрішньорічний розподіл стоку по місяцях для характерних по водності років (на основі даних спостережень на р. В. Куяльник – с. Северинівка)

Рік	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II
Дуже багатоводний рік, $P = 4 \%$												
2003	43,8	37,3	9,61	0,43	0,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,59
Багатоводний рік, $P = 22 \%$ (2005 р.), $P = 30 \%$ (1992 р.)												
2005	34,1	27,9	10,8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,00	24,3
1992	34,4	42,9	3,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,0	10,7
Середній за водністю рік, $P = 52 \%$ (2011 р.), $P = 56 \%$ (2010 р.)												
2010	83,0	15,2	0,89	0,89	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2011	18,6	71,9	4,19	1,20	4,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Маловодний рік, $P = 59-100 \%$												
1994-2000, 2004, 2007-2009	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Оскільки річка пересихає на протязі основної частини року, то можна зробити висновок, що її підземне живлення вкрай незначне. Це припущення підтверджується роботою В.Г. Сорокіна [81], згідно з якою значення

підземної складової річного стоку у басейні Куяльницького лиману становить 2,5 мм, у той час як поверхнева складова досягає 15 мм.

Таким чином, у створі р. Великий Куяльник – с.Северинівка у середні та багатоводні роки головна частина стоку надходить до Куяльницького лиману у період весняної повені. У роботах по визначенню характеристик максимального стоку весняного водопілля річок Причорноморської низовини, виконаних під керівництвом Є.Д. Гопченка [152], зазначається, що велике значення у формуванні весняного водопілля мають опади $x_{весна}$, які випадають після дати накопичення максимальних снігозапасів S_m до кінця водопілля. Зливові опади як чинник формування дощових паводків розподіляються дуже нерівномірно, але вони можуть викликати катастрофічні паводки, які будуть мати місце, якщо кількість опадів перевищить 160 мм [153].

Об'єми річного стоку річки Великий Куяльник у створі с. Северинівка значно змінилися у періоди до та після 1989р. Якщо середній багаторічний приплив до річки у період 1953-1988 рр. становив 13,8 млн.м³, то після знаходиться у межах 3,8 – 4,0 млн.м³ (рис. 3.10). Останнє пояснюється впливом змін клімату, яке посилюється водогосподарською діяльністю на водозборі. Слід зазначити, що спостережений стік є “побутовим”, тобто перетвореним діяльністю людини і може значно відрізнятися від природного. Установлене існування тенденції до зменшення побутового річного стоку, яке у період 1989-2011рр. досягло 70% у порівнянні із періодом 1953-2011рр.

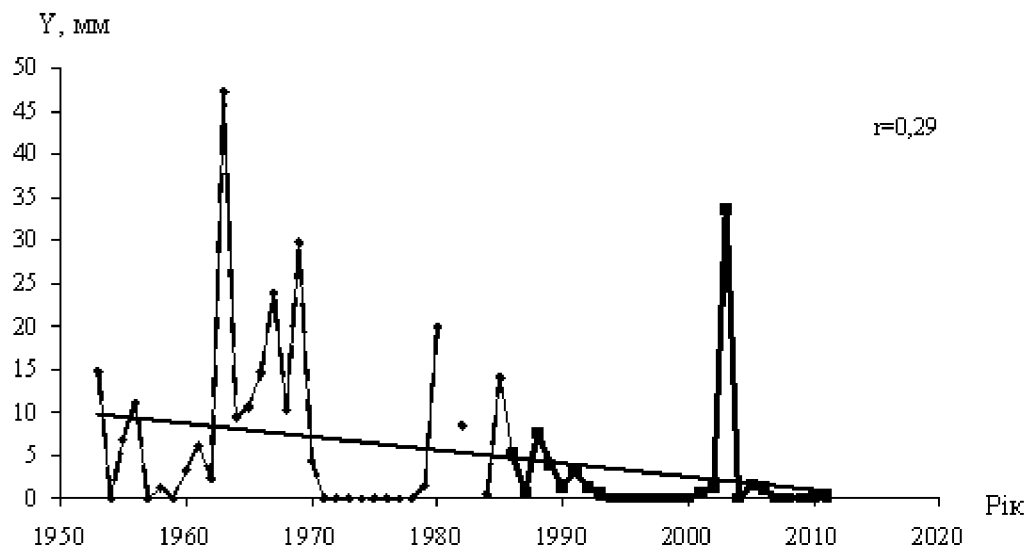


Рисунок 3.10 – Хронологічний хід річних шарів стоку Y у створі р.В.Куяльник – с.Северинівка за період 1953-2011 рр. (— 1953-1985 рр. (відновлені дані), - - - - - 1986-2011 рр. (спостережені дані))

Аналіз ходу різницевих інтегральних кривих середніх річних температур повітря, сум опадів, річного стоку (рис. 3.11) показав, що з 1989 р. коливання температур повітря перейшли у додатну фазу; коливання опадів з 2005 р. знаходяться у від'ємній фазі. Коливання стоку малих та середніх річок Північно-Західного Причорномор'я (межиріччя Дністер-Південний Буг) знаходяться у маловодній фазі, яка добре позначається на усіх розглянутих річках на початку XXI сторіччя (рис. 3.11).

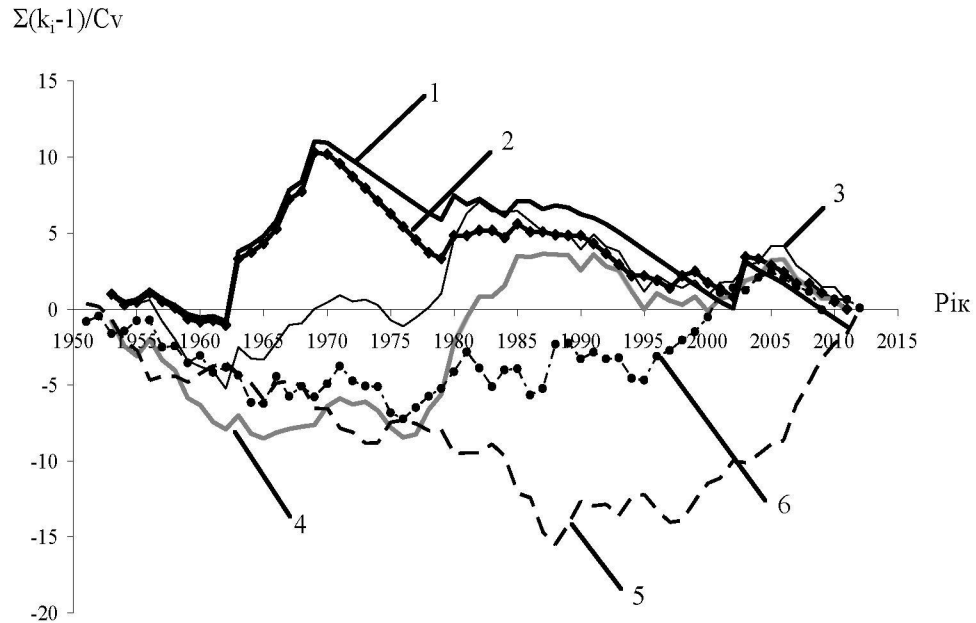


Рисунок 3.11 – Різницеві інтегральні криві гідрометеорологічних характеристик межиріччя Дністер-Південний Буг (1 – річний стік р. В.Куяльник - с. Северинівна, з 1953 р. до 1985 р. відновлений на основі кореляційного зв'язку із стоком р. Тилігул; 2 – річний стік р. Тилігул – смт Березівка; 3 – річний стік р. Тилігул - с. Новоукраїнка, з 1988 р. відновлений на основі кореляційного зв'язку із стоком р. Савранка; 4 – річний стік р. Савранка - с. Осички; 5 – середня річна температура повітря, метеостанція Затишшя; 6 – річні суми опадів, метеостанція Затишшя)

4 ОЦІНКА ВОДНИХ РЕСУРСІВ РІЧОК В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД КЛІМАТИЧНИХ УМОВ ТА ВОДОГОСПОДАРСЬКОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

Водними ресурсами називаються запаси поверхневих та підземних вод певної території [77]. За В.М. Тимченком [79] приплив підземних вод до Куяльницького лиману дуже незначний і становить лише 4 млн.м³. У такому випадку водні ресурси водозбору Куяльницького лиману можуть бути кількісно оцінені через середній багаторічний річний стік, який надходить до лиману з водотоками, та запаси води, зосереджені безпосередньо в лимані.

Проблема оцінки водних ресурсів басейну Куяльницького лиману полягає у нестачі даних спостережень за стоком річок. Суттєву роль у формуванні водних ресурсів відіграє водогосподарська діяльність, яка трансформує річковий стік й обумовлює неоднорідність рядів спостережень. Головним чинником водогосподарської діяльності у басейні є вплив штучних водойм, який проявляється у вигляді акумуляції стоку річок та тимчасових водотоків численними ставками й малими водосховищами та в подальшому його витрачання на випаровування з водної поверхні та споживання води населенням, головним чином для господарських потреб. Якість води у штучних водоймах, як вже зазначалось у другому розділі, не відповідає вимогам, які висуваються до питної води. Більшість ставків використовується для розведення та утримання свійської худоби, птахівництва. Для риборозведення води також є небезпечними.

Розрахунки водних ресурсів річок басейну Куяльницького лиману виконувалися у два етапи. На першому етапі відбувалося їх визначення для природних (непорушених водогосподарською діяльністю) умов формування стоку, на другому – для побутових (трансформованих діяльністю людини) умов. У минулі два десятиріччя на стані водних ресурсів позначилися зміни кліматичних умов, про що вже йшлося у третьому розділі. За даними В.В. Гребіня [9] «переламним» роком, починаючи з якого зміни температурного режиму на території України набули статистичної значущості, став 1989 рік. Таким чином, до вирішення задач розрахунків водних ресурсів у природних та порушених водогосподарською діяльністю умовах додалася задача оцінки впливу на них змін клімату. Такого роду розрахунки передбачають наявність достатньої кількості даних спостережень як за стоком річок, так і за його споживанням, а також за основними метеорологічними характеристиками (суми опадів, температури повітря, дефіцит вологи у повітрі та інше). У метеорологічному відношенні територія Північно-Західного Причорномор'я вивчена набагато краще ніж у гідрологічному. Нестача необхідної гідрологічної інформації може бути

компенсованою математичним моделюванням характеристик стоку на основі використання метеорологічних даних та матеріалів про масштаби водоспоживання. У Одеському Державному Екологічному університеті (ОДЕКУ) [154] було розроблено математичну модель, на вході якої використовуються кліматичні чинники формування стоку, визначені на основі даних спостережень у минулому чи за моделями розвитку глобального потепління у майбутньому, а на виході отримуються характеристики природного та побутового стоку у різних кліматичних умовах. Оскільки побудована в ОДЕКУ математична модель формування стоку базується на даних про клімат, вона отримала назву модель «клімат-стік». Модель вміщує у собі два блоки. Перший блок слугує для оцінки природного річного стоку на основі метеорологічних даних [155], другий – для оцінки побутового (перетвореного водогосподарською діяльністю) стоку [156]. Теоретичною базою першого блоку моделі є рівняння водно-теплогового балансу водозбору, другого – рівняння водогосподарського балансу водозбору, представлене у стохастичній (ймовірнісній) формі. Модель розглядає ланцюг послідовностей формування стоку: «клімат → кліматичний стік → підстильна поверхня → природний стік → водогосподарські перетворення → побутовий стік». Таким чином, вивчається та моделюється робота водогосподарської системи, яка підлягає зовнішнім (кліматичним) та внутрішнім (водогосподарським) впливам й певним чином реагує на ці впливи. Модель пройшла калібрування й верифікацію на гідрометеорологічних матеріалах різних географічних зон України, а також водозборів окремих (великих, середніх та малих) річок [43] й увійшла складовою частиною до нормативних документів по розрахунках характеристик річного стоку при відсутності та недостатності даних спостережень України [157] та республіки Молдова [158].

4.1 Теоретичні основи визначення природних водних ресурсів за моделлю «клімат-стік»

Водні ресурси річок басейну Куяльницького лиману є недостатньо вивченими: гідрологічні спостереження організовані лише на р. Великий Куяльник, та й то, починаючи з 1989 р. Стік цієї річки та інших суттєво перетворений водогосподарською діяльністю, головним чином у виді штучних водойм, які іноді утворюють справжній “каскад” штучних водойм. При відсутності даних гідрометричних спостережень або при значній трансформації стоку річок водогосподарською діяльністю доцільно використовувати просторово-часові узагальнення характеристик стоку у

вигляді карт ізоліній або порайонних залежностей головних характеристик стоку. На території України практично не лишилося річок, стік яких не був би перетворений антропогенним впливом. Особливо проблематичним з точки зору оцінки характеристик стоку за даними спостережень є південь України, на території якого ізолінії характеристик стоку проводилися пунктиром [159-161]. Ураховуючи, що метеорологічна вивченість півдня України набагато краща ніж гідрологічна, в Одеському державному екологічному університеті під керівництвом проф. Є.Д. Гопченка та проф. Н.С. Лободи була розроблена математична модель річного стоку, яка базується на використанні метеорологічних даних і відноситься до моделей типу «клімат-стік» [162].

Теоретичним базисом моделі «клімат-стік» при розрахунках природного стоку є рівняння водно-теплового балансу у модифікації, запропонованій В.С. Мезенцевим [163]. У цьому методі розглядаються рівняння водного та теплового балансів ділянки суші, які містять у собі загальну складову – випаровування з поверхні суші. Рівняння водного балансу ділянки суші за будь-який проміжок часу представляється у виді

$$H = E + Y, \quad (4.1)$$

де H - характеристика зволоження території;

Y - характеристика стоку.

E - характеристика випаровування з поверхні суші.

Під характеристикою зволоження H розуміють опади X , які випадають за розрахунковий період та зміни $w_1 - w_2$ запасів вологи в ґрунті $H = X + w_1 - w_2$.

Рівняння теплового балансу описує процес теплообміну в будь-якій точці простору і за будь-який проміжок часу у вигляді статей приходу й витрат енергії

$$R^+ + P^+ + B_1 - B_2 = LE + P^- + I_H - LC, \quad (4.2)$$

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

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

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

L - «приховане» тепло пароутворення;

LE - витрата тепла на випаровування;

P^- - витрата тепла на нагрівання повітря (негативна частина

турбулентного теплообміну);

I_H - довгохвильове випромінювання земної поверхні у нічні часи доби;

LC - витрата тепла на конденсацію.

Ліва (прибуткова) частина рівності (4.2) розглядається як граничні ресурси енергії, які забезпечують процес випаровування у визначених кліматичних умовах й називаються «теплоенергетичними ресурсами клімату»

$$LE_m = R^+ + P^+ + (B_1 - B_2) , \quad (4.3)$$

де E_m - так званий «теплоенергетичний еквівалент», тобто шар води, який міг би випаритися з поверхні суші, якби на процес випаровування були витрачені усі теплоенергетичні ресурси клімату

$$E_m = \frac{R^+ + P^+ + (B_1 - B_2)}{L} . \quad (4.4)$$

Таким чином, теплоенергетичний еквівалент E_m є величиною, яка за своїм фізичним змістом близька до величини E_0 – випаровуваності або максимально можливого випаровування. Величина E_0 визначалася багатьма авторами як верхня межа випаровування, але інтерпретувалася по-різному: «випар зі зволоженої поверхні» (М.І. Будико); «випар з водної поверхні при тій же комплексі метеорологічних умов, що і над сушею» (Н.А.Багров); «випар з поверхні полів, вкритих рослинністю, коли вологість ґрунту близька до найменшої польової вологоємності» (А.Р.Константінов). На відміну від інших авторів В.С.Мезенцеву вдалося надати однозначний фізичний зміст поняттю «випаровуваність» [164].

Введення характеристики теплоенергетичних ресурсів у рівняння водного балансу (4.1) досягається діленням лівої і правої частин цього рівняння на величину E_m

$$\frac{H}{E_m} = \frac{E}{E_m} + \frac{Y}{E_m} . \quad (4.5)$$

Складові рівняння (4.1) H, E, Y після ділення на E_m позначаються як $\beta_H, \beta_E, \beta_Y$, відповідно. Отже вираз (4.5) можна записати у вигляді

$$\beta_H = \beta_E + \beta_Y . \quad (4.6)$$

Співвідношення β_H для багаторічного періоду, коли $w_1 - w_2 = 0$, записується як $\beta_X = \frac{X}{E_m}$.

Граничні умови складових рівняння (4.6) є такими

$$0 \leq \beta_E \leq 1 \text{ при } 0 \leq \beta_H \leq \infty \text{ та } 0 \leq \beta_Y \leq \beta_H \leq \infty. \quad (4.7)$$

Після диференціювання рівняння (4.6) за величиною співвідношення ресурсів вологи і тепла β_H , В.С. Мезенцев [165] одержав рівняння такого виду

$$\frac{\partial \beta_E}{\partial \beta_H} + \frac{\partial \beta_Y}{\partial \beta_H} = 1. \quad (4.8)$$

Наближений розв'язок рівняння (4.8) наданий В.С. Мезенцевим у такий спосіб:

$$\beta_E = (1 + \beta_H^{-n})^{\frac{1}{n}}, \quad (4.9)$$

де n – параметр, що інтегрує вплив фізико-географічних умов формування стоку.

З урахуванням позначень (4.5), прийдемо до рівняння виду

$$E = E_m \left[1 + \left(\frac{H}{E_m} \right)^{-n} \right]^{\frac{1}{n}}. \quad (4.10)$$

Відповідно рівняння водного балансу (4.1) набуде вигляду

$$H = Y + E_m \left[1 + \left(\frac{H}{E_m} \right)^{-n} \right]^{\frac{1}{n}}. \quad (4.11)$$

Рівняння водного балансу виду (4.11) містить складову, яка визначається через складові теплового балансу земної поверхні і позначається як E_m , у зв'язку з чим вираз (4.11) називають рівнянням водно-теплового балансу.

Балансове співвідношення (4.11), виражене відносно величини стоку Y , записується у такий спосіб

$$Y = H - E_m \left[1 + \left(\frac{H}{E_m} \right)^{-n} \right]^{-\frac{1}{n}}. \quad (4.12)$$

З урахуванням виразу $H = X + w_1 - w_2$ визначення шару стоку Y за розрахунковий інтервал часу набуде виду

$$Y = X + w_1 - w_2 - E_m \left[1 + \left(\frac{X + w_1 - w_2}{E_m} \right)^{-n} \right]^{-\frac{1}{n}}. \quad (4.13)$$

Різниця $w_1 - w_2$, яка представляє собою зміну вологовмісту розрахункового шару ґрунту, приймає істотні додатні та від'ємні значення для внутрішньорічних інтервалів часу. Для багаторічного періоду, коли виконується умова

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

рівняння водно-теплового балансу має вигляд

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

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

Результати досліджень показали, що при розрахунках норм річного стоку для рівнинних територій необхідно використовувати $n = 3$.

Найбільші труднощі виникають при оцінці теплоенергетичних ресурсів клімату за рівнянням (4.4), оскільки матеріали про зміни запасів тепла у діяльному шарі ґрунту $B_1 - B_2$ відсутні. Однак, у цілому за рік, а тим більше за багаторічний період виконується умова $B_1 - B_2 = 0$. Отже, можна прийняти

$$E_m = \frac{R^+ + P^+}{L} . \quad (4.16)$$

Через невелику кількість актинометричних станцій, дані яких мають використовуватися для розрахунків за формулою (4.16), для території України Є.Д. Гопченком та Н.С. Лободою отримана залежність середніх багаторічних величин максимально можливого випаровування від температур повітря [155]

$$\bar{E}_m = 13,3 \sum_V^{IX} \bar{T}_M - 307, r = 0,94 ; \quad (4.17)$$

де \bar{E}_m – середня багаторічна величина (норма) максимально можливого випаровування;

$\sum_V^{IX} \bar{T}_M$ – сума норм середніх місячних температур повітря за літній період (із травня по вересень, включно); r – коефіцієнт кореляції.

Норма річного стоку \bar{Y} , розрахована за (4.15), визначається кліматичними чинниками – нормою річних опадів \bar{X} й нормою максимально можливого випаровування \bar{E}_m , які підкоряються закону географічної зональності та представляються у вигляді карт ізоліній. Величини стоку, розраховані за метеорологічними даними з використанням рівнянь (4.13) або (4.15), отримали назву «кліматичного». Норма кліматичного стоку, отримана за рівнянням (4.15), у подальшому позначена як \bar{Y}_K .

Кarti ізоліній середніх багаторічних величин (норм) річних опадів, максимально можливого випаровування та розрахованого за (4.15) кліматичного стоку побудовані на топографічній основі 1:500000 для рівнинної території України [43]. При побудові карт ізоліній норм річного кліматичного стоку значення \bar{Y}_K визначалися за даними метеорологічних станцій. На карті ці значення були віднесеними до точок, які відповідають географічному положенню кожної з цих метеорологічних станцій. При визначенні норми річного кліматичного стоку з виділеного водозбору за побудованою картою ізоліній шукана величина \bar{Y}_K має визначатися як середня зважена по частинних площах водозбору, які містяться між ізолініями. Порівняння норм річного кліматичного стоку із фактичними даними, виконані для водозборів річок, що мають усталене підземне живлення, показали задовільну відповідність цих величин у різних географічних зонах України. Установлено, що норма річного кліматичного стоку є тотожною нормі зонального річного стоку. Точність визначення

норми річного кліматичного стоку за картою ізоліній, побудованою на основі метеорологічних даних, становить $\pm 10\%$.

Для річок з нестійким підземним живленням [166] характерна суттєва відмінність природного стоку від зонального. Для таких випадків модель «клімат-стік» передбачає використання коефіцієнтів переходу від норм річного кліматичного стоку, визначеного за картами ізоліній, до природного (непорушеного господарською діяльністю). Ці коефіцієнти описують вплив чинників підстильної поверхні на процес формування річного стоку.

Територія Північно-Західного Причорномор'я знаходиться у зоні недостатнього зволоження і поділяється на область додатних виправлень до норми річного кліматичного стоку та область від'ємних виправлень. Границею між ними є границя зим із стійким сніговим покривом, який устанавлюється менше ніж у 50% випадків. Область додатних виправлень знаходиться вище цієї межі, область від'ємних – нижче. Для розрахунку коефіцієнтів переходу від норм річного кліматичного стоку до норм природного стоку річок Північно-Західного Причорномор'я в області додатних поправок $K_{ПЕР,1}$ розроблені емпіричні рівняння, які ураховують нерівномірність випадіння дощів та розподілу снігового покриву по площі водозбору [42]

$$k_{ПЕР,1} = 2,4 - 0,7(\lg(F + 1) - 1) - \text{при } F < 1000 \text{ км}^2; \quad (4.18)$$

$$K_{ПЕР,1} = 1 - \text{при } F \geq 1000 \text{ км}^2, \quad (4.19)$$

де F – площа водозбору, км^2 .

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

$$K_{ПЕР,2} = 1 - 0,003(280 - H_{СЕР}), \text{ при } H_{СЕР} < 280 \text{ м}, \quad (4.20)$$

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

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

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

За моделлю «клімат-стік» норма природного стоку $\bar{Y}_{\text{ПР}}$ малого або середнього за розмірами водозбору розраховується як добуток норми кліматичного стоку, що визначається за картою ізоліній, на перехідний коефіцієнт

$$\bar{Y}_{\text{ПР}} = K_{\text{ПЕР}} \bar{Y}_K. \quad (4.22)$$

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

$$C_V = \frac{1,5}{\frac{\bar{Y}_K}{10}^{0,62}}, \quad (4.23)$$

де C_V – коефіцієнт варіації річного стоку.

Значення у чисельнику, яке дорівнює 1,5, є коефіцієнтом варіації, що відповідає нормі річного кліматичного стоку рівній 10 мм ($C_V=1,5$ при $\bar{Y}_K=10$ мм). Така норма річного кліматичного стоку відповідала кліматичним умовам узбережжя Чорного моря до початку суттєвого впливу змін глобального клімату на водні ресурси.

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

$$C_S = 1,7 C_V, \quad (4.24)$$

де C_S – коефіцієнт асиметрії.

Приймається, що закономірності, описані рівняннями (4.23) та (4.24) справедливі як для кліматичного, так і для природного стоку.

На основі методу сумісного аналізу складових просторової дисперсії статистичних параметрів стоку було установлено, що коефіцієнт автокореляції природного річного стоку $r(1)$ для річок Північно-Західного Причорномор'я можна приймати рівним нулю.

Апробація моделі «клімат-стік» для визначення характеристик природного (непорушеного водогосподарською діяльністю) річного стоку

річок показала задовільний збіг розрахункових і фактичних даних як для малих, так і великих річок України [167]. Установлено, що точність визначення статистичних параметрів річного стоку за моделлю «клімат-стік» знаходиться у межах точності розрахунків цих параметрів за даними гідрометричних спостережень.

Слід зазначити, що карти ізоліній норм річного кліматичного стоку, наведені у роботах [42, 43], відповідають умовам, які були характерними до початку суттєвих змін клімату України, тобто до 1989 р. Отже, ці норми річного кліматичного стоку, визначені на основі просторово-часових узагальнень річного стоку, можуть використовуватися як базові при оцінках змін водних ресурсів за сценаріями глобального потепління.

4.2 Оцінка стану природних водних ресурсів річок до початку значущих змін клімату

Природні (непорушені водогосподарською діяльністю) водні ресурси річок водозбору Куяльницького лиману, які відповідають кліматичним умовам до початку суттєвого впливу глобального потепління, визначалися на основі метеорологічних даних з Довідників по клімату СРСР [168, 169, 170] з використанням розрахункових формул (4.15-4.25). Згідно із побудованими картами ізоліній норма річних опадів на водозборі Куяльницького лиману зменшується у напрямі північний захід – південний схід (від 575 до 460 мм), річна норма максимально можливого випаровування у тому ж напрямку зростає від 925 мм до 990 мм. У межах водозбору Куяльницького лиману норми річного кліматичного стоку у минулому сторіччі змінювалися від 30 мм до 15 мм (рис.4.1).

Норма річного кліматичного стоку, визначена за картою ізоліній, для кожного із водозборів Куяльницького лиману змінюється від 23 мм до 15 мм (табл. 4.1). Усі розглянуті водозбори річок знаходяться в області від'ємних виправлень до норми річного кліматичного стоку, та мають середню висоту водозборів менше 280 м. Отже перехід від норм річного кліматичного стоку до природного виконувався за формулою (4.21). Річний стік річок характеризується значною багаторічною мінливістю та асиметрією (табл. 4.2). Коефіцієнт варіації C_v змінюється від 1,19 до 2,72. Коефіцієнт асиметрії C_s приймає значення від 2,0 до 4,6. Сумарний об'єм прісних вод, які надходили до Куяльницького лиману у природних умовах формування стоку минулого сторіччя, становив 22,2 млн.м³. Таким чином, приплив стоку від р. Великий Куяльник складав 91,8% від загального припливу прісних вод водотоків до Куяльницького лиману

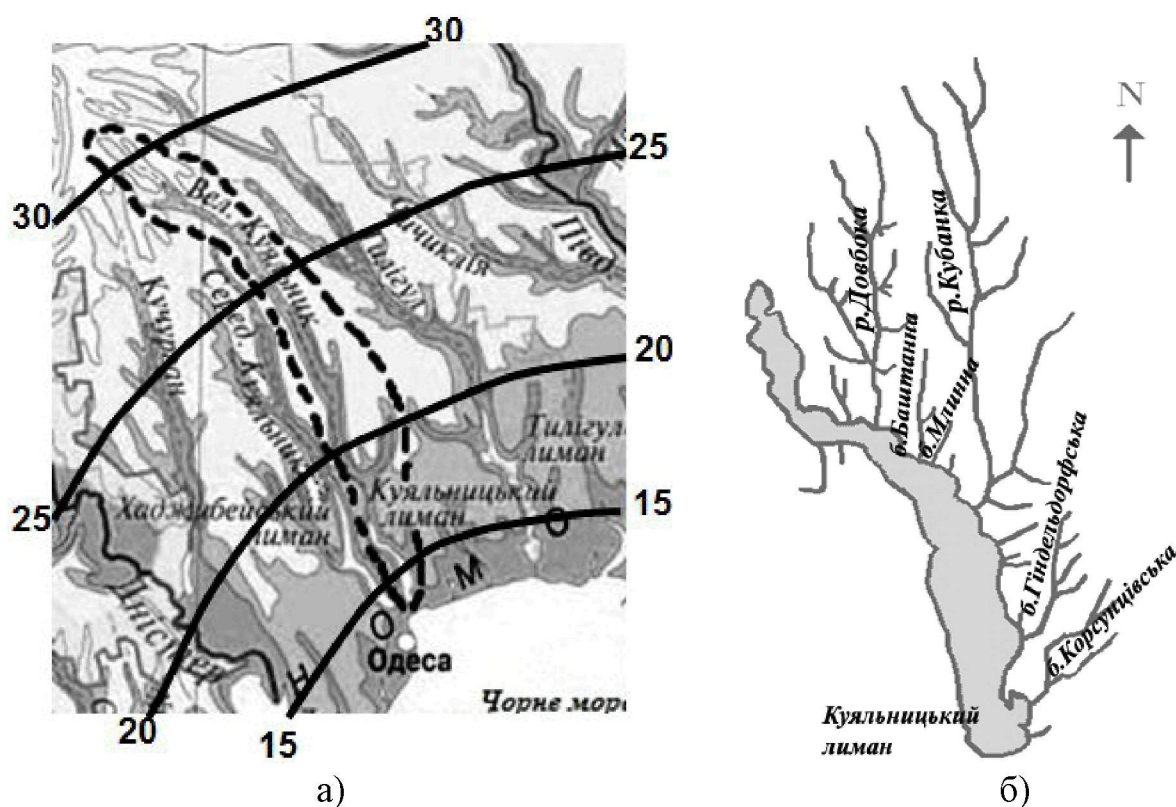


Рисунок 4.1 – Карта-схема норм річного кліматичного стоку (мм) річок в басейні Куяльницького лиману до початку впливу глобального потепління (а), Куяльницький лиман з притоками (б)

Таблиця 4.1 – Визначені за моделлю «клімат-стік» кліматичні чинники формування природного річного стоку та норми річного кліматичного стоку для річок водозбору Куяльницького лиману

Річка	Кліматичні чинники			Норма річного кліматичного стоку, \bar{Y}_K , мм
	\bar{X} , мм	\bar{E}_m , мм	\bar{E} , мм	
В. Куяльник	510	960	487	23
Довбока	480	970	462	18
б.Млинова	470	973	454	16
б.Баштанна	470	974	454	16
Кубанка	475	975	458	17
б.Гіндельдорфська	465	980	450	15
б. Корсунцівська	460	985	445	15
Боковий приплив	465	980	450	15

Таблиця 4.2 – Статистичні параметри природного річного стоку, визначені за моделлю «клімат-стік»

Річки та балки	Норма кліматичного стоку, \bar{Y}_K , мм	Середня висота водозбору, H_{CER} , м	Площа водозбору, F , км ²	Пере-хідний кое-фіцієнт, $K_{ПЕР,2}$	Параметри природного річного стоку			
					$\bar{Y}_{ПР}$, мм	$\bar{W}_{ПР}$ м ³ 10 ⁶	C_V	C_S
р.Великий Куяльник	23	120	1860	0,52	12	20,4	1,19	2,03
р.Довбока	18	35,0	69,5	0,369	6,62	0,460	1,74	2,95
б.Млинова	16	25,0	2,20	0,235	3,86	0,0352	2,42	4,12
б.Баштанна	16	30,0	8,70	0,25	4,10	0,0357	2,34	3,97
р.Кубанка	17	37,0	136,5	0,27	4,60	0,628	2,17	3,69
б.Гіндельдорфська	15	21,0	15,0	0,22	3,45	0,0518	2,59	4,42
б.Корсунцівська	15	20,0	17,0	0,22	3,22	0,0547	2,72	4,61
Бічний приплив	15	27	142	0,24	3,73	0,530	2,48	4,21
Сумарний приплив прісних вод до лиману						22,2		

Розрахунки об'ємів стоку у роки різної забезпеченості показали, що навіть для річки В.Куяльник можливі нульові значення річного стоку у дуже маловодні роки (із забезпеченістю водності більшою або рівною 95%). На річках Довбока та Кубанка відсутність річного стоку можлива у маловодні роки (із забезпеченістю більшою або рівною 75%). Річний стік у балках дорівнюватиме нулю не тільки у маловодні, а і у середні за водністю роки (табл.4.3). У багатоводні роки (наприклад, 1%-ої забезпеченості) річний стік річки В.Куяльник становить 85% від загального надходження води до Куяльницького лиману, у роки 50-ої забезпеченості – 98%, а у маловодні роки – 100%.

4.3 Теоретичні основи стохастичного моделювання побутового стоку

Перетворення стоку в умовах антропогенного впливу описується таким еволюційним рівнянням [171]

Таблиця 4.3 – Характеристики природного річного стоку (об'єми) у роки різної водності

Річка – пост	Природний річний стік заданої забезпеченості W_P , млн. м ³								
	$W_{0,01\%}$	$W_{0,1\%}$	$W_{1\%}$	$W_{5\%}$	$W_{25\%}$	$W_{50\%}$	$W_{75\%}$	$W_{95\%}$	$W_{99\%}$
В. Куяльник	221	165	108	69,0	29,6	12,9	3,16	0	0
Довбока	8,51	6,09	3,69	2,04	0,62	0,14	0	0	0
б.Млинова	1,08	0,74	0,41	0,20	0,04	0	0	0	0
б. Баштанна	1,04	0,72	0,40	0,19	0,04	0	0	0	0
р.Кубанка	16,3	11,3	6,43	3,24	0,70	0,06	0	0	0
б. Гіндель- дорфська	1,77	1,21	0,64	0,30	0,05	0	0	0	0
б. Корсун- цівська	2,01	1,36	0,72	0,33	0,05	0	0	0	0
Бічний приплив	16,9	11,6	6,30	3,00	0,52	0	0	0	0
Сума	269	198	127	78,3	31,6	13,1	3,16	0	0

$$Y(t) = Y(t_0) - \int L(\Lambda, Y) dt + \int \varepsilon dt, \quad (4.25)$$

де $Y(t)$ - стан водозбору в умовах антропогенного впливу;

$Y(t_0)$ - вихідний стан водозбору в природних, тобто непорушених антропогенним впливом, умовах;

L - оператор водогосподарських перетворень стоку;

Λ - параметри системи, одна частина яких пов'язана з природними характеристиками, а друга – з водогосподарськими перетвореннями;

ε - показник зовнішнього впливу на водозбір, під яким можна розуміти вплив глобального потепління.

Спираючись на початкове значення $Y(t_0)$, яке характеризує природний стан водозбору і виконуючи прогноз зовнішніх (ε) та внутрішніх (L) впливів на водозбір як на систему, можна імітувати поведінку гідрологічної системи, вирішуючи тим чи іншим чином рівняння (4.25). Якщо $\varepsilon = 0$, то природний кліматичний фон формування водних ресурсів приймається незмінним. У такому випадку задача зводиться до визначення оператора перетворень L , який у прикладній гідрології дістав назву оператора просторово-часової еволюції, функції впливу або функції пам'яті [172].

Для моделювання використовувались рівняння водогосподарського балансу водозборів, які у загальному випадку записувались таким чином

$$W_{ПБ} = W_{ПР} - \Delta W_{БП} + \Delta W_{СК}, \quad (4.26)$$

де $W_{ПБ}, W_{ПР}$ - об'єми побутового та природного стоку;

$\Delta W_{БП}$ - безповоротні вилучення стоку з поверхневих водотоків;

$\Delta W_{СК}$ - скидання води в поверхневі водотоки.

Рівняння водогосподарського балансу, виражене через шари стоку Y і представлено у стохастичному вигляді, має такий вигляд

$$Y_{ПОВ,Р} = Y_{ПР,Р} \pm \Delta Y_P(U_{P1}, f), \quad (4.27)$$

де $Y_{ПОВ,Р}$ - шар побутового (трансформованого водогосподарською діяльністю) річного стоку заданої забезпеченості $P\%$;

$Y_{ПР,Р}$ - шар природного річного стоку заданої забезпеченості $P\%$;

ΔY_P - зміни водності річки у роки забезпеченості $P\%$ в залежності від характеристик водогосподарської діяльності;

U_{P1} - характеризує ту частину складової водогосподарського балансу, яка залежить від кліматичних умов та має стохастичну природу, але забезпеченість цієї складової може відрізнитись від забезпеченості водності року (наприклад, втрати на випаровування з водної поверхні, дефіцит споживання води рослинами та ін.);

f - характеризує не випадкові складові водогосподарських балансів (площу зрошування, осушування, водної поверхні штучних водойм та інше).

Задача стохастичного моделювання побутового річного стоку вирішувалась у чотири етапи. На першому етапі виконувалась генерація рядів природного (непорушеного) водогосподарською діяльністю стоку із використанням визначених за метеорологічними даними статистичних параметрів природного стоку. На другому етапі досліджувалися фізико-географічні особливості впливу чинників водогосподарської діяльності на стік річок і формувалися рівняння водогосподарських балансів, які становили детерміновану основу моделі. Третій етап досліджень передбачав вивчення структури антропогенних складових ΔW . Особливістю запропонованої моделі побутового стоку є відокремлення випадкових і не випадкових складових водогосподарських балансів. Випадкові складові мають стохастичну природу, обумовлену коливаннями клімату, і, внаслідок цього, пов'язані з водністю річок. Такими складовими є випаровування з водної

поверхні штучних водойм, дефіцити водоспоживання рослинами, глибина залягання підземних вод та інше. Для введення цих чинників у модель досліджувалися закони їхнього розподілу та узгодження з річним стоком за забезпеченістю. Показники масштабів розвинення водогосподарських заходів на водозборах (площі зрошування, осушення, водної поверхні штучних водойм) відносилися до числа не випадкових параметрів водогосподарського комплексу, які призначаються і можуть розглядатися як елементи управління водогосподарською системою, оскільки вони відкривають можливості для оптимізації режиму функціонування водозбору як природно-технічної системи в цілому [173]. На четвертому етапі виконувалося безпосереднє моделювання побутового стоку за рівняннями водогосподарських балансів, представлених у ймовірнісному вигляді. В процесі дослідження були розглянуті найбільш значущі чинники водогосподарської діяльності: для зони недостатнього зволоження – зрошування сільськогосподарських земель і пов'язаних з ним регулюванням стоку шляхом створення ставків та водосховищ й перекидання стоку; для зони надлишкового зволоження – осушення боліт та заболочених земель. Виконано наукове обґрунтування та здійснено реалізацію цих детерміновано-стохастичних моделей для кожного з перелічених чинників із урахуванням реальної фізичної взаємодії річного стоку та антропогенного навантаження на нього у роки різної забезпеченості: а) при заборах поверхневого стоку на зрошення; б) при наявності на водозборах штучних водойм з сезонним регулюванням стоку, коли втрати обумовлені додатковим випаровуванням з водної поверхні; в) при перекиданні стоку та формуванні зворотних (скидних) вод з масивів, що зрошуються за рахунок річок-донорів; г) при осушуванні боліт та заболочених земель [174].

Для стохастичного моделювання багаторічних рядів природного річного стоку було залучено одну з модифікацій моделі простого ланцюга Маркова, яка спирається на урахування кореляції між забезпеченостями суміжних членів ряду [175]. Рівномірно розташовані у інтервалі $(0,1)$ випадкові числа бралися як забезпеченості умовного розподілу величин річного стоку. Моделювання рядів стоку здійснювалося у вигляді послідовностей випадкових величин, зв'язаних кореляцією нелінійного типу з маргінальним трипараметричним гама-розподілом С.Н. Крицького та М.Ф. Менкеля для значень коефіцієнтів автокореляції, які змінюються від 0,00 до 0,55. На попередньому етапі була згенерована послідовність з 4000 випадкових, рівномірно розташованих в інтервалі $(0,1)$, чисел, зв'язаних ланжеронівською кореляцією, які приймалися за забезпеченості річного стоку.

Моделювання багаторічних рядів побутового стоку відбувалося за рівняннями водогосподарських балансів на основі імітаційних експериментів. У кожному випробуванні не випадкові показники рівня розвитку водогосподарської діяльності на водозборах (відносні площі водної поверхні штучних водойм, зрошування, осушування) та деякі технічні характеристики (наприклад, коефіцієнт корисної дії зрошувальної системи) приймалися постійними, що дозволяло зберегти відповідність отриманих рядів гіпотезі стаціонарності процесу стоку. Для кожної отриманої реалізації розраховувалися статистичні параметри побутового стоку, що відповідали заданим показникам антропогенних перетворень на водозборах.

В результаті моделювання встановлені та узагальнені у вигляді розрахункових залежностей основні закономірності змін статистичних параметрів річного стоку в залежності від показників рівня водогосподарської діяльності на водозборах [156]. Апроксимація отриманих залежностей математичними функціями дозволила отримати узагальнені розрахункові рівняння, названі “функціями антропогенного впливу”. Функції відгуку представляються через «коефіцієнти антропогенного впливу»

$$k_A = \frac{A_f}{A_0}, \quad (4.28)$$

де A_0 – значення того або іншого статистичного параметра річного стоку в природних умовах;

A_f – значення параметра побутового стоку при заданих показниках антропогенного впливу.

У дослідженнях Є.Д. Гопченка та Н.С. Лободи [176] показано, що для зони недостатнього зволоження при втратах поверхневого стоку на додаткове випаровування з поверхні штучних водойм і заборах води на зрошення спостерігається зменшення середніх багаторічних величин річного стоку та зростає мінливість й асиметричність їх статистичного розподілу по мірі збільшення відносних площ f , які знаходяться під впливом водогосподарських перетворень. При зрошуванні водозборів за рахунок річок – донорів надходження зворотних вод з масивів зрошування до русел річок сприяє зростанню середніх багаторічних величин стоку та зменшенню коефіцієнтів варіації й асиметрії.

Оскільки на багатьох водозборах зони недостатнього зволоження розглянуті чинники водогосподарської діяльності впливають на стік річок в комплексі, було запропоновано методику їх сумісного урахування. Сумісна дія m водогосподарських чинників може бути врахована за наступним

рівнянням

$$A_f = A_0[k_1 + k_2 + k_3 \dots + k_m \quad (m - 1)], \quad (4.29)$$

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

Як вже зазначалось, представлена методика оцінок природного та побутового стоку увійшла до складу нормативних документів по розрахунках характеристик стоку України та Молдови [157, 158].

Адекватність стохастичної моделі для визначення побутового річного стоку даним спостережень підтверджується задовільною узгодженістю характеристик побутового стоку, розрахованих за моделлю, із фактичними даними [177, 178].

У теперішній час у басейні Куяльницького лиману зрошування та забезпечення водою населення здійснюється за рахунок підземних вод сарматських водоносних горизонтів, які розташовані глибоко і не приймають участі у формуванні стоку річки. Площі зрошування є незначними, отже, немає необхідності урахування впливу зворотних вод з сільськогосподарських масивів, які зрошуються підземними водами. Таким чином, з розглянутих вище водогосподарських заходів суттєво змінювати річний стік можуть тільки штучні водойми [179].

За наявності на водозборі штучних водойм, з водної поверхні яких формуються втрати на додаткове випаровування, рівняння водогосподарського балансу набуває вигляду [43]

$$Y_{\text{ПОБ},P} = Y_{\text{ПР},P}(1 - f_B) - (E_B - X)_{100 - P} f_B, \quad (4.30)$$

де $Y_{\text{ПОБ},P}, Y_{\text{ПР},P}$ – відповідно побутовий та природний річний стік із заданою забезпеченістю $P\%$, мм;

f_B – сумарна площа водної поверхні штучних водойм, виражена в частках від загальної площі водозборів F ;

X – опади, які випали на загальну водну поверхню ставків і водосховищ;

E_B – сумарне випаровування з водної поверхні ставків і водосховищ.

Для кількісної оцінки впливу додаткового випаровування з водної поверхні штучних водойм на річний стік розроблені “функції відгуку” характеристик стоку на водогосподарське втручання, які мають такий вигляд

$$k'_{\bar{Y}} = e^{-\alpha_{\bar{Y}} f_B}; \quad (4.31)$$

$$k'_{C_v} = e^{\alpha_{C_v} f_B}; \quad (4.32)$$

$$k'_{C_s} = e^{\alpha_{C_s} f_B}, \quad (4.33)$$

де $k'_{\bar{Y}}$, k'_{C_v} , k'_{C_s} – коефіцієнти впливу додаткового випаровування з поверхні штучних водойм на статистичні параметри річного стоку \bar{Y}, C_v, C_s ;

α_A – коефіцієнти інтенсивності антропогенного впливу на статистичний параметр А, які залежать від норми кліматичного стоку \bar{Y}_K .

Остання у наведених формулах виступає як інтегральний показник зволоженості водозборів.

Визначення коефіцієнтів α_A для рівнинних територій відбувається за такими рівняннями

$$\alpha_{\bar{Y}} = 0,767 \bar{Y}_K^{(0.49)}; \quad (4.34)$$

$$\alpha_{C_v} = 0,247 e^{(0.0274 \bar{Y}_K)}; \quad (4.35)$$

$$\alpha_{C_s} = 0,179 e^{(0.0246 \bar{Y}_K)}. \quad (4.36)$$

Коефіцієнт антропогенного впливу, який характеризує втрати на заповнення штучних водойм водою, визначається як відношення

$$\frac{\bar{W}_{\text{ПР}}}{\bar{W}_{\text{ПР}}} \frac{\bar{W}_3}{\bar{W}_{\text{ПР}}} = \frac{W_{\text{ПОБ}}}{W_{\text{ПР}}} = k_{\bar{Y},3}, \quad (4.37)$$

де $\bar{W}_{\text{ПР}}$ – об'єм природного стоку, який надходить до водосховищ або ставків;

\bar{W}_3 – об'єм заповнення;

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

4.4 Установлення ступеня впливу водогосподарської діяльності на водні ресурси річок до початку значущих змін клімату

При оцінках впливу штучних водойм на водні ресурси річок водозбору Куяльницького лиману використовувались дані досліджень ОДЕКУ [76, 111] та матеріали Облводгоспу [58, 78]. Так, по даним досліджень ОДЕКУ,

кількість водойм дорівнювала 135 шт. (див. розділ 2), з загальним об'ємом (при максимальному наповненні) близько 15,6 млн. м³ і площею водної поверхні – 6,26 км² [111].

Сумарна площа водної поверхні штучних водойм, які створені і діють на водозборах річок Великий Куяльник, Довбока та Кубанка дорівнює відповідно 6,23 млн.м²; 0,20 млн.м²; 0,39 млн.м², а об'єми – 15,6 млн.м³; 0,37 млн. м³; 0,97 млн. м³ [118]. Оцінка впливу додаткового випаровування з водної поверхні штучних водойм за рівняннями (4.31-4.37), показала, що цей антропогенний чинник за багаторічний період призводить до зменшення норми річного стоку у межах 10%, що обумовлено невеликою відносною площею водної поверхні, яка у середньому близька до 0,3%. Коефіцієнти антропогенного впливу $k'_{\bar{Y}}$ змінюються в діапазоні 0,93-0,90 (табл.4.4). Більш суттєвими визнані втрати стоку на майже щорічне заповнення штучних водойм, які оцінюються через коефіцієнти антропогенного впливу $k_{\bar{Y},3}$ за рівнянням (4.7). Через малу глибину, значне випаровування з водної поверхні та відсутність протифільтраційних заходів штучні водойми на водотоках Куяльницького лиману пересихають і можуть знаходитися у пересохлому стані протягом декількох років. Оцінка втрат стоку на заповнення штучних водойм виконувалася на основі даних про їх сумарні об'єми для кожної річки окремо. Якщо прийняти, що всі водойми щорічно повністю заповнюються водою (100% заповнення), то вийшло б, що водні ресурси річки Кубанки цілком витрачаються і стік цієї річки мав би дорівнювати нулю (табл.4.4). Зменшення середнього багаторічного річного стоку на річках В.Куяльник та Довбока досягло б 80%. При 50%-му заповненні штучних водойм стік річок В.Куяльник та Довбока знизився б на 50%, а річки Кубанка – на 90% (табл. 4.5). При 25% заповненні штучних водойм коефіцієнти $k_{\bar{Y},3}$ досягали б значень 0,81; 0,80 та 0,61 для річок Великий Куяльник, Довбока та Кубанка, відповідно. Найбільш оптимальними є розрахунки для 40% заповнення штучних водойм. Значення середньої багаторічної величини побутового стоку для р. В.Куяльник – с. Северинівна за період 1953-1988 рр. становило 7,5 мм, яке може бути досягнуте при сумарному коефіцієнті антропогенного впливу $K_{\bar{Y}}$ рівному 0,62. Таке значення коефіцієнту можливо отримати, коли наповнення штучних водойм у середньому за багаторічний період становитиме 40% від їх повного сумарного об'єму (табл. 4.6).

Показано, що за рахунок впливу штучних водойм об'єм припливу вод від річок В.Куяльник, Довбока та Кубанка до Куяльницького лиману зменшився з 21,5 млн.м³ до 13,2 млн.м³, що становило 38%. Наслідки впливу штучних водойм зменшуються у багатоводні і зростають у маловодні роки (табл. 4.7, табл.4.8). Саме через побудову штучних водойм зменшився приплив прісних вод до лиману.

Таблиця 4.4 – Оцінка впливу штучних водойм на водні ресурси річок водозбору Куяльницького лиману при їх 100%-му заповненні в кліматичних умовах минулого сторіччя

Річка	\overline{W}_{PP} , млн.м ³	Об'єм штучних водойм, млн. м ³	f_B , %	Коефіцієнти антропогенного впливу $K_{\bar{Y}}$ при різних чинниках водогосподарської діяльності		
				напов- нення $k_{\bar{Y},3}$	додаткове випаровування $k'_{\bar{Y}}$	сумарний коефіцієнт $K_{\bar{Y}}$
р.В.Куяльник	20,4	15,6	0,33	0,24	0,93	0,17
р.Довбока	0,460	0,37	0,29	0,20	0,92	0,12
р.Кубанка	0,628	0,97	0,29	0,00	0,90	0,00

Таблиця 4.5 – Оцінка впливу штучних водойм на водні ресурси річок водозбору Куяльницького лиману при їх 50%-му заповненні в кліматичних умовах минулого сторіччя

Річка	\overline{W}_{PP} , млн.м ³	Об'єм штучних водойм, млн. м ³	f_B , %	Коефіцієнти антропогенного впливу $K_{\bar{Y}}$ при різних чинниках водогосподарської діяльності		
				напов- нення $k_{\bar{Y},3}$	додаткове випаровування $k'_{\bar{Y}}$	сумарний коефіцієнт $K_{\bar{Y}}$
р.В.Куяльник	20,4	7,8	0,33	0,62	0,93	0,55
р.Довбока	0,460	0,185	0,29	0,60	0,92	0,52
р.Кубанка	0,628	0,485	0,29	0,23	0,90	0,13

Таблиця 4.6 – Оцінка впливу штучних водойм на водні ресурси річок водозбору Куяльницького лиману при їх 40%-му заповненні в кліматичних умовах минулого сторіччя

Річка	\overline{W}_{PP} , млн.м ³	Об'єм штучних водойм, млн. м ³	f_B , %	Коефіцієнти антропогенного впливу $K_{\bar{Y}}$ при різних чинниках водогосподарської діяльності		
				напов- нення $k_{\bar{Y},3}$	додаткове випаровування $k'_{\bar{Y}}$	сумарний коефіцієнт $K_{\bar{Y}}$
р.В.Куяльник	20,4	7,8	0,33	0,70	0,93	0,63
р.Довбока	0,460	0,185	0,29	0,68	0,92	0,60
р.Кубанка	0,628	0,485	0,29	0,38	0,90	0,28

Таблиця 4.7 – Характеристики побутового річного стоку (об'єми) у роки різної водності в кліматичних умовах минулого сторіччя

Річка-пост	Статистичні параметри побутового річного стоку			Побутовий річний стік заданої забезпеченості, млн. м ³					
	\overline{W} , млн. м ³	C_V	C_S	$W_{1\%}$	$W_{5\%}$	$W_{25\%}$	$W_{50\%}$	$W_{75\%}$	$W_{95\%}$
р.В. Куяльник	12,8	1,77	3,02	105	57,4	17,1	3,74	0	0
р.Довбока	0,276	2,61	4,44	3,47	1,61	0,249	0	0	0
р.Кубанка	0,176	5,12	8,71	4,50	0,987	0,221	0	0	0
Сума	13,2	-	-	113	60,0	17,6	3,74	0	0

Таблиця 4.8 – Зменшення припливу прісних вод від річок до Куяльницького лиману за рахунок впливу штучних водойм (%) в кліматичних умовах минулого сторіччя

Річка	Зміни об'ємів припливу прісних вод у роки заданої забезпеченості, %						
	$\Delta \overline{W}$	$\Delta W_{1\%}$	$\Delta W_{5\%}$	$\Delta W_{25\%}$	$\Delta W_{50\%}$	$\Delta W_{75\%}$	$\Delta W_{95\%}$
р.В. Куяльник	-37	-3	-17	-42	-71	-100	-
р.Довбока	-40	-6	-21	-60	-100	-	-
р.Кубанка	-72	-30	-70	-68	-100	-	-

4.5 Кількісні оцінки антропогенного навантаження на водотоки водозбору Куяльницького лиману

4.5.1 Кількісні оцінки показників використання водних ресурсів

Згідно із роботою [150] найбільш інформативними даними про використання водних ресурсів малих річок України є такі: об'єм води, який забирають із річки (W_z , млн. м³); об'єм втрат річкового стоку завдяки відбору підземних вод, які гідравлічно пов'язані із річковою мережею (W_v); фактичний об'єм стоку річки (W_ϕ); об'єм скиду води у річкову мережу (W_c) та об'єм скиду забруднених вод ($W_{з.в.}$). Такі дані можна було отримати лише для р. Великий Куяльник [58].

На підставі цих характеристик визначають 4 показники використання водних ресурсів річок [57]: а) використання стоку річок; б) безповоротного водоспоживання, в) надходження стічних вод у річкову мережу, г) скид

забруднених вод у річку. Дані про безповоротне водоспоживання та надходження стічних вод у річкову мережу відсутні, тому оцінка антропогенного навантаження виконувалася лише за показником використання стоку річок (g_{PC}) та скиду забруднених вод у річку (g_{CB}) за окремі роки

$$g_{PC} = \frac{(\overline{W}_{шт.в.})}{(\overline{W}_{\phi.})} 100\%; \quad (4.38)$$

$$g_{CB} = \frac{(\overline{W}_{з.в.})}{(\overline{W}_{\phi.})} 100\%, \quad (4.39)$$

де $\overline{W}_{шт.в.}$ – об'єм штучних водойм, млн. м³;

$\overline{W}_{\phi.}$ - фактичний об'єм стоку річки за рік, млн. м³;

$\overline{W}_{з.в.}$ - об'єм скиду забруднених вод, млн. м³.

За допомогою спеціальної шкали (табл. 4.9), отримані кількісні показники трансформують у прості оціночні бали стану річки і розраховують складний бал використання водних ресурсів K_{PC} за рівнянням:

$$K_{PC} = \sum_{i=1}^n f_i Y_i, \quad (4.40)$$

де K_{PC} - комплексний показник використання водних ресурсів малої річки;

f_i - вагові коефіцієнти, які визначаються експертним методом;

Y_i - значення окремих показників (у балах) використання водних ресурсів стоку річок.

Результати розрахунку g_{PC} (табл. 4.10) свідчать про те, що суттєве навантаження на р. Великий Куяльник відбувається через втрати води на заповнення штучних водойм. Для природного стоку g_{PC} дорівнює 76%, для побутового – 100% , що відповідає категорії стану «катастрофічний» за ступенем використання водних ресурсів

Показник скиду забруднених вод у р. Великий Куяльник (g_{CB} , %) (табл. 4.11) був взятий з Екологічного паспорту Одеського регіону за 2016 рік [180]. Для природного стоку g_{CB} дорівнює 1,82% та відповідає категорії «задовільно», для побутового стоку g_{CB} дорівнює 2,91%, що відповідає стану «незадовільно» (табл. 4.12).

Таблиця 4.9 – Шкала критеріїв оцінки малої річки за ступенем використання її водних ресурсів

Показник	Градациї простих балів				
	1	2	3	4	5
Використання стоку річки (g_{PC})	>20	20-16	15-11	10-6	<6
Скиду забруднених вод у річку (g_{CB})	>10	10-6	5-3	2-1	<1
Оцінка в балах (прості бали)	-5	-3	-1	1	3
Якісна характеристика стану	а) катастро- фічний	б) дуже незадо- вільний	в) незадо- вільний	г) задовільний	д) добрий

Таблиця 4.10 – Оцінка антропогенного навантаження на річку Великий Куяльник за ступенем регулювання штучними водоймами

Річка	Річний стік (об'єм), \bar{W}_{Φ} , млн. м ³	Об'єм штучних водойм, $\bar{W}_{ШТ.В.}$, млн. м ³	Показник викорис- тання стоку річок, g_{PC} , %	Якісна харак- теристика стану в балах	Стан річки
Природний стік					
В.Куяльник	20,4	15,6	76	-5	катастроф
Побутовий стік					
В.Куяльник	12,8	15,6	100	-5	катастроф

Для природного стоку р. Великий Куяльник $K_{PC} = -0,1$, категорія (в)–“незадовільний” стан; для побутового стоку $K_{PC} = -0,9$, також категорія (в)–“незадовільний” стан.

Таблиця 4.11 – Скидання зворотних вод та забруднюючих речовин водокористувачем КВЕП «Котовськ-водоканал» у річки Тилігул та Куяльник

2012 р.		2013 р.		2014 р.		2015 р.	
об'єм скидів зворотних вод, млн. м ³	обсяг забруднюючих речовин, т	об'єм скидів зворотних вод, млн. м ³	обсяг забруднюючих речовин, т	об'єм скидів зворотних вод, млн. м ³	обсяг забруднюючих речовин, т	об'єм скидів зворотних вод, млн. м ³	обсяг забруднюючих речовин, т
0,864	1179,75	0,782	837,0	0,6913	759,81	0,64	149,83

Таблиця 4.12 – Оцінка антропогенного навантаження на водотоки водозбору Куяльницького лиману за показником скиду забруднених вод

Річка	Фактичний річний стік (об'єм), \overline{W}_ϕ , млн. м ³	Об'єм скидів забруднених вод, \overline{W}_3 , млн. м ³	Показник використання стоку річок, g_{CB} , %	Якісна характеристика стану в балах	Стан річки
Природний стік					
В.Куяльник	20,4	0,372	1,82	1	задовільний
Побутовий стік					
В.Куяльник	12,8	0,372	2,91	-1	незадовільний

Коефіцієнт впливу додаткового скиду вод на природний та побутовий стік річки можна оцінити через відповідні коефіцієнти:

$$K_{CK_{IP.}} = \frac{W_{IP} + W_{CK}}{W_{IP}}, \quad (4.41)$$

$$K_{CK_{POB.}} = \frac{W_{POB} + W_{CK}}{W_{POB}}, \quad (4.42)$$

де $K_{CK_{IP.}}$ - коефіцієнт впливу скидання вод на природний стік;

W_{IP} - природний річний стік, млн. м³;

W_{CK} - об'єм скидів, млн. м³;

$K_{СК_{ПОБ.}}$ - коефіцієнт впливу скидання вод на побутовий стік;

$W_{ПОБ}$ - побутовий річний стік, млн. м³.

Для р. Великий Куяльник $K_{СК_{ПР.}} = 1,02$, $K_{СК_{ПОБ.}} = 1,03$.

Таким чином, р. Великий Куяльник знаходяться у незадовільному стані. Найбільше навантаження на річний стік відбувається через вплив штучних водойм. Якщо оцінювати антропогенне навантаження через показник g_{PC} , то стан річок виявляється катастрофічним, особливо для побутового стоку (коли об'єм штучних водойм більше побутового стоку річки, $g_{PC} = 100\%$).

4.5.2 Кількісна оцінка впливу розораності та урбанізованості

На формування стоку річок впливає розораність території водозбору. Значення коефіцієнту впливу агротехнічних заходів встановлювалися за методикою, запропонованою вченими Молдови, які сумісно з науковцями ОДЕКУ розробляли методи оцінки характеристик стоку в умовах значного антропогенного впливу [158]:

$$\psi_{at} = \frac{\bar{Y}_{ПОБ}}{\bar{Y}_{ПР}} = 1 - 10^{-2} \Delta_{at}, \quad (4.43)$$

де ψ_{at} - коефіцієнт впливу агролісомеліорацій;

$\bar{Y}_{ПОБ}$ - норма побутового стоку, яка утворилася під впливом агролісомеліорацій;

$\bar{Y}_{ПР}$ - норма природного річного стоку, являє собою водні ресурси незмінені антропогенними факторами і встановлюється як добуток норми кліматичного стоку на значення перехідного коефіцієнту;

Δ_{at} - зменшення норми природного стоку, у % (встановлюється за таблицею 4.13).

Таблиця 4.13 – Зменшення норми природного стоку під впливом розораності водозбору

Розораність водозбору, %	60-70	25-50	5-15
Зниження норми природного стоку, Δ_{at} , %	6,1	5,4	3,9

Для річки Великий Куяльник встановлені наступні характеристики (табл. 4.14).

Таблиця 4.14 – Оцінка коефіцієнту впливу розораності (агролісомеліорацій) на середню багаторічну величину стоку р. Великий Куяльник

Назва водотоку	Розораність, %	Зниження норми природного стоку, Δ_{at} , %	Коефіцієнт впливу агролісомеліорацій ψ_{at}
р.В. Куяльник	61,27	6,1	0,94

Урбанізованість територій залежить від утворення значних водонепроникних площ. За умови, що відсутні додаткові атмосферні опади над урбанізованою територією, підземне живлення та відсутність перекиду стоку з інших басейнів, зміну середньої багаторічної величини річного стоку було оцінено за такою формулою [158]:

$$\Delta Y_{ur} = \bar{Y}_{PP} \psi_{\eta} f_{ur}, \quad (4.44)$$

де ΔY_{ur} - зміни річного стоку за рахунок урбанізації;

ψ_{η} - коефіцієнт, який залежить від долі непроникних площ;

f_{ur} - доля площі урбанізованої території.

Параметри ψ_{η} , f_{ur} встановлюються за таблицею 4.15.

Таблиця 4.15 – Значення коефіцієнта ψ_{η}

f_{ur}	0	0,05	0,10	0,30	0,50
ψ_{η}	1,00	1,15	1,30	1,8	2,30

Коефіцієнт антропогенного впливу, який відображає наслідки урбанізації при формуванні стоку з водозборів, визначався наступним чином

$$k_{ur} = 1 + \psi_{ur} f_{ur}, \quad (4.45)$$

$$\text{де } k_{ur} = \frac{\bar{Y}_{\text{ПР}} + \Delta \bar{Y}_{ur}}{\bar{Y}_{\text{ПР}}};$$

ψ_{η} - коефіцієнт, який залежить від долі непроникних площ;

f_{ur} - доля площі, зайнятою урбанізованою територією.

На жаль, серед водотоків Куяльницького лиману матеріали про ступінь урбанізації отримані лише для р. Великий Куяльник (табл. 4.16).

Таблиця 4.16 – Змінення норми природного стоку р. Великий Куяльник під впливом урбанізованості водозбору

Назва водотоку	Урбанізованість водозбору, %	f_{ur}	ψ_{η}	k_{ur}
р. В. Куяльник	6,97	0,07	1,21	1,08

Сумарний коефіцієнт антропогенного впливу за виділеними чинниками встановлювався за формулою [158]

$$Y_{\text{ПОВ}} = Y_{\text{ПР}} \{k_{\bar{Y},3} + k_{\bar{Y}}^l + \psi_{at} + k_{ur} + k_{СК} - 4\}, \quad (4.46)$$

де $k_{\bar{Y},3}$ - коефіцієнт заповнення штучних водой;

$k_{\bar{Y}}^l$ - коефіцієнти впливу втрат на додаткове випаровування з водної поверхні;

ψ_{at} - коефіцієнт впливу агролісомеліорацій (розораності);

k_{ur} - коефіцієнт впливу урбанізованості водозбору;

$k_{СК}$ - коефіцієнт скидання вод.

Сумарний коефіцієнт антропогенного впливу дорівнює 0,67 (табл.4.17). Основну його частину складає вплив штучних водойм, що визначається коефіцієнтом втрат на заповнення водойм $k_{\bar{Y},3}$ та коефіцієнтом втрат на додаткове випаровування з їх водної поверхні. Сумарна їхня дія оцінюється коефіцієнтом 0,63. Вплив урбанізованості та скиду вод перекривається наслідками розораності поверхні водозбору. Таким чином, основним антропогенним чинником на водозборі р. Великий Куяльник слід визнати вплив штучних водойм. Оскільки на інших водотоках водозбору Куяльницького лиману зберігається така сама водогосподарська ситуація, у подальшому при оцінках побутового стоку розглядалися саме наслідки впливу штучних водойм.

Таблиця 4.17 – Коефіцієнти антропогенного впливу

Вид антропогенної діяльності	Коефіцієнти антропогенного впливу
Втрати на заповнення штучних водойм (при 40% заповненні їх загального об'єму), $k_{\bar{Y},3}$	0,70
Втрати на додаткове випаровування з водної поверхні штучних водойм, $k'_{\bar{Y}}$	0,93
Вплив агролісомеліорацій, ψ_{at}	0,94
Впливу урбанізованості водозбору, k_{ur}	1,08
Скидання вод, $K_{СК ПР.}$	1,02
Сумарний коефіцієнт антропогенного впливу	0,67

5 ОЦІНКА ВОДНИХ РЕСУРСІВ РІЧОК, ЯКІ ЖИВЛЯТЬ ЛИМАН, ЗА ДАНИМИ СЦЕНАРІЇВ ЗМІН КЛІМАТУ

5.1 Сценарії змін клімату

Дослідження майбутніх змін клімату на території України є дуже важливим для раціонального планування економічних та соціальних аспектів життя в Україні у XXI столітті [3].

Для оцінки наслідків зміни клімату необхідна інформація про те, як кліматичні характеристики, соціально-економічний розвиток та інші чинники навколишнього середовища будуть поводитися в майбутньому. Це викликає потребу у розробці сценаріїв (правдоподібних і в багатьох випадках спрощених описів можливого майбутнього, заснованих на низці взаємно узгоджених припущень або на системі робочих гіпотез щодо можливого розвитку суспільства і наслідків цього розвитку для клімату [181]).

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

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

GISS - модель Інституту Годдарда з космічних досліджень, чутливість до подвоєння CO_2 якої становить $4,2^\circ\text{C}$, рік розрахунків – 1982;

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

CCSM - модель Канадського кліматичного центру, чутливість до подвоєння CO_2 - $3,5^\circ\text{C}$, рік розрахунків – 1989;

UKMO - модель Метеорологічного бюро Об'єднаного Королівства, чутливість до подвоєння CO_2 - $3,5^\circ\text{C}$, рік розрахунків – 1989.

За вказаними моделями різними авторами виконувалися оцінки змін клімату України, наведені в [182]. Ці моделі в більшості своїх реалізацій мали недостатню роздільну здатність, тому вони не були придатні для досліджень регіональних особливостей кліматичних змін в Україні.

В 2000 р. Міжурядовою групою експертів зі змін клімату було опубліковано «Спеціальну доповідь по сценаріях викидів» (СДСВ) [183].

Описані в доповіді сценарії відображають різні варіанти розвитку подій. Вони враховують демографічні, економічні та науково-технічні чинники, а також зумовлені цими чинниками викиди парникових газів. Сценарії СДСВ згруповані (рис. 5.1) у чотири сюжетні лінії (A1, A2, B1 і B2) [184].

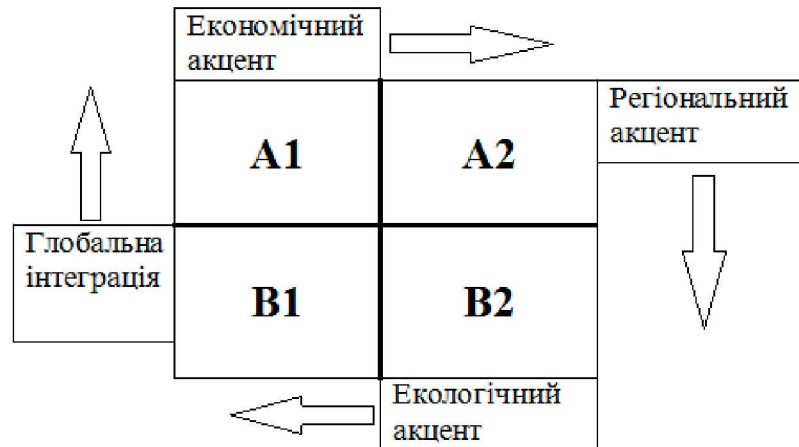


Рисунок 5.1 – Сюжетні лінії СДСВ

Сюжетна лінія і сценарна родина A1 описує орієнтований на ринок світ, який характеризується найбільш швидким економічним ростом. Пік кількості населення за цим сценарієм має бути досягнутим у 2060 р., а потім цей показник піде на спад. Основними темами сценарної родини A1 є поступове зближення різних регіонів, зміцнення потенціалу та активізація культурних і соціальних взаємозв'язків при значному зменшенні регіональних відмінностей в доході на душу населення. Лінія A1 поділяється на три групи, які описують альтернативні напрямки технологічного прогресу: інтенсивне використання викопних видів палива (A1F), енергетичні ресурси без викопних видів палива (A1T) та рівновага за усіма джерелами (A1B).

Сюжетна лінія і сценарна родина A2 описує різнобарвний світ. Економіка за цим сценарієм є регіонально орієнтованою. Зростання економіки в розрахунку на душу населення і технологічні зміни є найбільш фрагментарними й найповільнішими в порівнянні з іншими сюжетними лініями. Передбачається постійне збільшення населення. Головною темою сценарної родини A2 є самозабезпечення із збереженням місцевої самобутності.

Сюжетна лінія і сценарна родина B1 описує світ, який рухається в одному напрямку, з тим же самим глобальним населенням, яке досягає максимальної чисельності в середині XXI століття, а потім зменшується, як і в сюжетній лінії A1, однак при більш швидких змінах в економічних структурах у напрямку сервісної та інформаційної економіки. Головна увага у сюжетній лінії B1 приділяється глобальним питанням досягнення

економічної, соціальної й екологічної стабільності, але без додаткових ініціатив, пов'язаних з кліматом. Впроваджуються чисті та ресурсозберігаючі технології.

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

Сценарій зміни клімату A1B реалізований в регіональній кліматичній моделі REMO, яка розроблена в Інституті метеорології імені Макса Планка в Гамбурзі, Німеччина. REMO об'єднує колишню чисельну модель прогнозу погоди EUROPA-MODEL [185] для розрахунків термодинамічних характеристик і блоку глобальної кліматичної моделі ECHAM4 [186].

В основі сценарію A2 лежить регіональна модель RCA, яка розроблялася в Центрі Росбі (Швеція) з 1997 року. Базовою моделлю для неї була модель прогнозу погоди HIRLAM. У новій версії моделі RCA3 було значно поліпшено представлення підстильної поверхні [187].

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

Великою перевагою цих сценаріїв є вільний доступ до результатів модельних розрахунків в мережі Інтернет [188].

У 2013 р. Міжнародна група експертів зі змін клімату опублікувала П'яту «Спеціальну доповідь по сценаріях викидів» (СДСВ) [189], в якій були представлені нові кліматичні сценарії – так звані «характерні траєкторії змін концентрації» (Representative Concentration Pathways – RCP) парникових газів в атмосфері. Вони задають зміни середнього вмісту парникових газів в атмосфері Землі в часі в залежності від передбачуваної динаміки викидів парникових газів та інших факторів. Чотири описані в доповіді траєкторії RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 та RCP8.5 базуються на розгляді різниці додатного та від'ємного випромінювання в системі Земля-атмосфера до кінця XXI сторіччя у порівнянні із допромисловим періодом, які становлять відповідно, 2.6, 4.5, 6.0, 8.5 Вт/м² для кожного сценарію [190]. Для реалізації RCP2.6 глобальні викиди парникових газів повинні почати зменшуватись після 2010-2020 рр. Сценарій RCP4.5 припускає зниження викидів з 2040 р., а RCP6.0 – з 2070 р. Згідно із сценарієм RCP8.5 викиди повинні зростати протягом усього сторіччя.

5.2 Обґрунтування вибору регіонального кліматичного сценарію для оцінки змін водних ресурсів в межах водозбору Куяльницького лиману

Для визначення можливих змін клімату та водних ресурсів в басейні Куяльницького лиману у XXI сторіччі розглядалися сценарні родини A1B та A2. У межах міжнародного дослідницького проекту 7-ої Рамкової Програми ЄС «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 [40] для Тилігульського лиману, оцінка відповідності кліматичних сценаріїв даним метеорологічних спостережень була зроблена В.М. Хохловим для 15 сценаріїв змін клімату, які розглядалися у проекті ENSEMBLES [191]. Як базові були використані дані спостережень на метеостанції Любашівка за період 1998-2007 рр. Установлено, що “помірний” сценарій зміни клімату A1B, реалізований в регіональній кліматичній моделі REMO, і представлений як сценарій M10, найкращим чином описує зміни кліматичних чинників.

При оцінках водних ресурсів водозбору Куяльницького лиману були розглянуті ретроспективні сценарні (модель REMO з гілки сценаріїв A1B та модель RCA3 із гілки сценаріїв A2) та фактичні дані на метеорологічних станціях Одеса, Роздільна, Затишся, Любашівка за 1951-2012 рр. й 1989-2012 рр. [192].

Процедура вибору моделі, яка найбільш адекватно відображає фактичну метеорологічну інформацію, має таку послідовність.

Розрахунки середньомісячних температур повітря (MT) та середніх місячних сум опадів (MP) для досліджуваного періоду за спостереженими й сценарними даними надавались за такими формулами

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

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

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

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

де P – місячна сума опадів;

T – середньомісячна температура повітря;

N – кількість років у досліджуваному періоді $i = 1 \div 12$ – індекс місяця року (1 – січень, ..., 12 – грудень);

$m = 1 \div 15$ – індекс модельного сценарію;

0 – індекс, який позначає спостережені метеорологічні дані.

Розрахунки різниць між середніми значеннями опадів (MP_m) і температур (MT_m) повітря виконувалися таким чином

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

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

де $DMP_{m,i}$, $DMT_{m,i}$ – щомісячні різниці між характеристиками, отриманими за сценаріями та даними спостережень.

Визначення критеріїв відповідності сценарних та спостережених даних по опадах ($ADMP_m$) та температурах повітря ($ADMT_m$) відбувалось на основі вищенаведених метеорологічних параметрів таким чином:

$$ADMP_m = \frac{\sum_{i=1}^{12} \left| \frac{DMP_{m,i}}{MP_{0,i}} * 100\% \right|}{12}, \quad (5.7)$$

$$ADMT_m = \frac{\sum_{i=1}^{12} |DMT_{m,i}|}{12}. \quad (5.8)$$

Чим менша різниця, яка представляється критеріями $ADMP_m$ та $ADMT_m$, тим більше відповідність сценарних та фактичних даних. Аналіз отриманих критеріїв показав, що сценарій A1B у більшій мірі відповідає фактичним даним (табл. 5.1, 5.2). При використанні даних з 1989 р., як переламного у хронологічному ході температур повітря на території України, відповідність сценарних та фактичних даних по температурах повітря покращується

(табл. 5.2). Аналіз осередненого за досліджуваний період внутрішньорічного ходу середніх місячних сум опадів (MP_m) та температур повітря (MT_m), показав, що обидва сценарії описують внутрішньорічний розподіл температур повітря набагато краще ніж розподіл сум опадів (рис. 5.2, 5.3). Найгірші результати отримані для метеостанції Одеса, що може бути пояснено впливом атмосферних процесів, які формуються над акваторією Чорного моря. У внутрішньорічному ході сум опадів за сценарієм A2 є прояви асинхронності коливань сценарних і фактичних характеристик у весняні та осінні місяці (рис. 5.3).

Таблиця 5.1 – Значення критеріїв $AMDP_m$ та $AMDT_m$ для опадів та температур повітря за період 1951-2012 рр.

Метео-станція	A1B		A2	
	$AMDP_m$, %	$AMDT_m$, °C	$AMDP_m$, %	$AMDT_m$, °C
Одеса	14,9	1,32	17,8	1,20
Роздільна	17,1	1,25	21,9	1,21
Затишшя	13,0	1,18	20,1	1,25
Любашівка	16,1	1,24	21,8	1,28
Середнє	15,3	1,25	20,4	1,24

Таблиця 5.2 – Значення критеріїв $AMDP_m$ та $AMDT_m$ для опадів та температур повітря за період 1989-2012 рр.

Метеостанція	A1B		A2	
	$AMDP_m$, %	$AMDT_m$, °C	$AMDP_m$, %	$AMDT_m$, °C
Одеса	19,9	1,09	23,5	1,0
Роздільна	22,8	0,99	26,5	0,87
Затишшя	19,0	0,91	20,8	0,82
Любашівка	24,9	0,89	26,1	0,75
Середнє	21,6	0,98	24,2	0,86

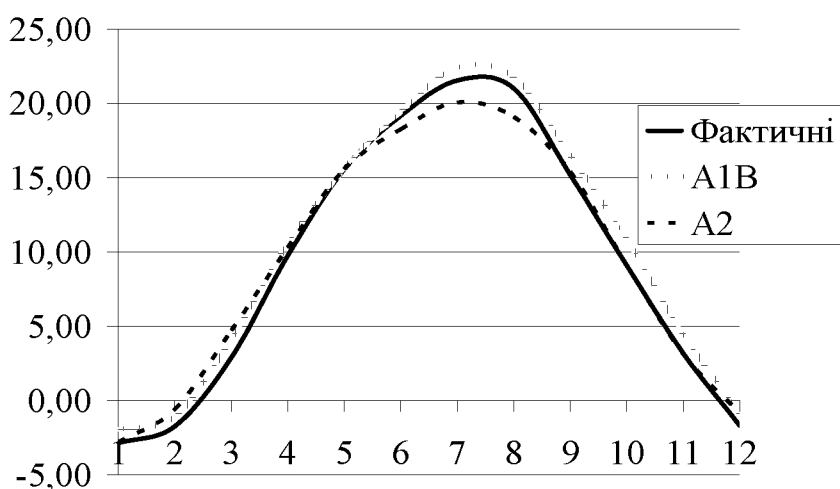


Рисунок 5.2 – Осереднений внутрішньорічний хід середніх місячних температур повітря, за сценаріями A1B, A2 та за даними спостережень для періоду 1989-2012 рр. на метеостанції Любашівка (вісь X – місяць року, Y – температура, °C).

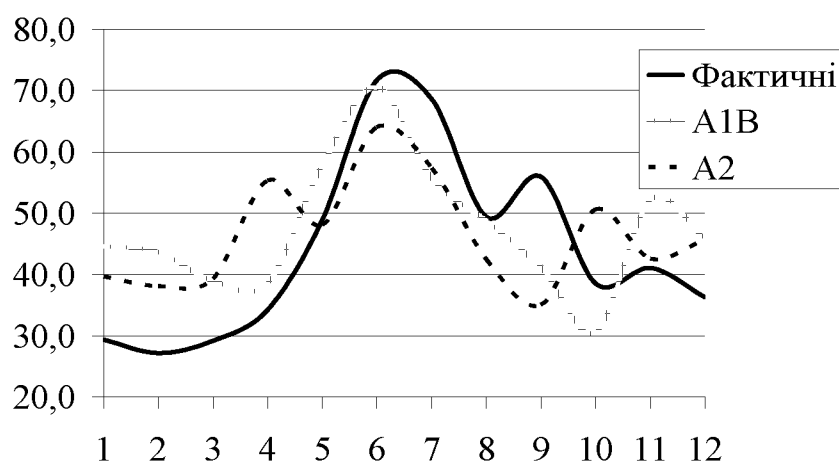


Рисунок 5.3 – Осереднений внутрішньорічний хід сум місячних опадів за сценаріями A1B, A2 та за даними спостережень для періоду 1989-2012 рр. на метеостанції Любашівка (вісь X – місяць року, Y – опади, мм).

При порівнянні характеру коливань фактичних та сценарних метеорологічних даних за допомогою різницевої інтегральних кривих, виявлено, що хід розглянутих метеорологічних характеристик за сценарієм A1B більше відповідає реальним значенням ніж за A2 (рис. 5.4). Особливо це стосується температур повітря (рис. 5.5).

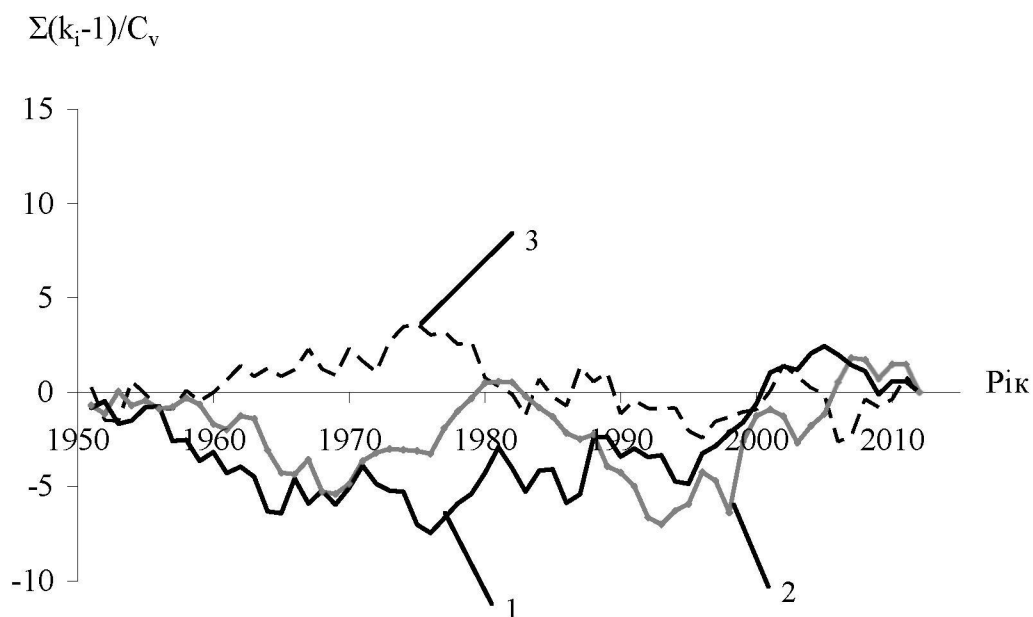


Рисунок 5.4 – Різницево-інтегральні криві середніх річних сум опадів на метеостанції Затишшя, 1951-2012 рр. (1 – за спостереженими даними, 2 – за даними сценарію A1B, 3 – за даними сценарію A2)

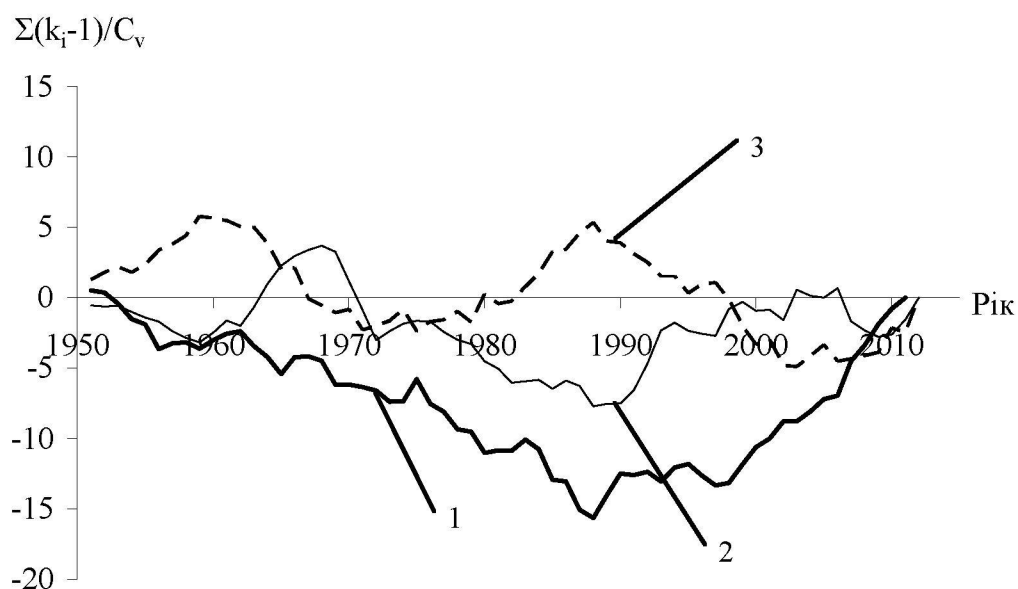


Рисунок 5.5 – Різницево-інтегральні криві середніх річних температур повітря на метеостанції Любашівка, 1951-2012 рр. (1 – за спостереженими даними, 2 – за даними сценарію A1B, 3 – за даними сценарію A2)

5.3 Методологія оцінки природних водних ресурсів за моделлю «клімат–стік» на основі сценаріїв змін клімату

Структура рівнянь водно-теплогового балансу, представлених у вигляді (4.15) для багаторічного періоду або у вигляді (4.13) для місячних або сезонних інтервалів часу є придатною для визначення кліматичного та природного стоку на основі метеорологічних даних, які надаються у сучасних кліматичних сценаріях.

Рівняння водно-теплогового балансу для розрахунків кліматичного стоку по місяцях та сезонах за даними кліматичних сценаріїв має вигляд

$$Y'_K = X' + (w_1 - w_2)' - E'_m \left[1 + \left(\frac{X' + (w_1 - w_2)'}{E'_m} \right)^{-n} \right]^{-\frac{1}{n}}, \quad (5.9)$$

де Y'_K – значення кліматичного стоку за розрахунковий період в умовах змін клімату, мм;

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

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

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

При переході до багаторічного періоду структура рівняння водно-теплогового балансу відповідає рівнянню (4.15)

$$\bar{Y}'_K = \bar{X}' - \bar{E}'_m \left[1 + \left(\frac{\bar{X}'}{\bar{E}'_m} \right)^{-n} \right]^{-\frac{1}{n}}, \quad (5.10)$$

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

\bar{E}'_m – середня багаторічна величина максимально можливого випаровування в умовах змін клімату, яка визначається за сценарними температурами повітря з використанням (4.17), мм;

\bar{X}' – середня багаторічна величина річних сум опадів у вихідних умовах, мм.

Числові експерименти, виконані на основі рівняння водно-теплового балансу, показали, що зміна середніх багаторічних величин кліматичного стоку стає значущою, тобто перевищує точність розрахунку даної величини, при зміні річних опадів на $\pm 3,5\%$ або при зміні сум середніх місячних температур повітря за період червень-серпень на $\pm 2,5^\circ\text{C}$ [193]. Передбачувані сценаріями Всесвітньої метеорологічної організації (ВМО) зміни метеорологічних характеристик, як правило, перевищують установлені межі й, отже, модель “клімат–стік” може успішно застосовуватись для прогнозування стану водних ресурсів України за різними сценаріями змін глобального клімату [194, 195].

У сучасних математичних моделях загальної циркуляції атмосфери і океану, які пов'язуються із типом розвитку суспільства, надається просторовий розподіл у вузлах регулярної сітки, яка з роками стає більш детальною. За сценаріями для кожного вузла надаються дані про середні місячні опади, температури повітря по місяцях та вологість ґрунту. Така інформація дозволяє виконувати розрахунки стоку по роках, місяцях та сезонах.

5.4 Можливі зміни кліматичних чинників за сценаріями глобального потепління

Дослідження, виконані за сценарієм A1B для вузлів сітки, які відповідають положенню метеорологічних станцій Одеса, Любашівка, Затишшя, Роздільна, дозволили установити існування статистично значущих додатних трендів у ході річних значень температури повітря, а також температур теплого та холодного періодів (рис. 5.6, 5.7, 5.8). Перехід лінії регресії, яка апроксимує хід середніх температур повітря холодного періоду, через нуль градусів відбувається близько 2030 року. Це означає, що після 2030 року умови для накопичення запасів води у сніговому покриві перед початком весняного водопілля та промерзання ґрунту погіршаться.

При аналізі хронологічного ходу сум опадів за рік, теплий та холодний періоди, наведених у цьому сценарії, для всього розглянутого періоду (1951-2100 рр.) певних тенденцій до змін не виявлено, але у окремі часові інтервали можна виділити статистично значущі тренди: 2021-2030 рр. – зменшення річних сум опадів; 2031-2047 рр., 2048-2072 рр. – зростання, що відбуватиметься більш інтенсивно у десятиріччя 2031-2047 рр., як це показано на рис. 5.9.

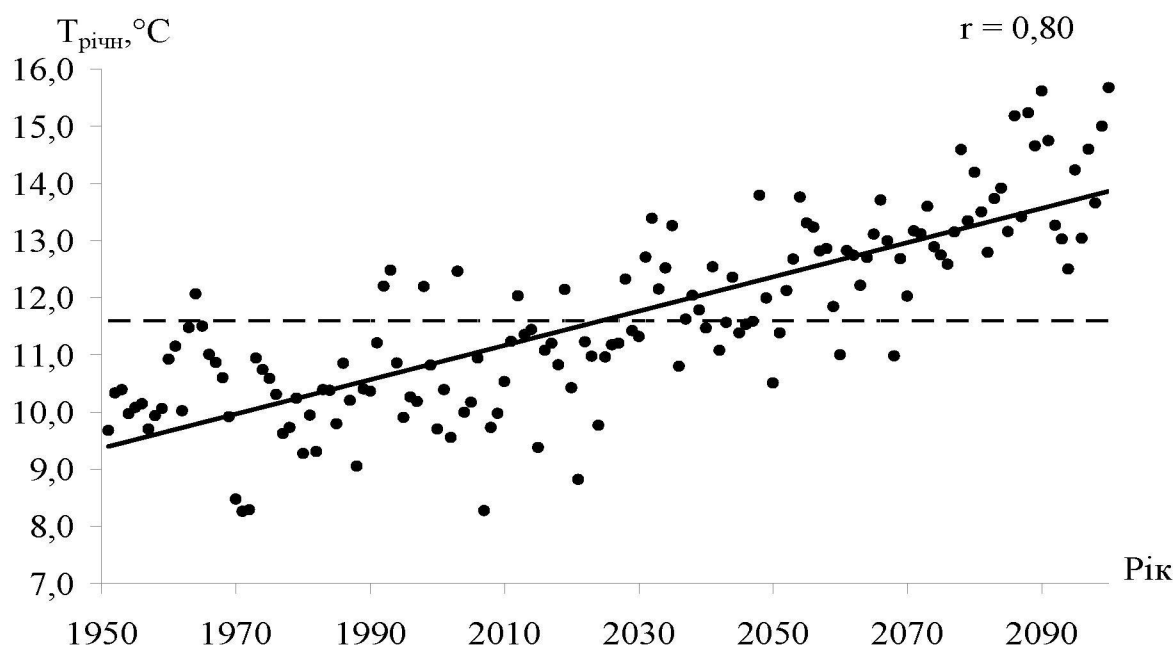


Рисунок 5.6 – Хронологічний хід річної температури повітря за сценарієм A1B, метеостанція Затишшя, 1951-2100 рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренда)

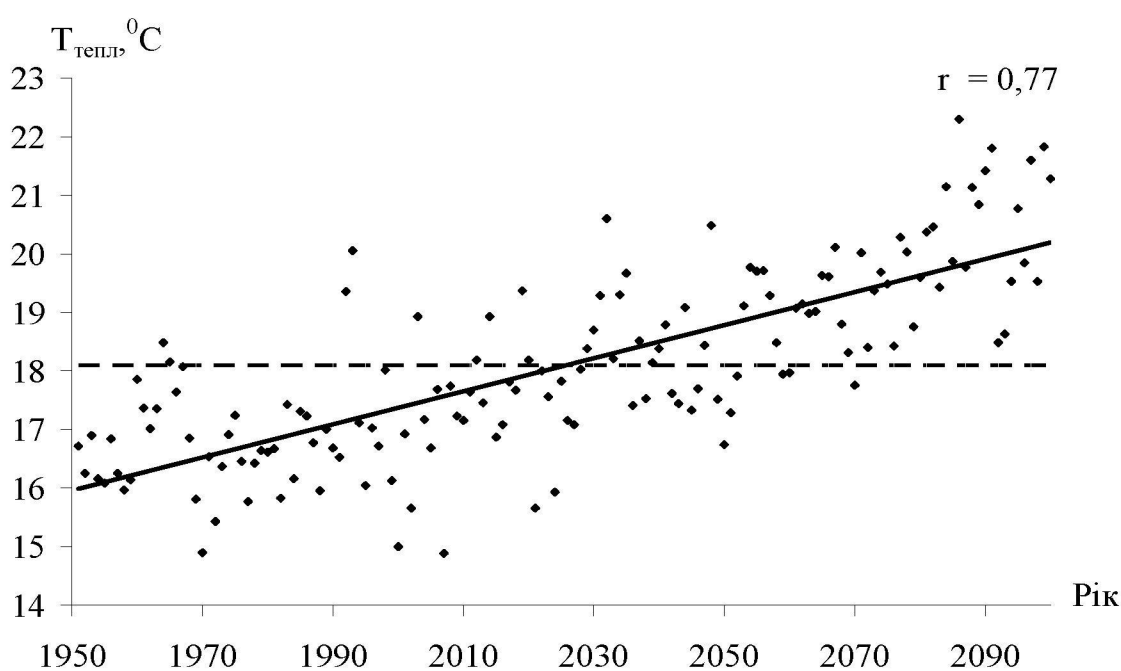


Рисунок 5.7 – Хронологічний хід температури повітря теплого періоду (IV–X) за сценарієм A1B, метеостанція Затишшя, 1951-2100 рр. (--- середнє багаторічне значення, — лінія тренда)

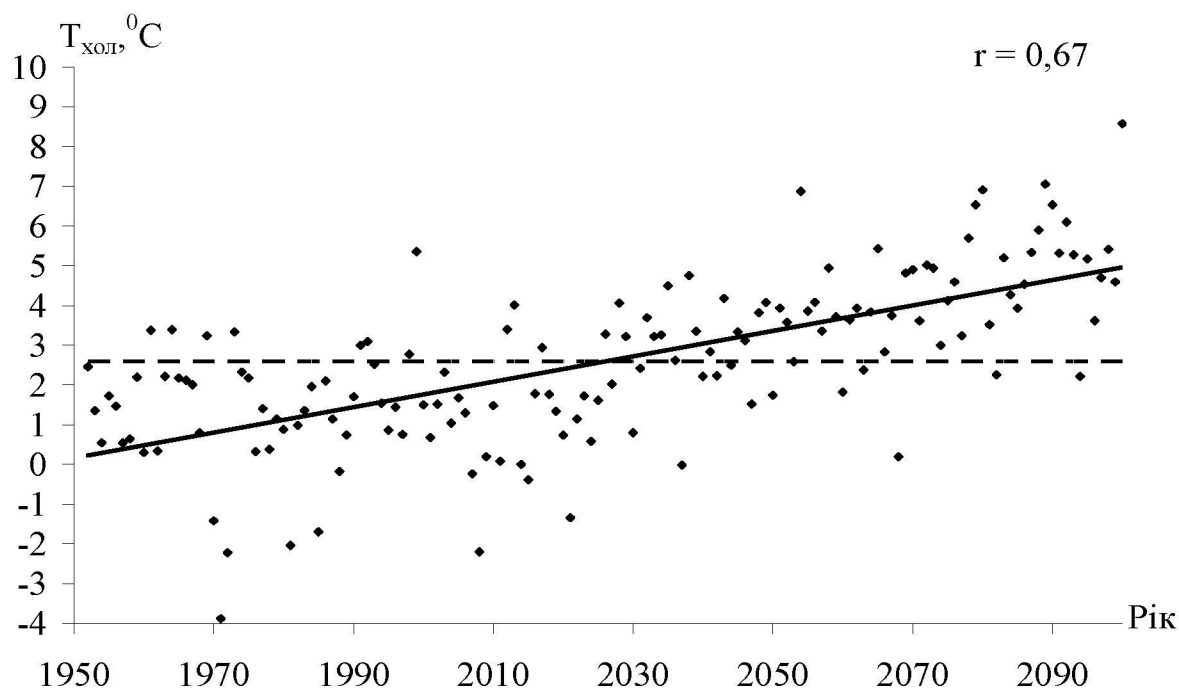


Рисунок 5.8 – Хронологічний хід температури повітря холодного періоду (XI-III) за сценарієм A1B, метеостанція Затишшя, 1951-2100 рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренду)

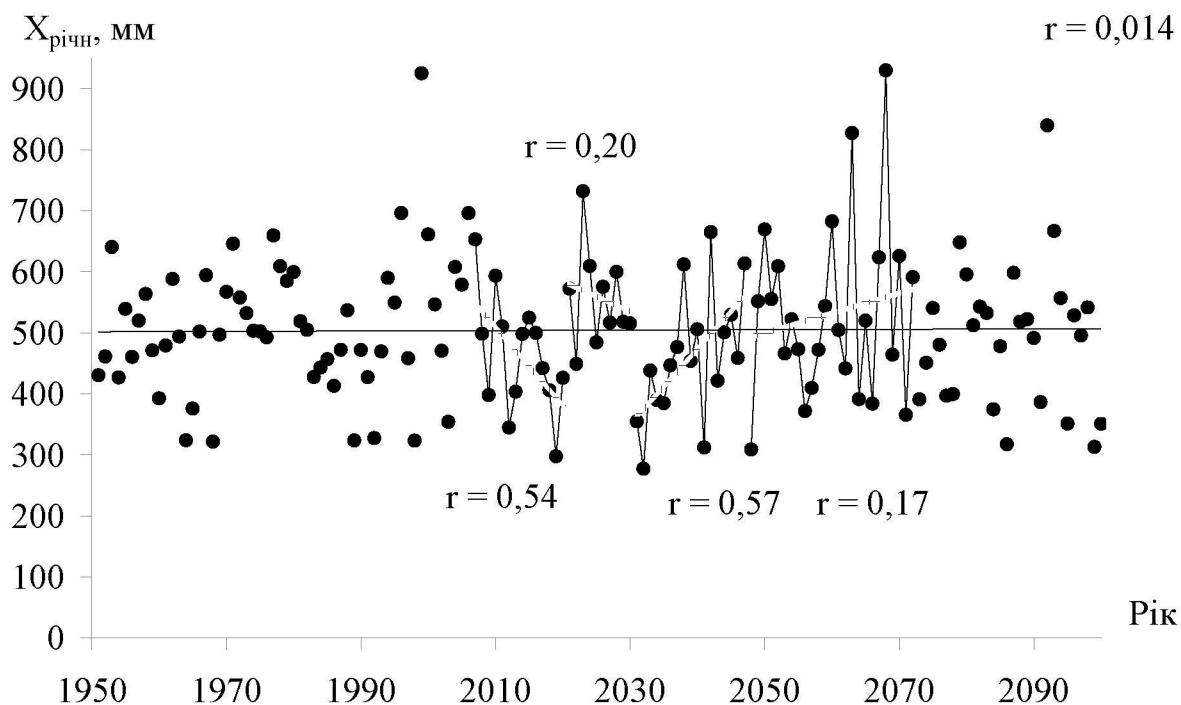


Рисунок 5.9 – Хронологічний хід річних опадів за сценарієм A1B, метеостанція Затишшя, 1951-2100 рр. (— лінія тренда, яка співпадає із середнім багаторічним значенням)

Згідно сценарію A2, на всій території Північно-Західного Причорномор'я прогнозується зростання річних значень температури повітря, а також температур теплого та холодного періодів. З графіків хронологічного ходу середніх річних температур повітря, побудованих за сумісний період спостережень (рис. 5.10), видно, що за сценарієм A1B зростання температур повітря відбуватиметься більш інтенсивно ніж за сценарієм A2.

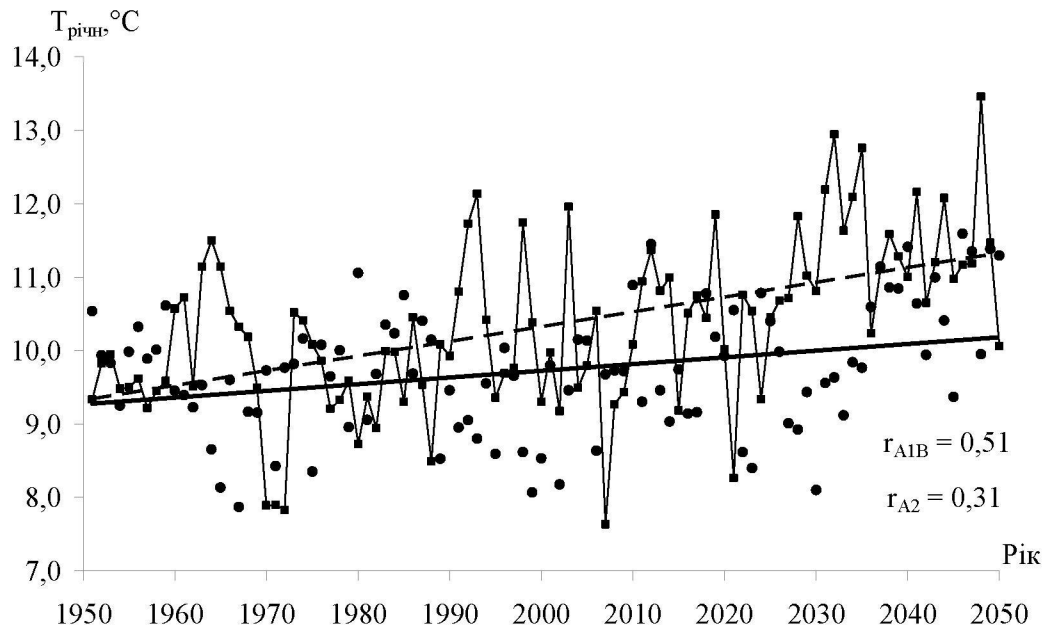


Рисунок 5.10 – Хронологічний хід середньої річної температури повітря за даними сценаріїв A1B та A2 по метеорологічній станції Любашівка (— лінія тренду за A2, - - - лінія тренду за A1B) за період 1951-2050 рр.

Статистично значущих трендів у багаторічних змінах річних сум опадів, сум опадів теплого та холодного періодів для сценарію A2 також не виявлено. При розгляді довготривалого періоду 1951-2050 рр., встановлено, що на протязі 2007-2023 рр. можливе збільшення річних сум опадів, а у 2024-2040 рр. – їх зменшення.

Для аналізу закономірностей коливань річних сум опадів та температур повітря на водозборі Куяльницького лиману та прилеглих до нього територій за сценаріями глобального потепління A1B та A2 були побудовані різницево-інтегральні криві (рис. 5.11, 5.12). За сценарієм A1B у період 1951-2100 рр. температура повітря буде знаходитися у додатній фазі з 2027 р. (рис. 5.11). Аналіз коливань річних сум опадів показав, що зволоженими є періоди 1993-2007 рр., 2020-2030 рр., 2049-2072 рр., маловодними – 2008-2019 рр., 2031-2048 рр., 2073-2091 рр. (рис. 5.12). Від’ємні та додатні фази утворюють повні цикли водності.

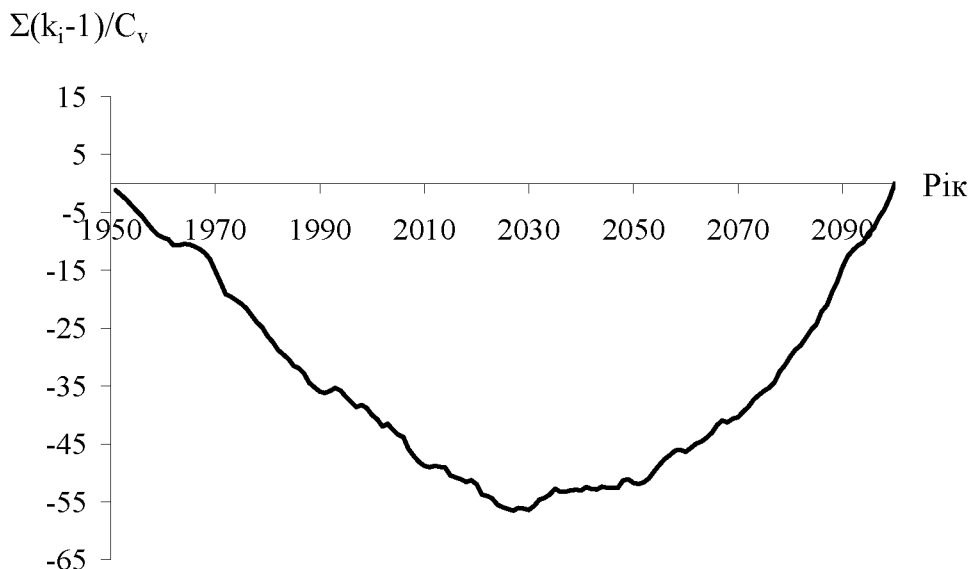


Рисунок 5.11 – Різницево-інтегральна крива річних температур повітря за даними сценарію A1B на метеостанції Затишшя, 1951-2100 рр.

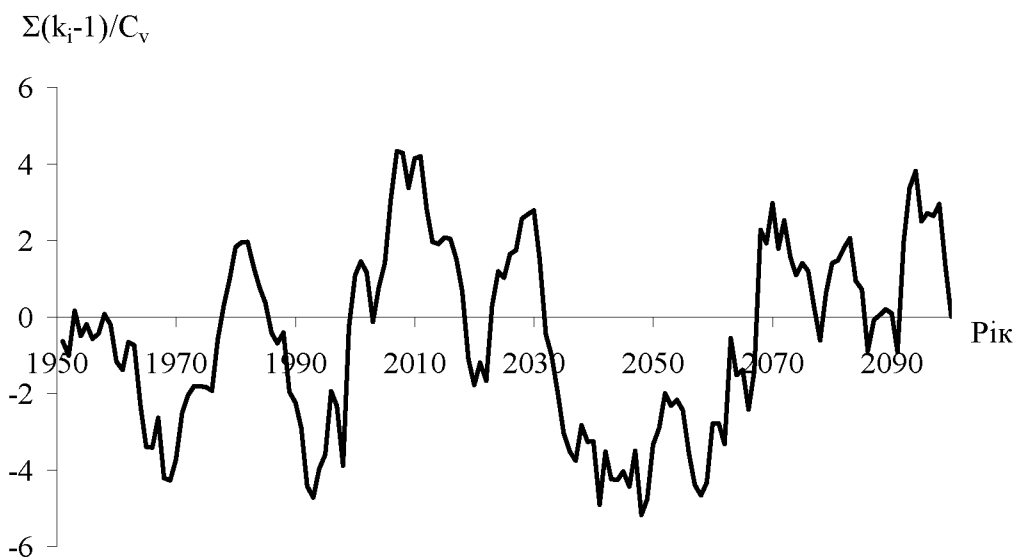


Рисунок 5.12 – Різницево-інтегральна крива річних сум опадів за даними сценарію A1B на метеостанції Затишшя, 1951-2100 рр.

За сценарієм A2 (1951-2050 рр.) річна температура повітря знаходиться у від'ємній фазі і перейде у додатну в 2034 р. (рис. 5.13). Тобто за обома сценаріями очікується суттєве збільшення середніх річних температур повітря близько 2030р. Річні суми опадів, згідно різницево-інтегральних кривих, знаходяться у сухій (від'ємній) фазі у період 1975-2005 рр., 2023-2040 рр., зволожена фаза спостерігатиметься у 2006-2022 рр. (рис. 5.14).

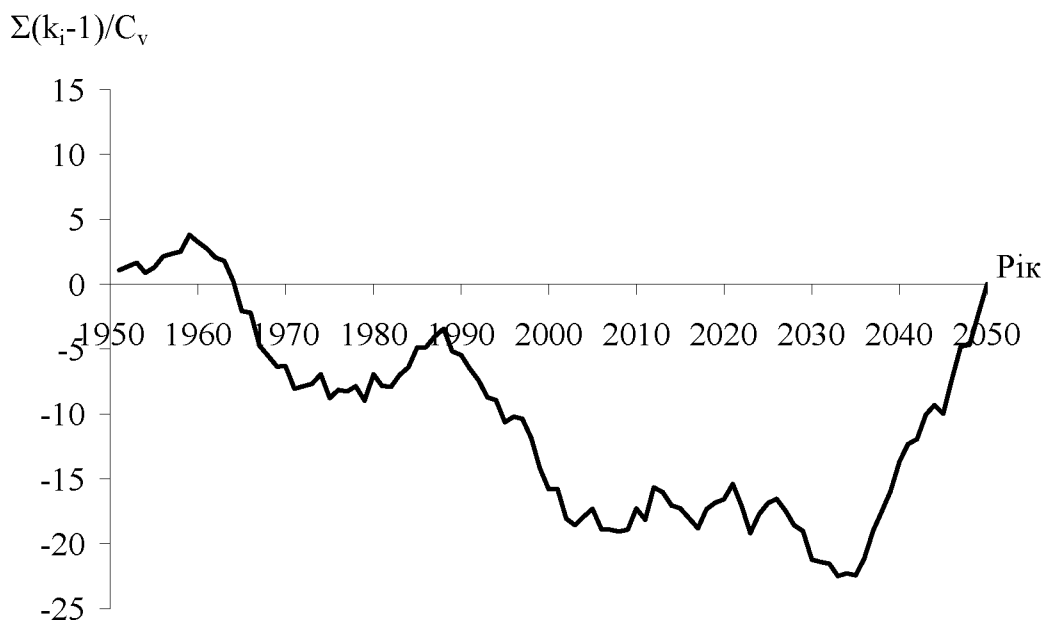


Рисунок 5.13 – Різницево-інтегральна крива річних температур повітря за даними сценарію А2 на метеостанції Затишшя, 1951-2050 рр.

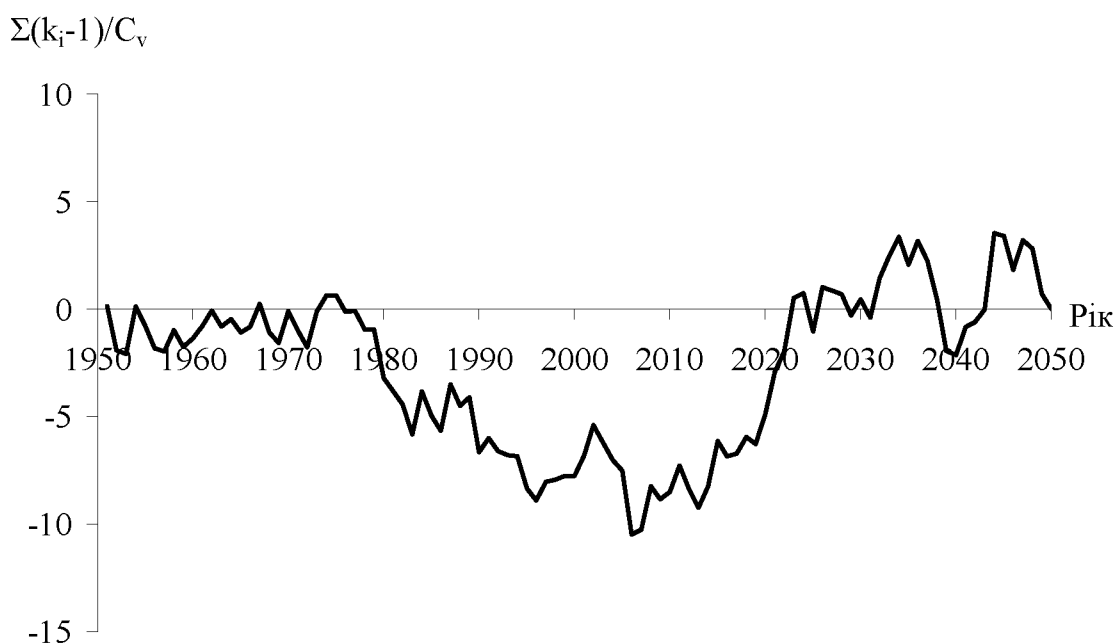


Рисунок 5.14 – Різницево-інтегральна крива річних сум опадів за даними сценарію А2 на метеостанції Затишшя, 1951-2050 рр.

Наступні розрахунки змін кліматичних чинників та річного кліматичного стоку виконувались по таких послідовних часових інтервалах: для сценарію А1В - з початку спостережень до 1989 р. та за 30-річними періодами 1990-2020 рр., 2021-2050 рр., 2051-2080 рр., 2051-2100 рр.; для

сценарію А2 - з початку спостережень до 1989 р. та за періодами 1990-2020 рр., 2021-2050 рр..

5.5 Можливі зміни водних ресурсів річок Північно-Західного Причорномор'я у сценарних кліматичних умовах

Для оцінки наслідків впливу глобального потепління на формування водних ресурсів для території України в цілому були розглянуті сценарії А1В [196], А2 [197], RCP4.5 та RCP8.5 [198]. Для сценаріїв А1В та А2 середні багаторічні величини суми річних опадів, максимально можливого випаровування, річного кліматичного стоку по 28 метеорологічних станціях України розраховувалися для періодів 2011-2030 рр., 2031-2050 рр. за обома сценаріями. Виконано порівняння отриманих результатів із даними про норми річного кліматичного стоку до 1989 р., починаючи з якого зміни температур повітря набули значущості на всій території України. Розподіл ізоліній відносних відхилень середніх багаторічних значень кліматичного стоку до та після 1989 р. показав, що за сценарієм А1В водні ресурси України будуть зменшуватися, на півдні та південному заході це зменшення у період 2031-2050 рр. досягне 60-70% (рис. 5.15).

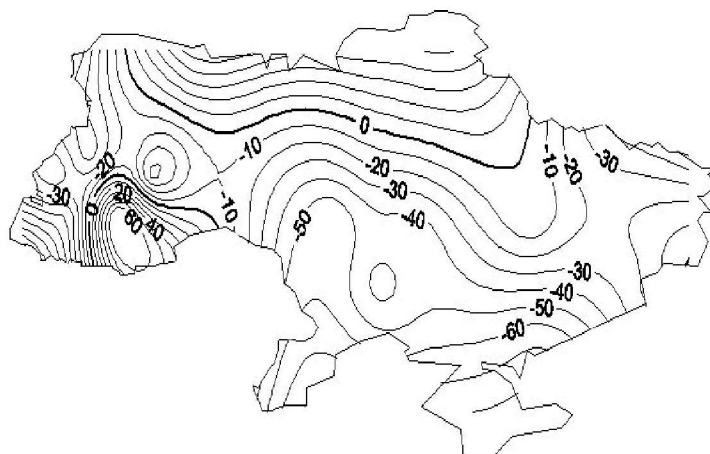


Рисунок 5.15 – Просторовий розподіл відносних відхилень (%) норм річного кліматичного стоку за період 2031-2050 рр. від фактичних даних до 1989 р. (сценарій А1В)

Згідно із результатами розрахунків, отриманими за сценарієм А2, до 2030р. Україну очікує зростання водних ресурсів від 80-60% на півночі й північному сході та до 40% – у центрі (рис. 5.16). На півдні України як і у сценарію А1В буде відбуватися зменшення водних ресурсів, яке у Одеській області досягне 40%.

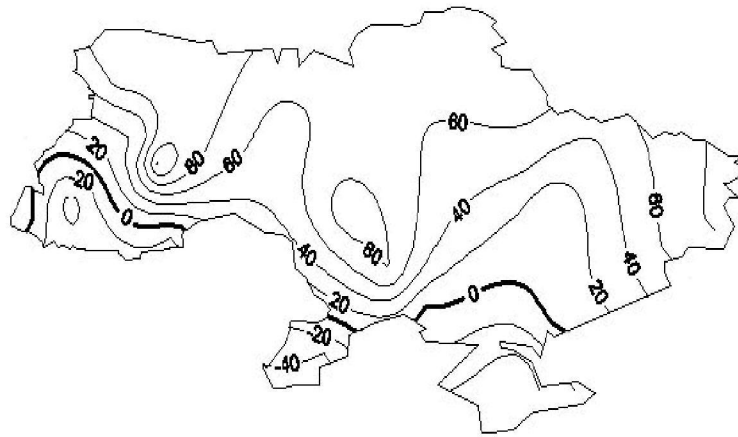


Рисунок 5.16 – Просторовий розподіл відносних відхилень норм річного кліматичного стоку за період 2011-2030 рр. у порівнянні із даними до 1989 р. (сценарій A2)

У період 2031-2050рр. на більшій частині України за сценарієм A2 тенденція до зменшення водних ресурсів посилиться (рис. 5.17). У Одеській області водні ресурси зменшаться у порівнянні із періодом 2011-2030 рр. ще на 30-35%, тобто буде досягнутий стан руйнування (більше 50 відсотків) та незворотного руйнування (більше 70 відсотків). Розвиток подій у XXI сторіччі за сценарієм A2 указує на зростання різниці між кількісними характеристиками південних і північних областей України. Однак наслідки глобального потепління, які прогнозуються за сценарієм A2, будуть не такі катастрофічні як за сценарієм A1B.

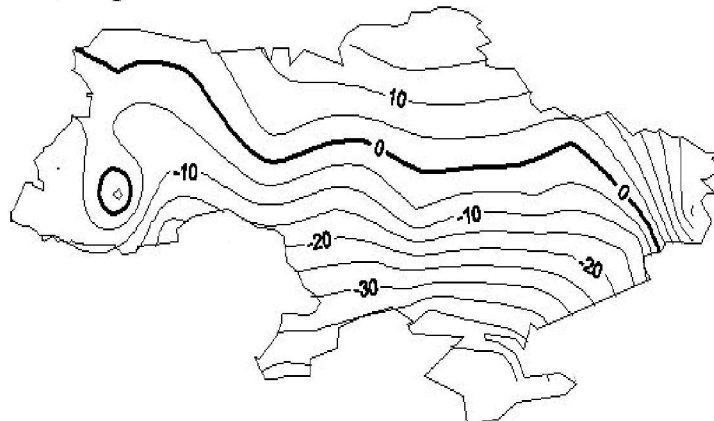


Рисунок 5.17 – Просторовий розподіл відносних відхилень норм річного кліматичного стоку за період 2031-2050 рр. у порівнянні із періодом 2011-2030 рр. (сценарій A2)

Оцінки середніх багаторічних величин кліматичного річного стоку за сценаріями RCP4.5 (рис. 5.18) та RCP8.5 (рис. 5.19), виконані для періоду 2011-2050 рр., показали, що на відміну від сценаріїв A1B та A2 зменшення водних ресурсів України буде відбуватися у межах усієї рівнинної України, а

не тільки на півдні. За сценарієм RCP4.5 у Одеській області зменшення водних ресурсів досягне 40%, а за сценарієм RCP8.5 - 60% у порівнянні із даними до 1989р.

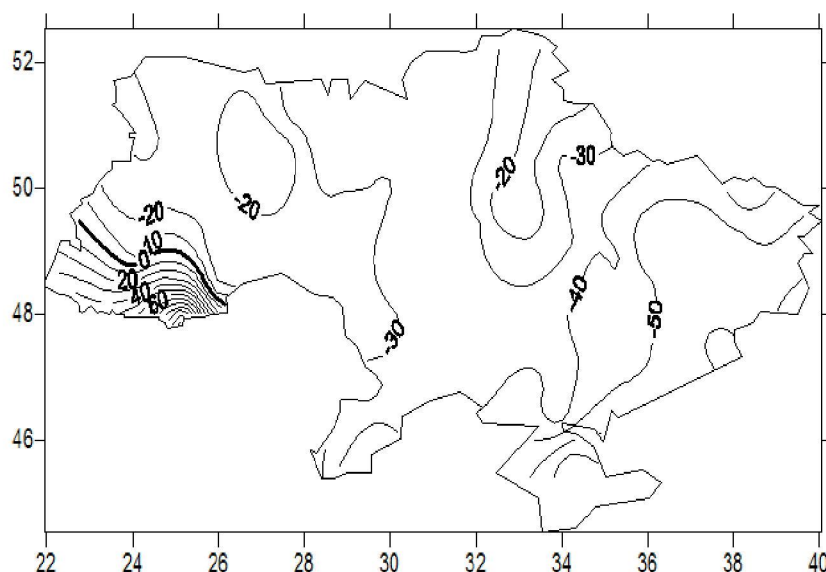


Рисунок 5.18 – Просторовий розподіл відносних відхилень (%) норм річного кліматичного стоку за період 2011-2050 рр. (сценарій RCP4.5) у порівнянні із базовими даними (до 1989 р.)

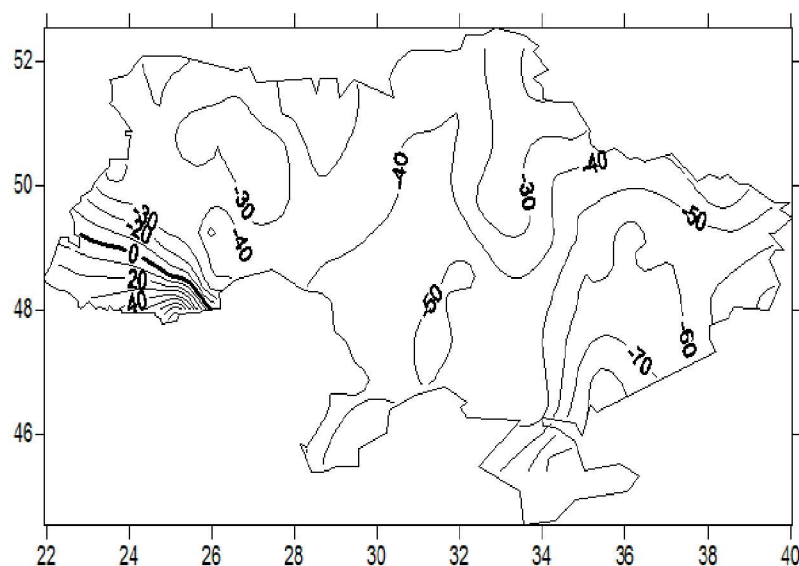


Рисунок 5.19 – Просторовий розподіл відносних відхилень (%) норм річного кліматичного стоку за період 2011-2050 рр. (сценарій RCP8.5) у порівнянні із базовими даними (до 1989 р.)

Зроблені оцінки водних ресурсів на майбутнє знаходяться у відповідності із результатами розрахунків, отриманими С.І. Сніжком та

І.В. Купріковим [199, 200], які виконували оцінки водних ресурсів України у майбутньому за балансовим методом, запропонованим французьким вченим L. Turk (1954) та розвинутим польським гідрологом Z. Kaszmarek (1993).

Більш детально були досліджені зміни клімату та стоку за обраними сценаріями A1B та A2 при розрахунках кліматичного стоку за послідовними часовими інтервалами для різних метеостанцій Північно-Західного Причорномор'я: до 1989 р., двадцятирічними періодами 2011-2030 рр. та 2031-2050 рр. З табл. 5.5, де наведена інформація про зміни річних сум опадів, витікає, що на території Північно-Західного Причорномор'я за сценарієм A1B очікуватиметься їх зменшення, яке досягне -14,3% у 2031-2050 рр. Максимально можливе випаровування зростатиме до 19,6% (табл. 5.6). Внаслідок зростання теплоенергетичних ресурсів клімату на фоні незначного зменшення ресурсів зволоження у вигляді опадів на території Північно-Західного Причорномор'я водні ресурси будуть зменшуватись. У період 2031-2050 рр. це зменшення перевищить 60% (табл. 5.7). Зменшення водних ресурсів досягне найбільших величин (-73%) на півдні Одеської області.

Таблиця 5.5 – Зміни ресурсів вологи на території Північно-Західного Причорномор'я за сценаріями зміни клімату A1B та A2 у різні часові інтервали

Метео- станція	Середні багаторічні значення річних сум опадів, мм								
	до 1989 р.	за сценарієм A1B				за сценарієм A2			
		2011- 2030 рр.	δ , %	2031- 2050 рр.	δ , %	2011- 2030 рр.	δ , %	2031- 2050 рр.	δ , %
Любашівка	540	538	-0,4	500	-7,4	604	11,9	574	6,3
Затишшя	516	494	-4,3	468	-9,3	594	15,1	552	7,0
Баштанка	513	483	-5,8	459	-10,5	533	3,9	512	-0,2
Роздільна	509	433	-14,9	412	-19,1	540	6,1	494	-2,9
Одеса	476	430	-9,7	418	-12,2	482	1,3	436	-8,4
Сарата	482	409	-15,1	385	-20,1	477	-1,0	437	-9,3
Ізмаїл	495	407	-17,8	389	-21,4	410	-17,2	368	-25,7
Середнє	504	456	-9,7	433	-14,3	520	$\pm 8,1$	482	$\pm 8,5$

Таблиця 5.6 – Зміни теплоенергетичних ресурсів на території Північно-Західного Причорномор'я за сценаріями A1B та A2 у різні часові інтервали

Метео-станція	Середні багаторічні значення максимально можливого випаровування, мм								
	до 1989 р.	за сценарієм A1B				за сценарієм A2			
		2011-2030 рр.	δ , %	2031-2050 рр.	δ , %	2011-2030 рр.	δ , %	2031-2050 рр.	δ , %
Любашівка	869	1001	15,2	1050	20,8	869	0,0	912	4,9
Затишшя	896	1027	14,6	1078	20,3	898	0,2	944	5,4
Баштанка	926	1053	13,7	1097	18,5	939	1,4	976	5,4
Роздільна	929	1052	13,2	1105	18,9	929	0,0	979	5,4
Одеса	946	1067	12,8	1121	18,5	946	0,0	996	5,3
Сарата	955	1091	14,2	1151	20,5	985	3,1	1035	8,4
Ізмаїл	981	1114	13,6	1176	19,9	994	1,3	1053	7,3
Середнє	929	1058	13,9	1111	19,6	937	0,9	985	6,0

Таблиця 5.7 – Зміни водних ресурсів на території Північно-Західного Причорномор'я за сценаріями зміни клімату A1B та A2 у різні часові інтервали

Метео-станція	Середні багаторічні значення кліматичного стоку, мм								
	до 1989 р.	за сценарієм A1B				за сценарієм A2			
		2011-2030 рр.	δ , %	2031-2050 рр.	δ , %	2011-2030 рр.	δ , %	2031-2050 рр.	δ , %
Любашівка	37	25	-32,4	17	-54,1	56	51,4	41	10,8
Затишшя	29	17	-41,4	12	-58,6	48	65,5	33	13,8
Баштанка	26	15	-42,3	11	-57,7	29	11,5	23	-11,5
Роздільна	25	10	-60,0	7	-72,0	31	24,0	20	-20,0
Одеса	19	9	-52,6	7	-63,2	20	5,3	12	-36,8
Сарата	19	7	-63,2	5	-73,7	17	-10,5	10	-47,4
Ізмаїл	18	6	-66,7	5	-72,2	9	-50,0	5	-72,2
Середнє	25	13	-51,2	9	-64,5	30	$\pm 30,2$	21	$\pm 30,4$

За сценарієм A2 у XXI сторіччі на розглядуваній території опади будуть змінюватися неоднаково: на півночі території вони зростатимуть, а на півдні – зменшуватись (табл. 5.5). І це зменшення буде посилюватись до 2050 р. Максимально можливе випаровування також зростатиме, але не так інтенсивно, як у сценарії A1B (табл. 5.6). Просторовий розподіл норм річного

кліматичного стоку визначатиметься розподілом опадів: у 2011-2030 рр. на півночі розглядуваної території водні ресурси будуть зростати, а на півдні – зменшуватись (табл. 5.7). У 2031-2050 рр. область зменшення водних ресурсів розшириться на північ, а на півдні Одеської області досягне -72% (метеостанція Ізмаїл), яке відповідає стадії їх незворотного руйнування.

На відміну від сценаріїв А1В та А2 за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 зростання температур повітря, а разом із ними, максимально можливого випаровування з поверхні суші буде відбуватися дуже повільно. Проте опади будуть суттєво зменшуватися [201]. За період (2011-2050 рр.) середня багаторічна сума річних опадів має зменшитися на 13% за сценарієм RCP4.5 та на 16% за сценарієм RCP8.5. В результаті зменшення водних ресурсів досягне до 2050 р. 37.4% за сценарієм RCP4.5 та 48.6% (табл.5.8) за сценарієм RCP4.8 [202].

Таблиця 5.8 – Зміни водних ресурсів на території Північно-Західного Причорномор'я за сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5 в різні часові інтервали

Метеостанція	Середні багаторічні значення кліматичного стоку, мм				
	до 1989р.	за сценарієм RCP4.5		за сценарієм RCP8.5	
		2011- 2050 рр.	δ, %	2011- 2050 рр.	δ, %
Вознесенськ	28	16,8	-40	12,5	-55,4
Первомайськ	40	25	-37,5	21,3	-46,8
Баштанка	26	16,1	-38,1	13,2	-49,2
Херсон	14	8,2	-41,4	7,9	-43,6
Миколаїв	17	11	-35,3	9	-47,1
Затишшя	29	20,3	-30	15,5	-46,6
Любашівка	37	25,8	-30,3	22,5	-39,2
Одеса	19	12,5	-34,2	9,6	-49,5
Сарата	19	10,7	-43,7	8,9	-53,2
Ізмаїл	18	10,1	-43,9	8,1	-55
Середнє	23	14,8	-37,4	12,3	-48,6

5.6 Можливі зміни водних ресурсів річок водозбору Куяльницького лиману в залежності від сценарних кліматичних умов

При розрахунках норм річного кліматичного стоку на водозборі Куяльницького лиману та прилеглих до нього територій за сценаріями глобального потепління було виділено 12 точок-вузлів координатної сітки з кроком 15 хвилин або 25 км (рис. 5.20).

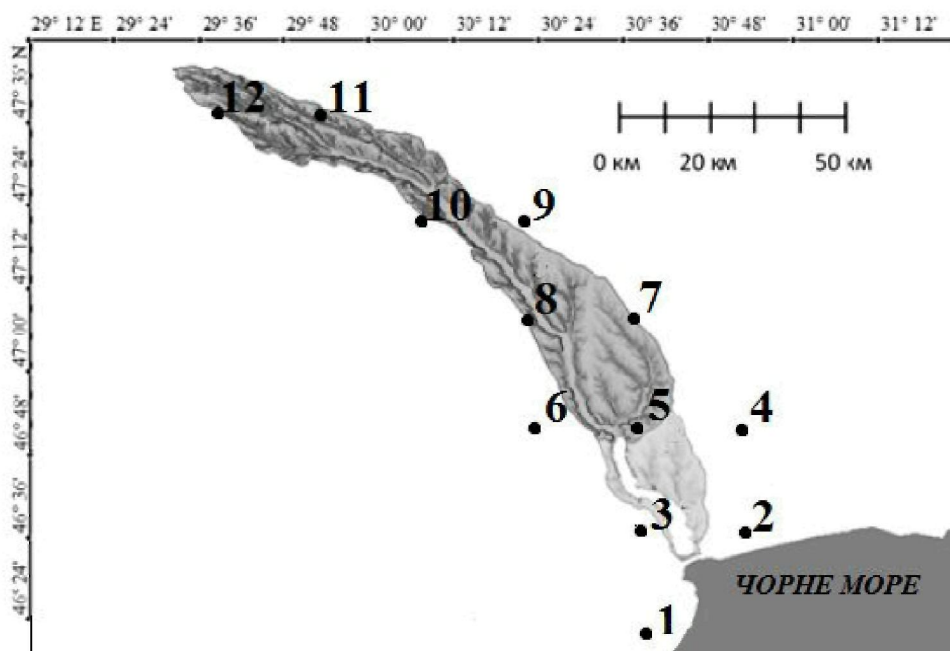


Рисунок 5.20 – Розташування вузлових точок на території водозбору Куяльницького лиману

Для кожної з точок виконувалися розрахунки середніх багаторічних значень сум річних опадів, максимально можливого випаровування та кліматичного стоку (табл. 5.9), які відповідають кліматичним умовам до початку глобального потепління (до 1989 р.) за даними сценарію A1B як такого, що найбільш задовільно описує розподіл температур повітря та опадів на досліджуваній території [203].

Розрахунки показали, що за сценарієм A1B у XXI сторіччі в середньому на водозборі Куяльницького лиману опади змінюватись майже не будуть (табл. 5.10), проте передбачається поступове, рівномірне збільшення максимально можливого випаровування (табл. 5.11), що призведе до зменшення водних ресурсів майже на 50% до кінця XXI сторіччя (табл. 5.12).

Таблиця 5.9 – Середні багаторічні характеристики кліматичних чинників та кліматичного стоку у різних точках басейну Куяльницького лиману до початку глобального потепління (до 1989 р.)

№ точки	Координати		\bar{X} , мм	\bar{E}_m , мм	\bar{Y}_k , мм
	Град. сх.д.	Град. пн.ш.			
1	30,625	46,375	455	985	13
2	30,875	46,625	455	978	14
3	30,625	46,625	462	978	15
4	30,875	46,875	470	973	18
5	30,625	46,875	475	970	18
6	30,375	46,875	478	965	18
7	30,625	47,125	478	960	22
8	30,375	47,125	480	958	22
9	30,375	47,375	490	945	25
10	30,125	47,375	495	940	25
11	29,875	47,625	505	927	29
12	29,625	47,625	520	925	30
Сер.			480	959	21

Таблиця 5.10 – Зміни ресурсів води у басейні Куяльницького лиману за сценаріями зміни клімату A1B в різні часові інтервали

№ точки	Середні багаторічні значення річних сум опадів, мм								
	до 1989 року	1990-2020 рр.	δ , %	2021-2050 рр.	δ , %	2051-2080 рр.	δ , %	2051-2100 рр.	δ , %
1	455	445	-2	421	-7	460	1	449	-1
2	455	439	-3	427	-6	465	2	455	0
3	462	449	-3	433	-6	470	2	460	0
4	470	444	-6	432	-8	473	1	465	-1
5	475	449	-6	435	-8	473	0	465	-2
6	478	458	-4	446	-7	480	0	471	-1
7	478	465	-3	457	-4	497	4	489	2
8	480	466	-3	467	-3	498	4	489	2
9	490	499	2	508	4	536	9	527	8
10	495	492	-1	499	1	521	5	513	4
11	505	522	3	510	1	528	4	520	3
12	520	513	-1	498	-4	510	-2	502	-3
Сер.	480	470	-2	461	-4	493	3	484	1

Таблиця 5.11 – Зміни теплоенергетичних ресурсів (максимально можливого випаровування) у басейні Куяльницького лиману за сценаріями зміни клімату А1В в різні часові інтервали

№ точ- ки	Середні багаторічні значення максимально можливого випаровування, мм								
	до 1989 року	1990- 2020 рр.	δ, %	2021- 2050 рр.	δ, %	2051- 2080 рр.	δ, %	2051- 2100 рр.	δ, %
1	985	1046	6	1100	12	1183	20	1211	23
2	978	1026	5	1076	10	1158	18	1187	21
3	978	1047	7	1097	12	1179	21	1209	24
4	973	1024	5	1070	10	1151	18	1181	21
5	970	1034	7	1080	11	1162	20	1192	23
6	965	1043	8	1089	13	1170	21	1201	24
7	960	1025	7	1067	11	1148	20	1179	23
8	958	1030	8	1071	12	1152	20	1184	24
9	945	1024	8	1062	12	1146	21	1177	25
10	940	1018	8	1058	13	1142	21	1173	25
11	927	993	7	1035	12	1118	21	1149	24
12	925	981	6	1023	11	1106	20	1136	23
Сер.	959	1024	7	1069	12	1151	20	1182	23

Таблиця 5.12 – Зміни водних ресурсів у басейні Куяльницького лиману за сценаріями зміни клімату А1В в різні часові інтервали

№ точ- ки	Середні багаторічні значення кліматичного стоку, мм								
	до 1989 року	1990- 2020 рр.	δ, %	2021- 2050 рр.	δ, %	2051- 2080 рр.	δ, %	2051- 2100 рр.	δ, %
1	13	10,9	-16	7,6	-41	8,7	-33	7,4	-43
2	14	10,9	-22	8,5	-39	9,6	-31	8,3	-41
3	15	11,2	-25	8,6	-43	9,5	-37	8,2	-46
4	18	11,5	-36	9,1	-50	10,5	-42	9,1	-50
5	18	11,6	-36	9,1	-49	10,2	-43	8,8	-51
6	18	12,3	-32	9,7	-46	10,6	-41	9,1	-49
7	22	13,6	-38	11,3	-49	12,8	-42	11,1	-50
8	22	13,5	-38	12,2	-44	12,7	-42	11,0	-50
9	25	17,9	-28	17,2	-31	17,2	-31	14,9	-40
10	25	17,3	-31	16,3	-35	15,6	-38	13,6	-46
11	29	23,0	-21	18,8	-35	17,3	-40	15,1	-48
12	30	22,4	-25	17,8	-41	15,7	-48	13,7	-54
Сер.	21	15	-29	12	-42	13	-39	11	-47

Розподіл ізоліній змін річного кліматичного стоку у просторі (рис. 5.21) показує, що зменшення водних ресурсів у басейні Куяльницького лиману за період 2021-2050 рр. буде посилюватися від витoku до гирла, досягаючи 50%. Розрахунки середніх багаторічних величин річного кліматичного та річного природного стоку, виконані по окремих водозборах (табл. 5.13) за період 2021-2050 рр., дозволили зробити висновок, що сумарний приплив прісних вод від водотоків до Куяльницького лиману у непорушених водогосподарською діяльністю умовах становитиме 13,5 млн.м³, тобто зменшиться у порівнянні із даними до 1989 р. на 39,2%.

Зменшення природного річного стоку у період 2021-2050 рр. за рахунок кліматичних умов призведе до значного зменшення водності річки В.Куяльник у середні за водністю роки, а на річках Довбока та Кубанка річний стік дорівнюватиме нулю. На балках Гіндендорфська та Корсунцівська природний стік буде спостерігатися лише у багатоводні роки (табл. 5.14).

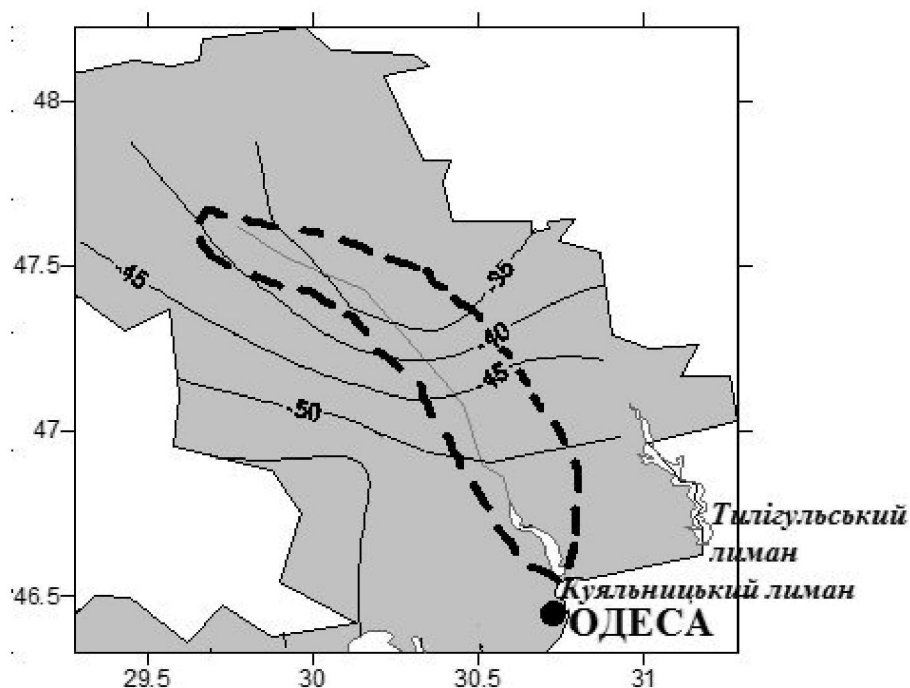


Рисунок 5.21 – Просторовий розподіл відносних відхилень (%) норм річного кліматичного стоку за період 2021-2050 рр. у порівнянні із фактичними даними до 1989 р. на території водозбору Куяльницького лиману за сценарієм A1B, (- - - границя водозбору Куяльницького лиману)

Таблиця 5.13 – Статистичні параметри природного річного стоку річок басейну Куяльницького лиману в кліматичних умовах сценарію A1B для періоду 2021-2050 рр.

Річки та балки	Норма кліматичного стоку, \bar{Y}_K , до 1989 р. мм	Норма кліматичного стоку, \bar{Y}'_K , 2021-2050рр. мм	Пере-хідний кое-фіцієнт, $K_{ПЕР,2}$	Статистичні параметри природного річного стоку у період 2021-2050рр.			
				$\bar{Y}_{ПР}$, мм	$\bar{W}_{ПР}$, м ³ 10 ⁶	C_V	C_S
р.Великий Куяльник	23	13	0,52	6,81	12,7	1,90	3,24
р.Довбока	18	9	0,369	3,16	0,219	3,06	5,21
б.Млинова	16	8	0,235	1,77	0,0389	4,39	7,46
б.Баштанна	16	7	0,25	1,84	0,0160	4,28	7,28
р.Кубанка	17	8	0,27	2,06	0,281	3,99	6,79
б.Гіндельдорфська	15	6	0,22	1,42	0,0213	5,03	8,55
б.Корсунцівська	15	6	0,22	1,37	0,0236	5,14	8,75
Боковий приплив	15	7	0,24	1,62	0,230	4,64	7,88
Сумарний приплив прісних вод до лиману				15,1	13,5		

За умови збереження того ж самого рівня водогосподарської діяльності, що установлений на теперішній час (дивись розділ 4), зменшення середнього багаторічного річного стоку річок В.Куяльник, Довбока, Кубанка за рахунок впливу штучних водойм у сценарних кліматичних умовах для періоду 2021-2050рр. досягне 70-80% (табл. 5.15, 5.16). При збереженні у незмінному виді об'ємів річний стік р.Великий Куяльник буде спостерігатися лише у багатоводні роки. Приплив від інших водотоків припиниться.

Таблиця 5.14 – Статистичні характеристики природного річного стоку (об'єми) у роки різної водності для періоду 2021-2050 рр.

Річка – пост	Природний річний стік W_P заданої забезпеченості P , млн. м ³								
	$W_{0,01\%}$	$W_{0,1\%}$	$W_{1\%}$	$W_{5\%}$	$W_{25\%}$	$W_{50\%}$	$W_{75\%}$	$W_{95\%}$	$W_{99\%}$
В. Куяльник	269	191	112	59,9	16,1	2,81	0	0	0
р.Довбока	9,78	6,44	3,30	1,38	0,139	0	0	0	0
б.Млинова	3,13	1,70	0,736	0,100	0,0	0	0	0	0
б. Баштанна	1,24	1,14	0,302	0,050	0	0	0	0	0
р.Кубанка	19,35	11,38	5,23	1,21	0,068	0	0	0	0
б. Гіндельдорфська	2,19	0,932	0,330	0	0	0	0	0	0
б. Корсунцівська	2,46	1,07	0,386	0	0	0	0	0	0
Боковий приплив	20,26	19,36	4,27	0,219	0	0	0	0	0
Сума	327	233	127	62,9	16,3	2,81	0	0	0

Таблиця 5.15 – Оцінка впливу штучних водойм на водні ресурси річок водозбору Куяльницького лиману при їх 40%-му заповненні для періоду 2021-2050 рр.

Річка	\overline{W}_{PP} , млн.м ³	Об'єм штучних водойм, млн. м ³	f_B , %	Коефіцієнти антропогенного впливу $K_{\overline{Y}}$ при різних чинниках водогосподарської діяльності		
				наповнення $k_{\overline{Y},3}$	додаткове випаровування $k'_{\overline{Y}}$	сумарний коефіцієнт $K_{\overline{Y}}$
р.В.Куяльник	12,7	7,80	0,33	0,38	0,91	0,29
р.Довбока	0,219	0,148	0,29	0,32	0,88	0,20
р.Кубанка	0,281	0,388	0,29	0,00	0,86	0,00

Таблиця 5.16 – Характеристики побутового річного стоку (об'єми) у роки різної водності для періоду 2020-2050 рр.

Річка-пост	Статистичні параметри побутового річного стоку			Побутовий річний стік заданої забезпеченості, млн. м ³					
	\overline{W} , млн. м ³	C_U	C_S	$W_{1\%}$	$W_{5\%}$	$W_{25\%}$	$W_{50\%}$	$W_{75\%}$	$W_{95\%}$
р.В. Куяльник	3,68	4,11	6,98	69,2,8	14,4	0,5	0,00	0,00	0,00

6 ОЦІНКА ЗМІНИ ПРИПЛИВУ ВОД З ВОДОЗБІРНОГО БАСЕЙНУ ДО ЛИМАНУ У ХХІ СТОРІЧЧІ ЗА МОДЕЛЛЮ “КЛІМАТ-СТІК”

6.1 Опис методики відтворення рядів річного та місячного стоку

Методика розрахунків базується на стохастичній моделі «клімат-стік», розробленій в ОДЕКУ [43]. Під час використання стохастичної моделі необхідно знати статистичні параметри річного стоку, обрати відповідний статистичний закон розподілу величин стоку та визначити закономірності внутрішньорічного розподілу стоку в залежності водності року. Водність року установлюється за забезпеченістю (ймовірністю перевищення заданої величини водності року). Головну проблему при вирішенні поставленої задачі становить визначення забезпеченості стоку у майбутньому, коли даних спостережень за стоком немає, а можливу водність року треба встановити на основі даних сценаріїв змін клімату, тобто на основі метеорологічних даних [204]. Для визначення статистичних параметрів річного стоку за кліматичними сценаріями була застосована модель “клімат-стік”. Розрахунки річного та середнього місячного стоку у хронологічному порядку на базі метеорологічних даних сценаріїв глобального потепління проводилися за такою схемою.

На першому етапі призначалися розрахункові кліматичні періоди за установленими закономірностями коливань сценарних даних про річні суми опадів та середні річні температури повітря. Розрахункові кліматичні періоди мають містити у собі один або декілька циклів водності. Ураховуючи той факт, що коливання водності у зоні недостатнього зволоження визначаються, головним чином, коливаннями опадів, виділення циклів водності виконувалося на основі аналізу різницевих інтегральних кривих річних сум опадів. Однак, особливості коливань температур повітря також мають бути ураховані.

За сіткою даних обраного кліматичного сценарію (крок в сучасних кліматичних сценаріїв становить 25 км) виділяються точки-вузли із сценарними метеорологічними даними, які знаходяться у межах досліджуваного водозбору та на прилеглих до нього територіях [205]. За наявності значної кількості таких точок можна будувати карти ізоліній досліджуваних гідрометеорологічних характеристик. При малій кількості вузлів, що припадають на поверхню водозбору, розрахунки можуть проводитися для репрезентативних точок, які знаходяться у центрі тяжіння водозбору та добре відображують хронологічний хід зважених по площі водозбору метеорологічних характеристик [206].

За метеорологічними даними (річними сумами опадів, середніми місячними температурами повітря) для кожного з визначених кліматичних періодів розраховують середні багаторічні величини опадів \bar{X} , максимально можливого випаровування \bar{E}_m та кліматичного стоку \bar{Y}_K з використанням рівнянь (4.15) та (4.17) поточного звіту. За кліматичними чинниками визначається також показник посушливості $\beta_X = \frac{\bar{X}}{\bar{E}_m}$, який являє собою співвідношення ресурсів вологи та тепла.

Середня багаторічна величина річного кліматичного стоку є характеристикою зонального річного стоку. Для урахування впливу підстильної поверхні визначаються коефіцієнти переходу від кліматичного стоку до природного (непорушеного господарською діяльністю) як це було показано в розділі 4 (див.табл.4.2). Середня висота водозборів річок, які живлять Куяльницький лиман, є меншими 280м, отже коефіцієнт переходу від норм кліматичного стоку до природного визначався згідно із рівнянням (4.20). Через коефіцієнт переходу устанавлюється середня багаторічна величина річного природного стоку з водозбору за (4.22). Для Північно-Західного Причорномор'я [42] було отримано математичне співвідношення (4.23), яке дозволяє визначати коефіцієнти варіації стоку невивчених у гідрологічному відношенні річок в залежності від середньої багаторічної величини стоку. Відношення C_S/C_V та коефіцієнт автокореляції $r(1)$ беруться згідно із районуванням статистичних параметрів річного стоку за результатами узагальнень, отриманих на основі методу сумісного аналізу даних [207]. які для Північно-Західного Причорномор'я дорівнюють 1,7 та 0,00 відповідно.

За наявності на водозборі Куяльницького лиману водогосподарських перетворень визначаються коефіцієнти антропогенного впливу в залежності від масштабів водогосподарської діяльності [118]. Оскільки на території водозбору Куяльницького лиману переважає вплив штучних водойм, то коефіцієнти антропогенного впливу на статистичні параметри річного стоку оцінювались за рівняннями (4.31-4.37) з використанням даних про площу водної поверхні штучних водойм та об'єми їх заповнення. Результатом таких розрахунків є статистичні параметри річного природного та річного побутового стоку. На основі визначених статистичних параметрів та обраного закону розподілу устанавлювалось значення річного стоку будь-якої заданої забезпеченості.

З метою визначення забезпеченості водності для кожного року розрахункового кліматичного періоду у хронологічному ряді спостережень використовувались метеорологічні показники, які обумовлюють формування

водності. Такими показниками можуть слугувати співвідношення

$\beta_X = \frac{\bar{X}}{\bar{E}_m}$, температури та опади зимового сезону, коли формуються запаси води у сніговому покриві та інше [208].

Отриманий ряд метеорологічних показників, які визначають водність року, використовувався для побудови емпіричної кривої забезпеченості та наступного визначення ймовірності перевищення (забезпеченості) водності розрахункового року.

Для кожного року з відомою забезпеченістю водності за статистичними параметрами стоку і обраним законом розподілу розраховувалося значення річного стоку. Як роки характерної водності бралися роки із 25, 50, 75 відсотковою забезпеченістю водності.

Середній місячний стік у кожному із років визначався за заданими схемами типового внутрішньорічного розподілу стоку у природних та порушених водогосподарською діяльністю умовах. Для побутового стоку його внутрішньорічний розподіл у характерні за водністю роки установлювався на основі даних спостережень.

6.2 Виділення кліматичних розрахункових періодів

Виділення кліматичних розрахункових періодів відбувається на базі виділення закономірностей коливань річних сум опадів та середніх річних температур повітря [203].

Аналіз різницевих інтегральних кривих температур повітря, побудованих по даним сценарію A1B для метеорологічних станцій, розташованих на водозборі Куяльницького лиману або прилеглих до нього територіях (Любашівка, Затишся, Роздільна, Одеса), показує існування від'ємної фази коливань до 2030 р., та перехід у додатну фазу з 2031 р. (рис. 6.1). Таким, чином однією з переламних точок у коливаннях водності має стати 2030 р., оскільки саме з цього року (за сценарієм A1B) почнеться суттєва зміна умов формування водності за рахунок зростання випаровування з поверхні та зменшення запасів води у сніговому покриві. Як було показано в розділі 5 (див. рис. 5.8), саме з 2031 р. умовне математичне сподівання середньої місячної температури повітря перейде у область додатних значень [209].

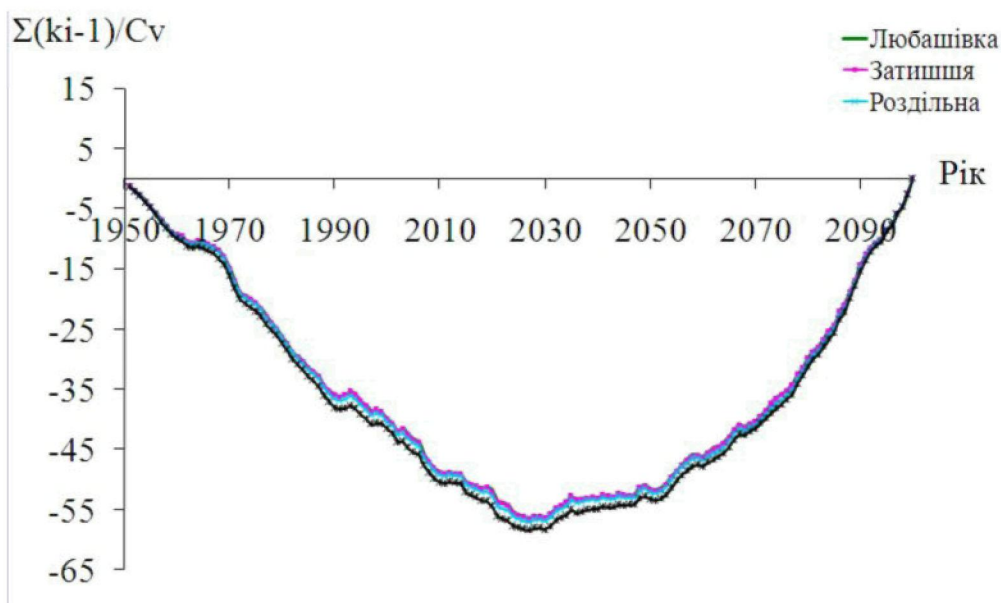


Рисунок 6.1 – Різницеви інтегральні криві середніх річних температур повітря у XXI сторіччі (сценарій A1B)

У коливаннях річних сум опадів (рис. 6.2) за період 1951-2100 рр. виділяється 5 повних циклів коливань водності, виділених по характерних (максимумах та мінімумах) точках, та 11 циклів, виділених по точках перетинання різницевою інтегральною кривою осі абсцис. З них можна виділити такі об'єднані тривалі цикли: (1990-2030 рр., 2031-2070 рр. та 2071-2100 рр.). Виділення останнього циклу обумовлене переходом коливань опадів від додатної (зволоженої) фази водності (2049-2072 рр.) до від'ємної (посушливої) фази (2073-2092 рр.).

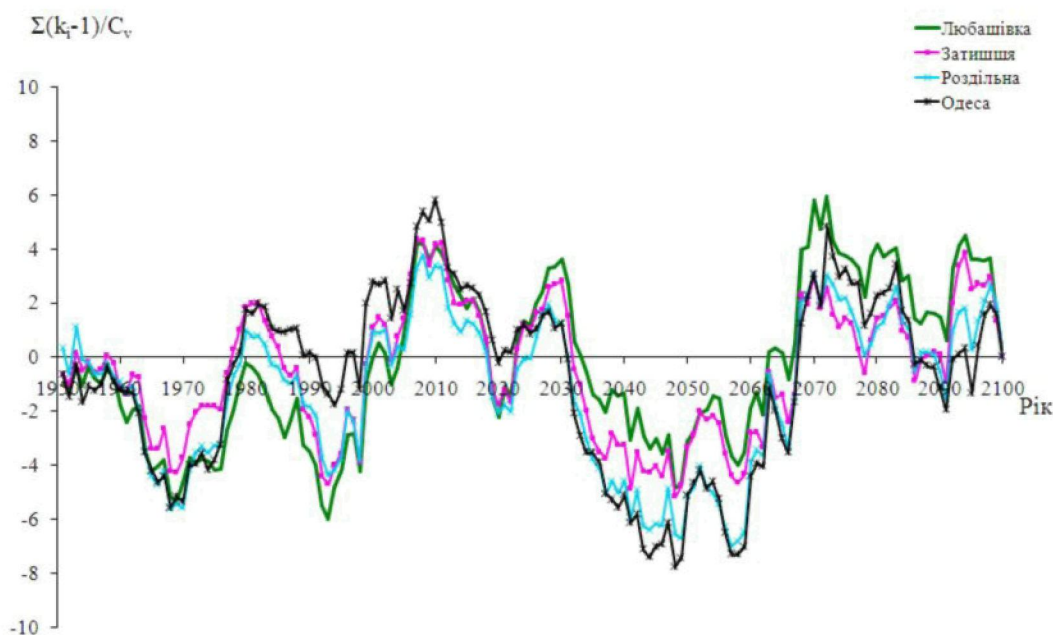


Рисунок 6.2 – Різницеви інтегральні криві річних сум опадів у XXI сторіччі (сценарій A1B)

6.3 Методика встановлення забезпеченості водності року при розрахунках стоку за стохастичною моделлю “клімат-стік”

За визначеними статистичними параметрами річного природного та побутового стоку й обраним законом розподілу (Пірсона III, трьох параметричний гама-розподіл С.М. Крицького та М.Ф. Менкеля) [159]) визначався річний стік заданої забезпеченості (ймовірності перевищення заданої величини стоку). В залежності від встановленого значення забезпеченості визначаються характерні за водністю роки. Багатоводний рік має ймовірність перевищення 25%, середній - ймовірність перевищення 50%, маловодний – 75% та дуже маловодний – 95%.

У новій редакції нормативних документів по розрахунках характеристик стоку [157] для встановлення водності характерного року використовується більш детальна інформація. При періоді спостережень n від 15 до 30 років виділяють три групи років певної водності: багатоводну групу років ($P < 33,3 \%$), середню за водністю групу років ($33,3 \% \leq P \leq 66,7 \%$) і маловодну групу років ($P > 66,7 \%$). При тривалості спостережень більше 30 років, виділяють п'ять груп: дуже багатоводну групу років ($P < 16,7 \%$), багатоводну групу ($16,7 \% \leq P < 33,3 \%$), середню за водністю групу років ($33,3 \% \leq P \leq 66,7 \%$), маловодну ($66,7 \% < P \leq 83,3 \%$) і дуже маловодну групу ($P > 83,3 \%$).

При виконанні даної роботи поставлено задачу виділення реальних років, які б відображали особливості формування водності у той чи інший кліматичний період. Вирішення цієї задачі пов'язане із визначенням забезпеченості водності кожного розрахункового року на базі даних кліматичних сценаріїв, тобто за метеорологічною інформацією.

Першим кроком такого роду досліджень було встановлення водності року в залежності від величини $\beta_H = \frac{X}{E_m}$, яка представляє собою співвідношення ресурсів тепла E_m та вологи (X). Забезпеченість річного стоку P бралася рівною забезпеченості величини β_X . Справедливість такого підходу проілюстрована на рис. 6.3, де на прикладі р. Савранка, яка розташована на прилеглий території та характеризується стабільним підземним живленням й незначним впливом водогосподарських перетворень, показане існування статистично значущого зв'язку між забезпеченістю величин річного стоку q та значень β_X [210].

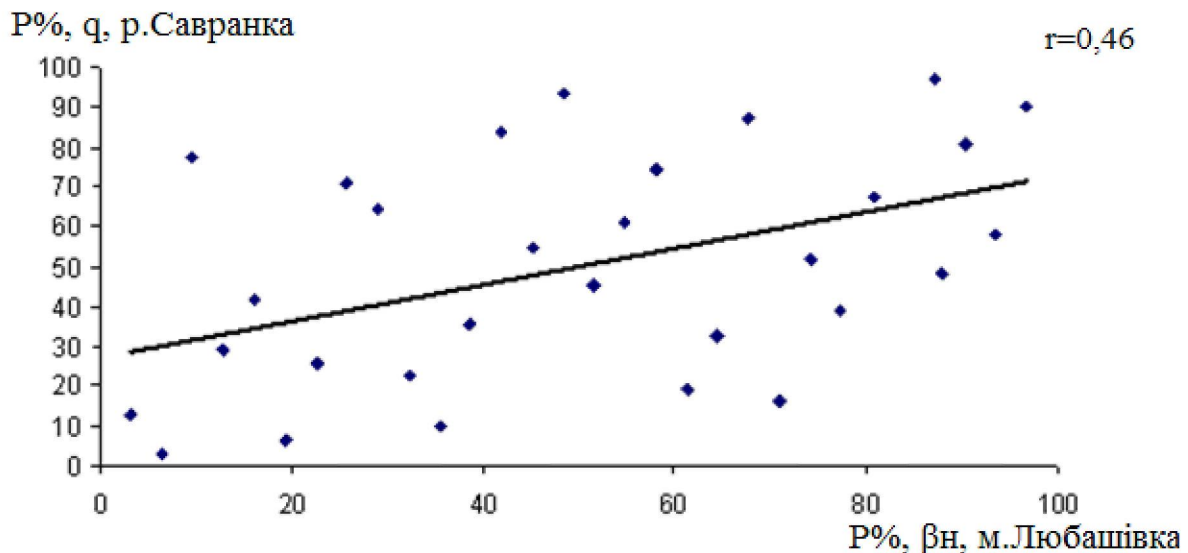


Рисунок 6.3 – Зв'язок між значеннями забезпеченості стоку q та метеорологічного показника β_Y , r – коефіцієнт кореляції

Повторюваність числа випадків, коли визначена за β_X забезпеченість року для періоду 1951-2011рр. співпадала з фактичною (дуже багатоводна, середня за водністю, маловодна, дуже маловодна) для водозбору р.Савранка-с.Осички становила 52% [211], для р.Тилігул-с.Березівка - 33% [212].

Ураховуючи складність формування стоку на території Північно-Західного Причорномор'я та наявність великої кількості чинників, що впливають на водність річок, для пошуку залежностей водності року від метеорологічних чинників була застосована модель множинної регресії із покроковим вибором оптимальних предикторів [207]. У зв'язку із тим, що стік річки Куяльник значно перетворений водогосподарською діяльністю, а гідрометричні спостереження розпочалися лише у 1986р., побудова рівнянь множинної лінійної регресії з метою визначення забезпеченості водності річки Великий Куяльник була реалізована для гідрологічного аналогу р. Тилігул. У розділі 3 була проілюстрована наявність досить тісного зв'язку між річним стоком у створі р. Куяльник-с. Северинівка та р.Тилігул – с. Березівка (див.рис.3.9). Рівняння лінійної регресії має вигляд

$$Y_{\text{Куяльник}} = 0,812Y_{\text{Тилігул}} - 2,05, r = 0.84, \quad (6.1)$$

де – $Y_{\text{Куяльник}}$ річний стік у створі р. Куяльник-с. Северинівка, мм;

$Y_{\text{Тилігул}}$ – річний стік у створі р. Тилігул – с. Березівка, мм.

На основі отриманого рівняння парної лінійної регресії (6.1) відбувалося відновлення даних р. Куяльник до 1986 р. Обидві річки (Куяльник та Тилігул) знаходяться на території Північно-Західного

Причорномор'я, їхні водозбори межують. Коливання клімату, а отже і водності має бути практично однаковим. Однак, річка Тилігул у порівнянні із річкою Куяльник має більшу площу водозбору ($F = 3550 \text{ км}^2$), менший об'єм наповнення ставків ($W = 10,2 \text{ млн. м}^3$) та меншу площу водної поверхні штучних водойм ($f_B = 0,22\%$). Нагадаємо, що для річки великий Куяльник характеристики F , W та f_B становлять 1860 км^2 , $15,6 \text{ млн. м}^3$ та $f_B = 0,33\%$, відповідно. Отже, р. Великий Куяльник у значно більшій мірі ніж р. Тилігул підлягає впливу водогосподарських перетворень, тому для аналізу закономірностей коливань водності і їх зв'язку із коливаннями метеорологічних показників були використані результати досліджень р. Тилігул [213]. У цих дослідженнях як предиктори, які відображають метеорологічні умови формування стоку, розглядалися: показник

посушливості/зволоженості клімату $\beta_X = \frac{X}{E_m}$, річна сума опадів, середня

річна температура повітря, сума температур повітря за зимовий період, сума температур теплого періоду, сума опадів за весняний та осінній періоди, стандартизований індекс опадів та сумарного випаровування (SPEI) [214]. Тривалість розглядуваного періоду становила 59 років (1953-2011 рр.). Рівняння множинної лінійної регресії були побудовані за даними усього розрахункового періоду (1953-2011 рр.), до та після 1989 р.

Аналіз отриманих для створу р. Тилігул – с. Березівка рівнянь множинної регресії дозволив обрати для подальших розрахунків рівняння такого виду

$$\tilde{Y}_i = 139\beta_{X_{зимi}} + 0,132 \sum_X^{XI} X_{i-1} - 0,819 \sum_{XII} t_i - 24,2; R=0,78, \quad (6.2)$$

де \tilde{Y}_i – розрахунковий шар стоку за рік, який обумовлений метеорологічними умовами, мм;

$\beta_{X_{зимi}}$ – показник зволоженості/посушливості зимового періоду розрахункового року;

$\sum_X^{XI} X_{i-1}$ – сума опадів за осінній період (з жовтня по листопад) у попередній (до розрахункового) рік, мм;

$\sum_{XII} t_i$ – сума температур повітря за зимовий період (з грудня по лютий) минулого та розрахункового років, °C;

i – розрахунковий рік.

При побудові рівняння (6.2) були використані метеорологічні дані, осереднені по метеостанціям Одеса та Любашівка. Повторюваністю випадків, коли прогноз забезпеченості стоку річки Тилігул за рівнянням (6.2) справджувався, становив 75%.

Дослідження сценарних даних по р. Тилігул показали, що середні місячні температури та суми річних опадів розподіляються однаково при розгляді різних точок – вузлів, які припадали на водозбір Тилігульського лиману. Для розрахунків може бути обрана одна точка, яка знаходиться у центрі водозбору. Дані по цій точці знаходяться на лінії рівних значень при порівнянні із осередненими значеннями по метеорологічних станціях Одеса та Любашівка. Для р. Тилігул такою точкою була визнана точка 4 [41], для річки Куяльник такою точкою є точка 10.

Для кожного розрахункового кліматичного періоду за даними точки 10 та рівнянням (6.2) визначалися значення \tilde{Y}_i . Надалі виконувалися перерахунки для Куяльницького лиману з використанням (6.1). Отриманий ряд підлягав ранжуванню (розташуванню в убутному порядку) та визначенні емпіричної забезпеченості стоку р. В.Куяльник. Для установленної водності кожного характерного року установлювалася відповідна емпірична забезпеченість.

У подальшому установлена забезпеченість водності річок використовувалась для розрахунків річного та середнього місячного стоку р. Куяльник за період 1990-2098 рр. (додаток А).

6.4 Визначення типових (характерних) років

Величина стоку x заданої забезпеченості $P(x)$ визначається за обраним законом розподілу $f(x)$, тобто стає справедливим рівняння виду [215]

$$P(x) = \int_x^{\infty} f(x) dx, \quad (6.3)$$

де $P(x)$ - функція забезпеченості випадкової величини x ;

$f(x)$ - функція щільності розподілу випадкової величини x .

Із (6.3) або за таблицею ординат обраного закону розподілу установлюється шукане x . При цьому приймається, що задані статистичні параметри розподілу відповідають параметрам генеральної сукупності. Для використання найбільш поширених законів розподілу випадкової величини

необхідно задати такі статистичні параметри як математичне сподівання m_x , коефіцієнт варіації C_V , коефіцієнт асиметрії C_S або відношення C_S/C_V . Визначення стоку заданої забезпеченості за законом Пірсона III відбувається за допомогою чисел Форстера (Φ_P)

$$\Phi_P(P, C_S) = \frac{x_P - m_x}{\sigma_x} = \frac{k_P - 1}{C_V}, \quad (6.4)$$

звідки

$$x_P = m_x + \Phi_P \sigma_x = m_x (1 + \Phi_P C_V), \quad (6.5)$$

де P - забезпеченість.

Трьохпараметричний гама-розподіл С.М. Крицького та М.Ф. Менкеля до розрахунків стоку не застосовувався через вихід оцінок статистичних параметрів річного стоку за межі номограм. Отримані значення стоку різної забезпеченості для виділених кліматичних періодів та річок дозволяють виконати аналіз розподілу річного стоку по роках. Як вже зазначалось, характерними за водністю роками є: багатоводний рік забезпеченістю $P=25\%$, середній - $P=50\%$, маловодний - $P=75\%$ та дуже маловодний - $P=95\%$.

Характерні за водністю роки мають характеризуватися типовим розподілом. Типовим розподілом є найчастіше повторюваний для даної річки (або групи річок) у багаторічному розрізі розподіл стоку протягом року. Типові схеми особливо придатні для класифікації річок та гідрологічного районування. Зазвичай використовуються моделі так званих фіктивних та характерних за водністю років (багатоводних, середньоводних або маловодних). Схеми фіктивного розподілу можна одержати в результаті осереднення витрат води по місяцях та сезонах, а потім подавати їх у вигляді модульних коефіцієнтів або у відсотках від річної суми.

Внутрішньорічний розподіл стоку, як правило, обчислюється не за календарними, а за водогосподарськими роками, починаючи з багатоводного сезону. При цьому розглядаються не календарні, а так звані водогосподарські роки, які починаються з весни поточного року, охоплюють повністю літо, осінь і частку зими (до 31.12), а також зимові місяці іншого року (тобто починаючи з 1.01, і до початку весни).

Метод середніх розподілів стоку за водогосподарський рік заданої градації водності заснований на розрахунку середніх відносних розподілів місячних об'ємів стоку від річної їх суми шляхом усереднювання відносних значень стоку кожного і-го місяця за всі роки, що входять в ту або іншу

градацію водності. Ці розподіли, що відображають реальні співвідношення (частки) місячного стоку в річному його об'ємі, є типовими розподілами, властивими кожній окремій групі характерних за водністю років. Абсолютний розрахунковий розподіл місячного стоку, виражений в об'ємах (км^3 або 10^6 м^3) води, обчислюється шляхом множення місячних часток стоку градації водності на об'єм стоку за водогосподарський рік заданої ймовірності перевищення. Останній визначається за кривою забезпеченості водності [159].

Запропонований метод може використовуватись не тільки для визначення середніх розподілів стоку за характерні групи років, вибрані за принципом попадання в заданий розрахунковий діапазон ймовірності перевищення стоку окремих водогосподарських років (у задану градацію водності). При вирішенні певних практичних завдань цей метод може бути застосований для оцінки середнього внутрішньорічного розподілу стоку для серій (угруповань) характерних за водністю водогосподарських років, послідовних один за одним.

При розрахунках природного середнього місячного стоку була використана карта-схема районування території України по внутрішньорічному розподілу стоку, де представлені типові схеми розподілу по сезонах та місяцях у характерні по водності роки (багатоводний, середній, маловодний, дуже маловодний), які детально описані в [118] та наведені у таблиці 6.1. Внутрішньорічний розподіл побутового стоку визначався за даними спостережень (табл.6.2).

Таблиця 6.1 – Внутрішньорічний розподіл стоку (у відсотках) природного річного стоку р.В.Куяльник

Водність року	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II
Середній	20,4	51,6	6,8	6,6	3,1	0,0	0,0	0,0	0,0	1,9	2,8	6,8
Багатоводний	22,2	49,2	5,3	4,9	4,0	2,9	0,0	0,0	0,1	3,6	2,9	4,9
Маловодний	24,9	48,9	12,6	8,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,6

Таблиця 6.2 – Внутрішньорічний розподіл стоку (у відсотках) побутового річного стоку р.В.Куяльник

[illegible]

Типові за водністю роки визначалися як роки з емпіричною забезпеченістю водності, яка дорівнює 50% і обумовлює вибір середнього за водністю року; 75% і обумовлює вибір маловодного року; 25%, яка є підставою для вибору багатоводного року.

6.5 Аналіз отриманих результатів

Оцінка кліматичних чинників формування стоку р. В.Куяльник (табл.6.3) у обрані розрахункові кліматичні періоди показала, що їх середня багаторічна величина буде поступово зменшуватись на протязі ХХІ сторіччя (лише на 2,5%). Середня багаторічна величина максимально можливого випаровування, навпаки, суттєво зростатиме (на 18%). Середня багаторічна величина кліматичного річного стоку зменшиться з 19,6 мм до 11,1 мм, а природного - з 10,2 мм (1990-2030 рр.) до 5,8 мм (2071-2098 рр.). Відповідно зростатиме мінливість та асиметрія статистичного розподілу.

Таблиця 6.3 – Статистичні параметри річного природного стоку р.В.Куяльник у розрахункові кліматичні періоди (за сценарієм А1В)

Період	Норма річних опадів \bar{X} , мм	Норма максимально можл. випаровування, \bar{E}_m , мм	Норма кліматичного стоку, \bar{Y}_K , мм	Площа водозбору, F , км ²	Перехідний коефіцієнт, $K_{ПЕР}$	Параметри природного річного стоку			
						$\bar{Y}_{ПР}$, мм	$\bar{W}_{ПР}$, м ³ 10 ⁶	C_V	C_S
1990-2030 рр.	508	1015	19,6	1860	0,52	10,2	19,0	1,48	2,52
2031-2070 рр.	509	1101	15,7	1860	0,52	8,2	15,2	1,70	2,89
2071-2098 р.р.	495	1200	11,1	1860	0,52	5,8	10,7	2,11	3,58

Якщо прийняти рівень зарегулювання річок штучними водоймами, який відповідає сьогоденню (табл.6.4), то можна побачити, що антропогенний вплив буде посилюватися протягом ХХІ сторіччя. Водність р. Великий Куяльник буде зменшуватися, через вплив антропогенних чинників, насамперед, штучних водойм посилиться.

Таблиця 6.4 – Розрахунок коефіцієнтів антропогенного впливу у розрахункові кліматичні періоди р. В.Куяльник при рівні водогосподарської діяльності, який відповідає сучасним умовам (за сценарієм А1В)

Період	\overline{W}_{PP} , млн.м ³	Об'єм штучних водойм, млн. м ³	f_B , %	Коефіцієнти антропогенного впливу $K_{\overline{Y}}$ при різних чинниках водогосподарської діяльності		
				напов- нення	додаткове випаровування	сумарний коефіцієнт
1990-2030 рр.	19,0	7,8	0,33	0,59	0,92	0,51
2031-2070 рр.	15,2	7,8	0,33	0,49	0,91	0,40
2071-2098 рр.	10,7	7,8	0,33	0,27	0,90	0,17

Визначені статистичні параметри річного побутового стоку для наведених кліматичних періодів вказують на ще більше зменшення об'ємів припливу прісних вод до Куяльницького лиману, яке у період 2071-2098 рр. досягне 1,8 млн.м³ (табл.6.5).

Таблиця 6.5 – Статистичні параметри річного побутового стоку р. В.Куяльник у розрахункові кліматичні періоди (сценарій А1В)

Період	Норма природного річного стоку, \overline{W}_{PP} , млн.м ³	Параметри побутового річного стоку			
		$\overline{Y}_{ПОВ}$, мм	$\overline{W}_{ПОВ}$, м ³ 10 ⁶	C_V	C_S
1990-2030 рр.	19,0	5,21	9,69	2,25	3,82
2031-2070 рр.	15,2	3,28	6,11	2,99	5,09
2071-2098 рр.	10,7	0,98	1,81	6,35	10,8

Зміна кліматичних показників по роках різної водності (табл.6.6) дозволяє зробити висновки про зменшення ролі весняного водопілля у формуванні стоку р. Великий Куяльник. Значна роль холодних зим у формуванні водності річки ще зберігатиметься у період 1990-2030 рр. Багатоводні роки цього кліматичного періоду характеризуються наявністю

від'ємних сум середніх місячних температур повітря $\sum_{XII} t_i$, °C. У період 2031-2070 рр. із зростанням температур повітря у зимовий сезон і їх переходом до додатних значень посилюється зміна показників посушливості $\beta_{Xpичн_i}$ та $\beta_{Xзим_i}$. У кліматичний період 2071-2098 рр. на формування водності року найбільше впливає попередня зволоженість $\sum_X^{XI} X_{i-1}$.

Таблиця 6.6 – Кліматичні показники у характерні за водністю роки

Період	Водність	Рік	$X_{pичн_i}$, мм	$t_{pичн_i}$, °C	$\sum_X^{XI} X_{i-1}$, мм	$\sum_{XII} t_i$, °C	$\beta_{Xpичн_i}$	$\beta_{Xзим_i}$
1990-2030 рр.	Багатоводний	2021	589	9,3	50	-6,1	0,67	0,19
	Багатоводний	2024	549	10,5	165	-2,0	0,58	0,10
	Середній	2025	470	11,6	85	3,8	0,45	0,15
	Середній	2016	512	11,4	73	1,5	0,53	0,15
	Маловодний	2018	392	11,3	96	2,2	0,36	0,06
	Маловодний	2022	469	11,5	88	-0,6	0,44	0,05
2031-2070 рр.	Багатоводний	2040	524	12,0	105	4,1	0,50	0,15
	Багатоводний	2047	574	12,1	43	-0,2	0,55	0,17
	Середній	2036	466	11,1	76	3,1	0,46	0,13
	Середній	2061	555	13,2	79	6,1	0,49	0,13
	Маловодний	2039	467	12,2	32	7,6	0,44	0,10
	Маловодний	2031	374	13,0	54	4,2	0,32	0,12
2071-2098 рр.	Багатоводний	2093	554	13,6	146	15,6	0,50	0,15
	Багатоводний	2071	373	13,5	103	9,3	0,31	0,16
	Середній	2075	503	13,2	75	6,0	0,42	0,09
	Середній	2078	350	15,0	87	10,5	0,31	0,08
	Маловодний	2090	446	15,9	43	16,4	0,35	0,10

Для визначення впливу водності річок на сольовий режим та гідрологічні характеристики Куяльницького лиману як типові або характерні були обрані ті роки, в яких найбільш яскраво проявляються особливі риси кожного із розрахункових кліматичних періодів (табл. 6.7).

Розрахункові значення витрат води у характерні за водністю роки наведені у додатку А.

Таблиця 6.7 – Кліматичні показники у характерні за водністю роки, визначені у період 1990-2098 рр., р. В.Куяльник

Період	Водність	Рік	$X_{річн_i}$, мм	$t_{річн_i}$, °C	$\frac{XI}{X} \sum X_{i-1}$, мм	$\frac{II}{XIII} \sum t_i$, °C	$\beta_{Xрічн_i}$	$\beta_{Xзим_i}$
1990-2030 рр.	Багатоводний	2021	589	9,3	50	-6,1	0,67	0,19
	Середній	2025	470	11,6	85	3,8	0,45	0,15
	Маловодний	2018	392	11,3	96	2,2	0,36	0,06
2031-2070 рр.	Багатоводний	2047	574	12,1	43	-0,2	0,55	0,17
	Середній	2036	466	11,1	76	3,1	0,46	0,13
	Маловодний	2031	374	13,0	54	4,2	0,32	0,12
2071-2098 рр.	Багатоводний	2093	554	13,6	146	15,6	0,50	0,15
	Середній	2078	350	15,0	87	10,5	0,31	0,08
	Маловодний	2086	320	15,5	87	10,3	0,22	0,05

Установлено, що через зміни клімату кількість місяців, коли середній місячний стік дорівнював нулю, буде зростати. На річці В.Куяльник у XXI сторіччі за природних умов формування стоку повторюваність місяців з відсутністю стоку зростає з 44.5% у період 1990-2030 рр. до 56.5 % у 2071-2098 рр. для природних умов формування стоку (табл.6.8). Якщо ж рівень водогосподарської діяльності залишиться незмінним, по повторюваність місяців із нульовим середнім місячним стоком буде зростати від 72,0% до 79.5%. Зневоднення річки за рахунок сумісної дії посилення посушливості клімату та водогосподарської діяльності добре проілюстроване на рис. 6.4 та 6.6. Ряди середнього місячного природного та побутового стоку у XXI сторіччя, отримані за моделлю “клімат-стік”, наведені у додатку Б.

Таблиця 6.8 – Повторюваність місяців, коли річковий стік р. В.Куяльник був відсутній (сценарій A1B)

Характеристика	Період		
	1990-2030 рр.	2031-2070 рр.	2071-2098 рр.
Природний стік			
Кількість місяців з відсутністю стоку	219	233	190
Загальна кількість місяців в періоді	492	480	336
Повторюваність місяців з відсутністю стоку, %	44,5	48,5	56,5
Побутовий стік			
Кількість місяців	354	357	267
Загальна кількість місяців в періоді	492	480	336
Повторюваність місяців з відсутністю стоку, %	72,0	74,4	79,5

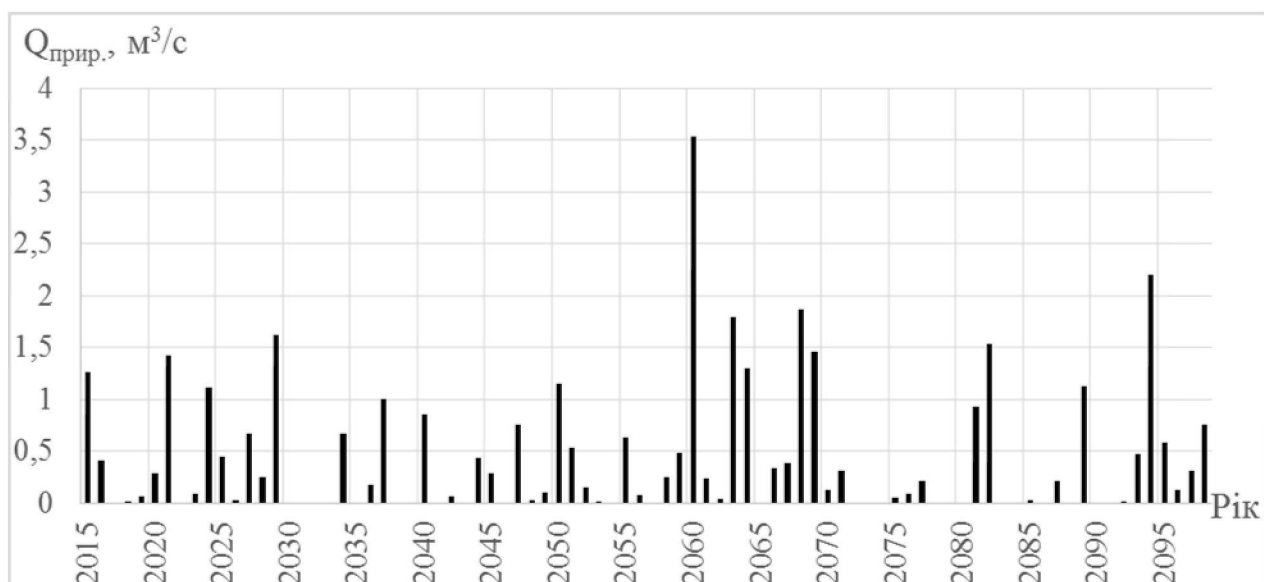


Рисунок 6.4 – Середньомісячні витрати (м³/с) природного стоку р. В.Куяльник, розраховані за даними сценарію М10 для модельного періоду з 2015 по 2098 рр.

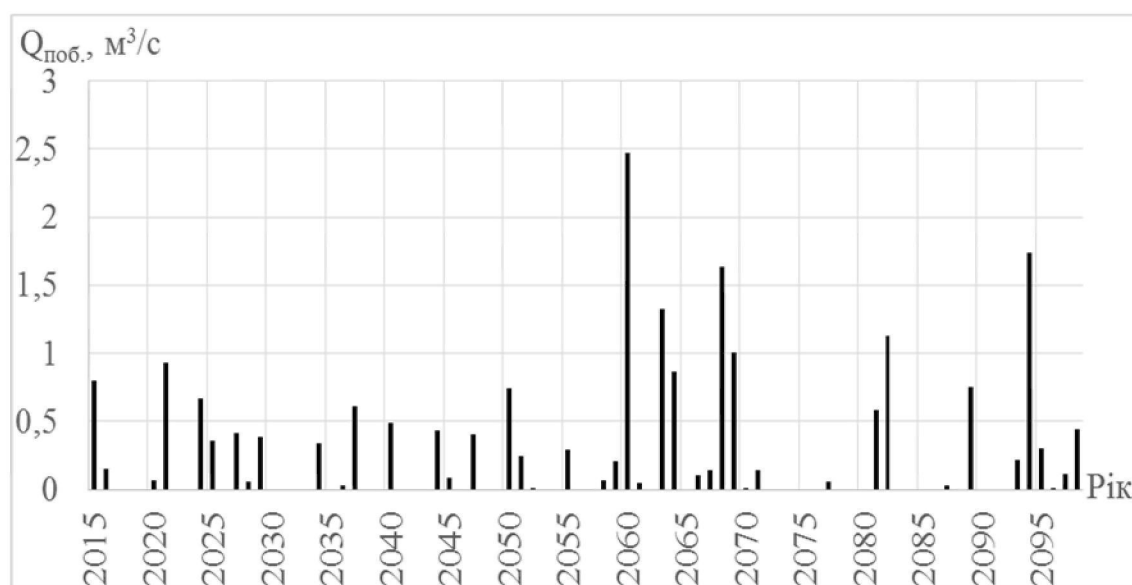


Рисунок 6.5 – Середньомісячні витрати (м³/с) побутового стоку р. В.Куяльник, розраховані за даними сценарію М10 для модельного періоду з 2015 по 2098 рр.

7 НОРМУВАННЯ ВОДОГОСПОДАРСЬКОЇ ДІЯЛЬНОСТІ НА ВОДОЗБОРАХ РІЧОК З УРАХУВАННЯМ ЗМІН КЛІМАТУ

7.1 Облік водогосподарських споруд в басейні Куяльницького лиману

У роботі використані матеріали Облводресурсів до 2012 року включно та дані супутникових знімків, наведені в Google Earth [216] та Google Maps [127].

За даними Облводресурсів в басейні річки Великий Куяльник станом на 2012 рік знаходилося 59 штучних водойм (табл. 7.1), у тому числі:

- на території Ананіївського району – 2 ставки (загальна площа 22,3 га, об'єм повний – 0,083 млн.м³);
- на території Березівського району – 14 ставків (загальна площа 63,3 га, об'єм повний – 0,532 млн.м³);
- на території Іванівського району – 7 ставків (загальна площа 84,29 га, об'єм повний – 4,572 млн.м³);
- на території Подільського району – 24 ставки (загальна площа 65,59 га, об'єм повний – 1,196 млн.м³);
- на території Ширяївського району – 12 ставків (загальна площа 162,4 га, об'єм повний – 1.373 млн.м³).

За розподілом штучних водойм по гідрографічній мережі встановлено, що на головній річці (р. Великий Куяльник) розміщено 7 ставків, на р. Кошківка – 20 (з них 19 – на р. Кошківка, 1 – в б. Райкова), в б. Силівка (Яр Дубовий) – 3 штучних об'єкта (права притока б. Таргар – 2 ставки), на р. Суха Журівка – 5 ставків, один з яких розташований на її лівій притоці; в балках Плоска та Розалівська – 7 та 4 ставків відповідно. Ще 13 ставків знаходяться на балках без назв (рис. 7.1). І лише для шести ставків були складені паспорти: Новоолександрівський ставок (ДРПВІ "Укрпівдендипроводгосп", 2008 р., термін дії до 2013 р.), Северинівське водосховище (ДРПВІ "Укрпівдендипроводгосп", 2004 р., термін дії до 2009 р.), Силівське водосховище (РНЦ "Фобіус", 2006 р., термін дії до 2011 р.), Григор'ївський ставок №1 (ДРПВІ "Укрпівдендипроводгосп", 2005 р., термін дії до 2010 р.), Григор'ївський ставок №2 (ДРПВІ "Укрпівдендипроводгосп", 2005 р., термін дії до 2010 р.), Ширяївський ставок №1 (РНЦ "Фобіус", 2011 р., термін дії до 2016 р.).

Куяльницький лиман приймає води б. Чоботарівка з лівого берегу, з правого берегу – р. Довбока, р. Кубанка, б. Гільдендорфська, б. Корсунцівська. У басейні Куяльницького лиману налічується 7 штучних водойм, з них на б. Чоботарівка – 2, р. Кубанка – 1, б. Гільдендорфська – 4.

Таблиця 7.1 – Інформація про штучні водойми в басейні річки Великий Куяльник та Куяльницький лиман

№ п/п	Назва річки	Назва ставка	Місцезнаходження водотоку в русловій мережі р. Великий Куяльник	Об'єм, млн м ³	Площа водної поверхні, га	Район	Населений пункт	Координати
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Великий Куяльник	<i>Без назви</i>	Основне русло			Іванівський	с. Северинівка	46.834, 30.591
2	Великий Куяльник	<i>Без назви</i>	Основне русло			Іванівський	с. Северинівка	46.846, 30.582
3	Великий Куяльник	<i>Без назви</i>	Основне русло			Іванівський	с. Адамівка	46.868, 30.543
4	Великий Куяльник	<i>Без назви</i>	Основне русло			Іванівський	смт. Іванівка	46.963, 30.470
5	Великий Куяльник	<i>Без назви</i>	Основне русло			Іванівський	смт. Іванівка	46.996, 30.475
6	Великий Куяльник	<i>Без назви</i>	Основне русло			Іванівський	с. Богунове	47.021, 30.465
7*	Великий Куяльник	<i>Осинівський ставок</i>	Основне русло	–	5.0	Ширяївський	с.Осинівка (Яринославівка)	47.351, 30.230
8*	Великий Куяльник	<i>Без назви</i>	Основне русло	–	2.0	Ширяївський	смт. Ширяєво	47.363, 30.204
9*	Великий Куяльник	<i>Ширяївський ставок №1</i>	Основне русло	0.714	51.0	Ширяївський	смт. Ширяєво	47.392, 30.176
10	Великий Куяльник	<i>Без назви</i>	Основне русло			Ширяївський	с. Мар'янівка	47.431, 30.159
11	Великий Куяльник	<i>Без назви</i>	Основне русло			Ширяївський	с. Мар'янівка	47.432, 30.154
12	Великий Куяльник	<i>Без назви</i>	Основне русло			Ширяївський	с. Мар'янівка	47.433, 30.136
13	Великий Куяльник	<i>Без назви</i>	Основне русло			Ширяївський	с. Мар'янівка	47.442, 30.123

Продовження табл. 7.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
14	Великий Куяльник	<i>Без назви</i>	Основне русло			Ширяївський	с. Трудолюбівка	47.459, 30.105
15	Великий Куяльник	<i>Без назви</i>	Основне русло			Ширяївський	с. Трудолюбівка	47.462, 30.099
16	Великий Куяльник	<i>Без назви</i>	Основне русло			Ширяївський	с. Долинське	47.520, 29.954
17*	Великий Куяльник	<i>Без назви</i>	Основне русло	0,06	1,8	Ананьївський	с. Долинське	47.526, 29.923
18*	Великий Куяльник	<i>Без назви</i>	Основне русло	0.008	0.80	Котовський	с. Мала Олександрівка	47.696, 29.628
19*	Великий Куяльник	<i>Без назви</i>	Основне русло	–	1.50	Котовський	с. Куяльник	47.726, 29.560
20*	Великий Куяльник	<i>Без назви</i>	Основне русло	–	0.90	Котовський	с. Куяльник	47.728, 29.558
21*	Кошківка	Без назви	ліва притока р. В.Куяльник	0.020	2.0	Іванівський	с. Руська Слобідка	46.872, 30.589
22*	Кошківка	Без назви	ліва притока р. В.Куяльник	0.210	14.0	Іванівський	с. Благоево	46.937, 30.650
23*	Кошківка	Северинівське водосховище	ліва притока р. В.Куяльник	2.560	1.46	Іванівський	с. Благоево	46.925, 30.665
24*	Кошківка	Без назви	ліва притока р. В.Куяльник	0.06	6.0	Іванівський	с. Гудевічево	46.990, 30.679
25	Кошківка	Без назви	ліва притока р. В.Куяльник			Іванівський	с.Калинівка	47.044, 30.646
26	Кошківка	Без назви	ліва притока р. В.Куяльник			Іванівський	с. Соколове	47.091, 30.609
27*	Кошківка	Без назви	ліва притока р. В.Куяльник	0.041	4.1	Березівський	с. Розквіт	47.127, 30.593
28*	Кошківка	Без назви	ліва притока р. В.Куяльник	–	3.5	Березівський	с. Розквіт	47.123, 30.607
29*	Кошківка	Без назви	ліва притока р. В.Куяльник	–	3.5	Березівський	с. Розквіт	47.121, 30.606

Продовження табл. 7.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
30*	Кошківка	Без назви	ліва притока р. В.Куяльник	0.031	3.1	Березівський	с. Розквіт	47.127, 30.601
31*	Кошківка	Без назви	ліва притока р. В.Куяльник	0.009	0.9	Березівський	с. Розквіт	47.127, 30.600
32*	Кошківка	Без назви	ліва притока р. В.Куяльник	0.076	7.6	Березівський	с. Новакове	47.114, 30.592
33*	Кошківка	Без назви	ліва притока р. В.Куяльник	–	2.8	Березівський	с. Новакове	47.118, 30.587
34*	Кошківка	Без назви	ліва притока р. В.Куяльник	0.065	6.5	Іванівський	с. Джугастрове	47.096, 30.574
35*	Кошківка	Без назви	ліва притока р. В.Куяльник	–	8.2	Березівський	с. Кринички	47.133, 30.578
36*	Кошківка	Без назви	ліва притока р. В.Куяльник	–	1.5	Березівський	с. Котовське	47.160, 30.581
37	Кошківка	Без назви	ліва притока р. В.Куяльник			Ширяївський	с. Маркевичеве	47.161, 30.533
38	Кошківка	Без назви	ліва притока р. В.Куяльник			Ширяївський	с. Червонобаговиця	47.171, 30.549
39*	Кошківка	Без назви	ліва притока р. В.Куяльник	–	8.4	Березівський	с. Шутове	47.207, 30.538
40*	Кошківка	Без назви	ліва притока р. В.Куяльник	–	7.0	Березівський	с. Шутове	47.197, 30.540
41*	Кошківка	Без назви	ліва притока р. В.Куяльник	0.375	2.1	Березівський	с. Шутове	47.193, 30.542
42*	Кошківка	Без назви	ліва притока р. В.Куяльник	–	2.5	Березівський	с. Шутове	47.188, 30.544
43*	Кошківка	Без назви	ліва притока р. В.Куяльник	–	8.1	Березівський	с. Шутове	47.182, 30.547
44	б. Глибока (Райкова)	Без назви	права притока р. Кошківка			Іванівський	с. Тарасівка	47.011, 30.595
45	б. Глибока (Райкова)	Без назви	права притока р. Кошківка			Іванівський	с. Тарасівка	47.026, 30.557

Продовження табл. 7.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
46*	б. Глибока (Райкова)	Новомиколаїв- ський ставок 1	права притока р. Кошківка	0.257	2.33	Іванівський	с. Тарасівка	47.044, 30.542
47*	б. Силівка	Силівське водосховище	ліва притока р. В. Куяльник	1.40	52.0	Іванівський	с. Силівка	47.099, 30.469
48	б. Силівка	Без назви	ліва притока р. В. Куяльник			Іванівський	с. Силівка	47.112, 30.473
49	б. Силівка	Без назви	ліва притока р. В. Куяльник			Іванівський	с. Силівка	47.117, 30.463
50	б. Силівка	Без назви	ліва притока р. В. Куяльник			Ширяївський	с. Ганно-Покровка	47.133, 30.492
51	б. Силівка	Без назви	ліва притока р. В. Куяльник			Березівський	с. Веселе	47.228, 30.489
52	б. Силівка	Без назви	ліва притока р. В. Куяльник			Березівський	с. Веселе	47.243, 30.491
53	б. Силівка	Без назви	ліва притока р. В. Куяльник			Березівський	с. Веселе	47.235, 30.460
54	б. Силівка	Без назви	ліва притока р. В. Куяльник			Березівський	с. Веселе	47.222, 30.461
55	б. Таргар	Без назви	права притока б. Силівка			Ширяївський	с. Новоукраїнка	47.186, 30.459
56*	б. Таргар	Без назви	права притока б. Силівка		9,0	Ширяївський	с. Крижанівка	47.231, 30.420
57*	б. Таргар	Без назви	права притока б. Силівка		28,0	Ширяївський	с. Крижанівка	47.246, 30.421
58	б. Таргар	Без назви	права притока б. Силівка			Ширяївський	с. Крижанівка	47.251, 30.421
59	Балка без назви № 2	Без назви	ліва притока р. В. Куяльник			Ширяївський	Між селищами Новостепанівка та Новопетрівка-Друга	47.187, 30.388
60	Балка без назви № 2	Без назви	ліва притока р. В. Куяльник			Ширяївський	Між селищами Новостепанівка та Новопетрівка-Друга	47.190, 30.390

Продовження табл. 7.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
61	Балка без назви № 2	Без назви	ліва притока р. В. Куяльник			Ширяївський	с. Польове	47.285, 30.403
62	Балка без назви № 3	Без назви	права притока р. В. Куяльник			Ширяївський	Між селами Жовтень та Новопетрівка-Перша	47.212, 30.363
63	Балка без назви «Жовтень»	Без назви	ліва притока р. В. Куяльник			Ширяївський	с. Тимофіївка	47.313, 30.357
64	Балка без назви «Жовтень»	Без назви	ліва притока р. В. Куяльник			Ширяївський	с. Тимофіївка	47.321, 30.341
65*	Балка без назви № 4	Без назви	ліва притока р. В. Куяльник	0.066	5.0	Ширяївський	с. Рєвова	47.283, 30.318
66*	Балка без назви № 4	Без назви	ліва притока р. В. Куяльник	0.000	7.0	Ширяївський	с. Рєвова	47.312, 30.319
67*	Балка без назви № 4	Без назви	ліва притока р. В. Куяльник	–	3.0	Ширяївський	с. Рєвова	47.282, 30.317
68	Балка без назви № 4	Без назви	ліва притока р. В. Куяльник			Ширяївський	с. Старі Маяки	47.345, 30.313
69*	Балка без назви № 5	Без назви	ліва притока р. В. Куяльник	–	5.0	Ширяївський	с. Йосипівка	47.413, 30.201
70*	Суха Журівка	Без назви	ліва притока р. В. Куяльник	0.235	15.70	Ширяївський	с. Мар'янівка	47.457, 30.147
71*	Балка без назви	Мар'ївський ставок	ліва притока р. Суха Журівка	–	6.0	Ширяївський	с. Мар'янівка	47.452, 30.160
72*	Суха Журівка	Григор'ївський ставок 1	ліва притока р. В. Куяльник	0.358	26.70	Ширяївський	с. Суха Журавка	47.496, 30.103
73	Суха Журівка	Без назви	ліва притока р. В. Куяльник			Ширяївський	с. Суха Журівка	47.488, 30.117
74*	Суха Журівка	Без назви	ліва притока р. В. Куяльник	0.023	20.5	Анан'ївський	с. Новоолександрівка	47.500, 30.096
75	Суха Журівка	Без назви	ліва притока р. В. Куяльник			Анан'ївський	с. Новоолександрівка	47.535, 30.041

Продовження табл. 7.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
76	Балка без назви	Без назви	ліва притока р. Суха Журівка			Ананьївський	с. Бондарі	47.606, 29.965
77	Балка без назви	Без назви	ліва притока р. Суха Журівка			Ананьївський	с. Пасицели	47.618, 29.939
78	Балка без назви	Без назви	ліва притока р. Суха Журівка			Ананьївський	с. Пасицели	47.613, 29.941
79*	Суха Журівка	Без назви	ліва притока р. Великий Куяльник	0.081	8.10	Котовський	с. Оброчне	47.633, 29.821
80	Балка без назви	Без назви	ліва притока р. Суха Журівка			Котовський (Подільський)	с. Чапаївка	47.672, 29.770
81	Балка без назви	Без назви	ліва притока р. Суха Журівка			Котовський (Подільський)	с. Чапаївка	47.676, 29.762
82	Суха Журівка	Без назви	ліва притока р. В. Куяльник			Котовський (Подільський)	с. Вишневе	47.683, 29.736
83	Суха Журівка	Без назви	ліва притока р. В. Куяльник			Котовський (Подільський)	с. Вишневе	47.690, 29.744
84	Балка без назви № 7	Без назви	права притока р. В. Куяльник			Котовський (Подільський)	с. Мала Кіндратівка	47.569, 29.730
85	Балка без назви № 7	Без назви	права притока р. В. Куяльник			Котовський (Подільський)	с. Мала Кіндратівка	47.596, 29.716
86	Балка без назви	Без назви	ліва притока балки без назви № 7			Котовський (Подільський)	с. Мала Петрівка	47.582, 29.769
87	Балка без назви	Без назви	ліва притока балки без назви № 7			Котовський (Подільський)	с. Мардарівка	47.549, 29.776

Продовження табл. 7.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
88	Балка без назви	Без назви	ліва притока балки без назви № 7			Котовський (Подільський)	с. Мала Кіндратівка	47.589, 29.731
89	Балка без назви № 7	Без назви	права притока р. В. Куяльник			Котовський (Подільський)	с. Петрівка	47.617, 29.673
90	Балка без назви № 7	Без назви	права притока р. В. Куяльник			Котовський (Подільський)	с. Петрівка	47.627, 29.657
91	Балка без назви № 7	Без назви	права притока р. В. Куяльник			Котовський (Подільський)	с. Петрівка	47.632, 29.653
92	Балка без назви	Без назви	ліва притока балки без назви № 7			Котовський (Подільський)	с. Петрівка	47.617, 29.685
93	Балка без назви	Без назви	ліва притока балки без назви № 7			Котовський (Подільський)	с. Петрівка	47.618, 29.684
94	Балка без назви № 7	Без назви	права притока р. В. Куяльник			Котовський (Подільський)	с. Новоселівка	47.653, 29.603
95*	Балка без назви № 7 (Новоселівська)	Без назви	права притока р. В. Куяльник	0.027	2.70	Котовський	с. Новоселівка	47.654, 29.602
96	Балка без назви № 7	Без назви	права притока р. В. Куяльник			Котовський (Подільський)	с. Новоселівка	47.656, 29.593
97	Балка без назви	Без назви	права притока балки без назви № 7			Котовський (Подільський)	с. Новоселівка	47.644, 29.611
98	Балка без назви	Без назви	права притока балки без назви № 7			Котовський (Подільський)	с. Новоселівка	47.644, 29.601
99*	Б. Карказей	Без назви	ліва притока балки без назви № 7	0.044	4.40	Котовський	с. Новоселівка	47.647, 29.628
100*	Б. Карказей	Без назви	ліва притока балки без назви № 7	0.005	0.50	Котовський	с. Новоселівка	47.649, 29.625

Продовження табл. 7.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
101*	Б. Карказей	Без назви	ліва притока балки без назви № 7	0.005	0.50	Котовський	с. Новоселівка	47.650, 29.623
102*	Балка без назви № 8	Без назви	ліва притока р. В. Куяльник	–	8.60	Котовський	с. Качурівка	47.633, 29.778
103*	Балка без назви № 9	Без назви	права притока р. В. Куяльник	0.036	3.60	Котовський (Подільський)	с. Федорівка	47.642, 29.680
104*	Балка без назви № 9	Без назви	права притока р. В. Куяльник	0.008	0.8	Котовський (Подільський)	с. Федорівка	47.642, 29.682
105*	Балка без назви № 10	Без назви	ліва притока р. Великий К.	0.069	6.9	Котовський	с. Андріївка	47.712, 29.610
106*	Балка без назви № 10	Без назви	ліва притока р. В. Куяльник	–	9.59	Котовський	с. Чапаївка	47.722, 29.609
107*	Б. Плоска	Без назви	права притока р. Великий Куяльник	0.011	1.1	Котовський	с. Розалівка	47.715, 29.572
108*	Б. Плоска	Без назви	права притока р. В. Куяльник	0.001	0.1	Котовський	с. Розалівка	47.713, 29.580
109*	Б. Плоска	Без назви	права притока р. В. Куяльник	0.006	0.60	Котовський	с. Розалівка	47.714, 29.577
110*	Б. Плоска	Без назви	права притока р. В. Куяльник	0.043	4.30	Котовський	с. Розалівка	47.709, 29.589
111*	Б. Плоска	Без назви	права притока р. В. Куяльник	0.008	0.80	Котовський	с. Розалівка	47.715, 29.574
112*	Б. Плоска	Без назви	права притока р. В. Куяльник	0.041	4.10	Котовський	с. Розалівка	47.707, 29.587
113*	Б. Плоска	Без назви	права притока р. В. Куяльник	0.001	0.10	Котовський	с. Розалівка	47.712, 29.582
114	Балка без назви	Без назви	права притока б. Розалівка			Котовський (Подільський)	с. Розалівка	47.689, 29.612
115	Балка без назви	Без назви	права притока б. Розалівка			Котовський (Подільський)	с. Розалівка	47.688, 29.613

Продовження табл. 7.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
116	Балка без назви	Без назви	права притока б. Розалівка			Котовський (Подільський)	с. Розалівка	47.687, 29.593
117*	Балка без назви	Без назви	права притока б. Розалівка	0.020	2.0	Котовський	с. Соболівка	47.694, 29.580
118*	Балка без назви	Без назви	права притока б. Розалівка	0.022	2.2	Котовський	с. Соболівка	47.687, 29.593
119	Б. Розалівська	Без назви	права притока б. Куяльник			Котовський (Подільський)	с. Розалівка	47.695, 29.628
120*	Б. Розалівська	Без назви	права притока б. Куяльник	0.260	0.90	Котовський	с. Вестернічани	47.717, 29.564
121*	Б. Розалівська	Без назви	права притока б. Куяльник			Котовський	с. Вестернічани	47.719, 29.561
Куяльницький лиман								
122*	Б. Чоботарівка	Без назви	Куяльницький лиман (лівий берег)	0,050	1	Біляївський	с.Іллінка	46.689, 30.639
123*	Б. Чоботарівка	Без назви	Куяльницький лиман (лівий берег)	0,050	1,8	Біляївський	с.Іллінка	46.685, 30.639
124	Довбока	Без назви	Куяльницький лиман (правий берег)			Іванівський	с.Василівка	46.767, 30.668
125	Довбока	Без назви	Куяльницький лиман (правий берег)			Іванівський	с.Созонівка	46.779, 30.667
126	Довбока	Без назви	Куяльницький лиман (правий берег)			Іванівський	с.Павлінка	46.802, 30.672
127	Довбока	Без назви	Куяльницький лиман (правий берег)			Іванівський	с.Павлінка	46.816, 30.673
128*	Кубанка	Без назви	Куяльницький лиман (ліва притока)	0.315	4.6	Комінтер- нівський	с. Кубанка	46.695, 30.735
129	Кубанка	Без назви	Куяльницький лиман (правий берег)			Комінтер- нівський	с. Кубанка	46.701, 30.732
130	Кубанка	Без назви	Куяльницький лиман (правий берег)			Комінтер- нівський	с. Кубанка	46.728, 30.726

Продовження табл. 7.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
131	Без назви	Без назви	права притока р.Кубанка			Комінтер- нівський	с. Кубанка	46.744, 30.719
132	Без назви	Без назви	ліва притока б.Дикарська			Комінтер- нівський	с. Кубанка	46.684, 30.756
133	б.Дикарська	Без назви	ліва притока р.Кубанка			Комінтер- нівський	с.Креמידівка	46.738, 30.765
134	б.Букачі	Без назви	ліва притока р.Кубанка			Іванівський	с.Шаманівка	46.793, 30.728
135	Без назви	Без назви	ліва притока б. Букачі			Іванівський	с. Нові Шомполи	46.861, 30.729
136	Без назви	Без назви	ліва притока б. Букачі			Іванівський	с. Нові Шомполи	46.852, 30.733
137*	б. Гіндельф- дорська	Без назви	Куяльницький лиман (правий берег)	0.070	9.7	Комінтер- нівський	с. Красносілка	46.626, 30.769
138*	б. Гіндельф- дорська	Куліндоровс ький ставок № 3	Куяльницький лиман (правий берег)	0.144	3.35	Комінтер- нівський	с. Красносілка	46.632, 30.777
139*	б. Гіндельф- дорська	Без назви	Куяльницький лиман (правий берег)	0.070	1.90	Комінтер- нівський	с. Красносілка	46.634, 30.773
140*	б. Гіндельф- дорська	Без назви	Куяльницький лиман (правий берег)	0.070	1.30	Комінтер- нівський	с. Красносілка	46.634, 30.784

* – штучні водні об’єкти, які занесені до «Каталогу водних об’єктів місцевого значення за адміністративними районами Одеської області» (станом на 2012 рік).

Жодна з штучних водойм басейну Куяльницького лиману не занесене до каталогу водних об'єктів загальнодержавного значення.

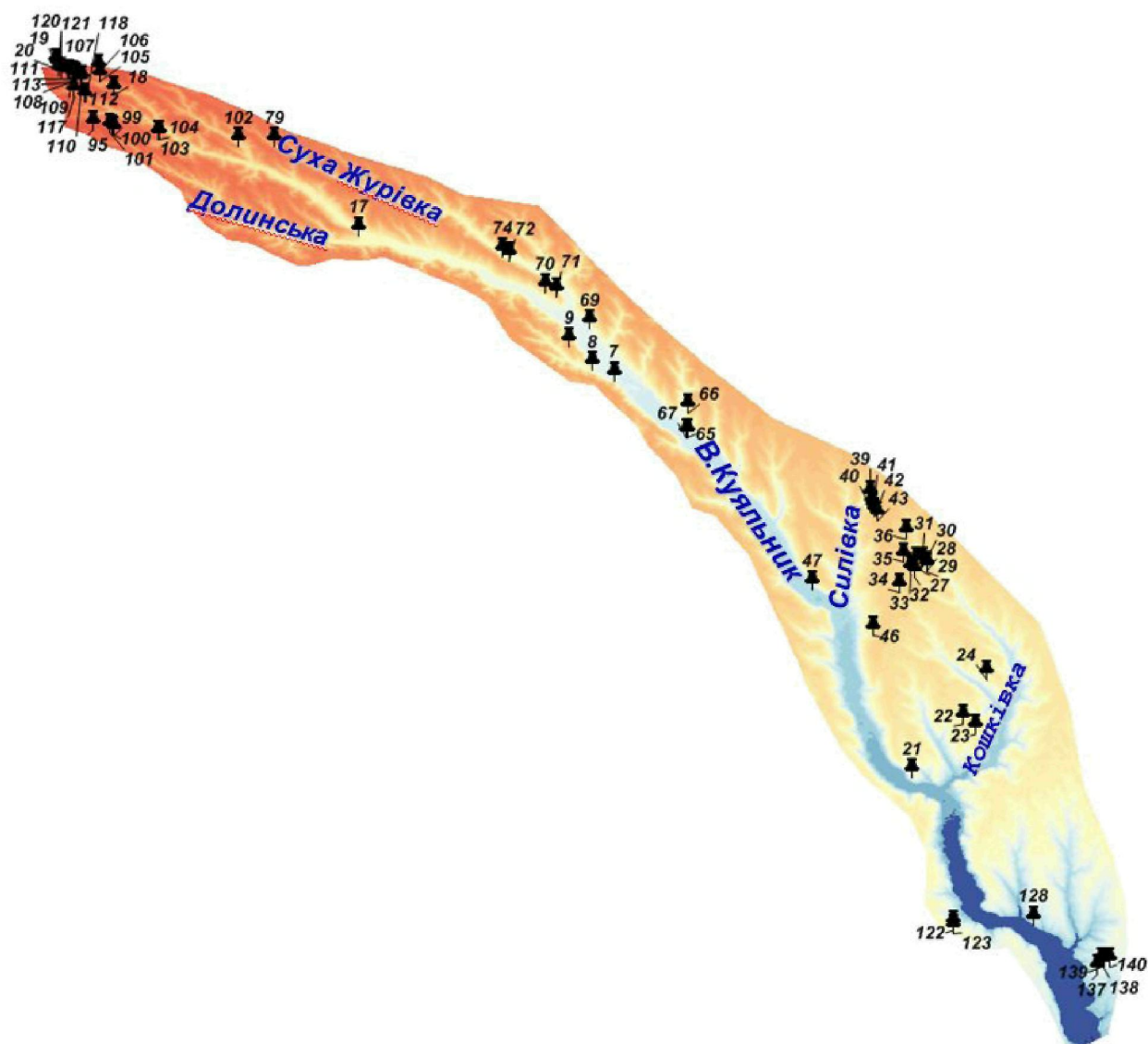


Рисунок 7.1 – Карта розташування штучних водних об'єктів в басейні Куяльницького лиману за даними Обласного управління водних ресурсів (станом на 2012 рік).

За адміністративним розподілом: у Біляївському районі знаходяться 2 штучних водоймища (загальна площа 2,8 га, об'єм повний становить 0,1 млн.м³), у Комінтернівському районі розташовано 5 водоймищ (загальна площа дорівнює 20,85 га, об'єм повний – 0,669 млн.м³). Найбільша щільність водних об'єктів припадає на верхів'я річки Великий Куяльник та балку Силівка.

На основі аналізу растрових карт з масштабом 1:100000 та 1:200000, векторні карти місцевості та рельєфу поверхні з масштабом 1:20000 і горизонталями через 20 м, а також сучасних супутникових знімків

досліджуваної території (за програмами Google Earth, Google Maps), було виявлено додаткових 74 штучних об'єктів в басейні Куяльницького лиману (табл. 7.1), які не показані у даних Облводресурсів. Додаткові матеріали, отримані по супутниковим знімкам, для водотоків Довбока, Кубанка, балка Гільдендорфська, Корсунцівська цілком відповідають тим, що були отримані в результаті експедиційних досліджень ОДЕКУ 2012р. та наведені у розділі 4. Установлений такий розподіл водойм по адміністративним районам:

- на території Ананьївського району – 4;
- на території Березівського району – 4;
- на території Іванівського району – 19;
- на території Подільського району – 23;
- на території Ширяївського району – 19;
- на території Комінтернівського району – 5.

На рис. 7.2 представлено розташування штучних водойм в басейні Куяльницького лиману, які були виявлені додатково (у порівнянні із даними Облводресурсів) із супутникових знімків. Найбільше скупчення штучних водойм у цьому випадку спостерігається знов таки у верхній частині басейну річки Великий Куяльник та на ділянці між б. Силівкою (Яр дубовий) та р. Суха Журівка.

За розподілом додатково виявлених штучних водойм по гідрографічній мережі встановлено, що на головній річці (р. Великий Куяльник) розміщується 13 ставків, на р. Кошківка з притоками – 6, в б. Силівка (Яр Дубовий) – 9 штучних об'єктів, на р. Суха Журівка – 9 ставків; в балці Розалівська знаходиться 4 ставки. Ще 21 ставок був виявлений в балках без назв (рис. 7.2).

7.2. Нормування водогосподарської діяльності в існуючих умовах та за кліматичними сценарієм А1В

За даними експедиційних вимірювань ОДЕКУ та Облводресурсів [118] сумарна площа водної поверхні штучних водойм, які створені і діють на водозборах річок Великий Куяльник, Довбока, Кубанка та Гільдендорфська дорівнює відповідно 6,23 млн.м²; 0,20 млн.м²; 0,39 млн.м²; 0,16 млн.м², а об'єми – 15,6 млн.м³; 0,37 млн. м³; 0,97 млн. м³; 0,35 млн. м³.

Якщо представити водозбір р. Великий Куяльник у вигляді окремих частин, то за даними Облводресурсів р. Кошківка (Кошкова), б. Силівка, р. Суха Журівка, верхня частина р. Великий Куяльник та ділянка між впадінням б. Силівка та р. Суха Журівка, то вони за площею штучних водойм

характеризуються такими значеннями: 0,82 млн.м²; 0,63 млн.м²; 0,77 млн.м²; 0,59 млн.м²; 0,27 млн.м², відповідно; а об'єми становлять 3,70 млн. м³; 3,07 млн. м³; 0,697 млн. м³; 0,615 млн. м³; 1,02 млн. м³, відповідно.



Рисунок 7.2 – Карта розташування штучних водних об'єктів в басейні Куяльницького лиману, які не увійшли до списку Обласного управління водних ресурсів (станом на 2016 рік)

Для установлення площ водної поверхні та об'ємів водойм, установлених за супутниковими знімками, були використані дані Облводресурсів, які осереднювалися у межах різних частин водозбору Куяльницького лиману з різною щільністю штучних водойм. Розміри площ водної поверхні та об'ємів таких водойм установлювалися на основі осереднення даних по вже дослідженим водоймам, спираючись на постулати інваріантності в морфології водойм посушливої зони [218]. Розглядаючи

ставки та водосховища Причорноморської низовини як генетично однорідну групу водойм, А.І. Молдованов довів можливість визначення морфометричних характеристик не для однієї, а для декількох водойм, розташованих у межах водозбору [219].

Пізніше постулати інваріантності були використані Н.С. Лободою та Є.Д. Гопченко для визначення характеристик штучних водойм півдня України та Молдови [220].

Для визначення розмірів додатково виявлених штучних водних об'єктів на водозборі р. Великий Куяльник було виділено чотири зони різного навантаження штучними об'єктами: р. Кошківка, б. Силівка, верхня частина басейну р. Великий Куяльник та її середня частина (рис. 7.3). Для кожної ділянки були осереднені значення площ водних поверхонь та повних об'ємів штучних водойм за тими даними, що вже були у нашому розпорядженні (за даними Облводресурсів)

$$W_{сер i} = W_{сум} / k \quad (7.1)$$

$$F_{сер i} = F_{сум} / k, \quad (7.2)$$

де $W_{сум}$, $F_{сум}$ – суми об'ємів та площ на окремих ділянках за даними Облводресурсів;

k – кількість штучних водойм на цій ділянці.

Визначені осереднені значення були задіяні для установаження сумарних об'ємів та площ водного дзеркала додатково виявлених водойм. Якщо відомі $W_{сер i}$, $F_{сер i}$, а також кількість додаткових штучних водних об'єктів, то на кожній ділянці можна встановити площі їх водного дзеркала $F_{неврахов}$ та об'єми $W_{неврахов}$:

а) верхів'я р. Великий Куяльник

$$\begin{array}{lll} W_{сум}=0,615 \text{ млн. м}^3 & W_{сер i}=0,036 \text{ млн. м}^3 & W_{неврахов}=0,651 \text{ млн. м}^3 \\ F_{сум}=0,588 \text{ км}^2 & F_{сер i}=0,026 \text{ км}^2 & F_{неврахов}=0,460 \text{ км}^2 \end{array}$$

б) р. Кошківка

$$\begin{array}{lll} W_{сум}=3,704 \text{ млн. м}^3 & W_{сер i}=0,337 \text{ млн. м}^3 & W_{неврахов}=1,350 \text{ млн. м}^3 \\ F_{сум}=0,816 \text{ км}^2 & F_{сер i}=0,043 \text{ км}^2 & F_{неврахов}=0,172 \text{ км}^2 \end{array}$$

в) р. Суха Журівка

$$\begin{array}{lll} W_{сум}=0,697 \text{ млн. м}^3 & W_{сер i}=0,174 \text{ млн. м}^3 & W_{неврахов}=1,568 \text{ млн. м}^3 \\ F_{сум}=0,77 \text{ км}^2 & F_{сер i}=0,154 \text{ км}^2 & F_{неврахов}=1,386 \text{ км}^2 \end{array}$$

г) р. В.Куяльник (ділянка б.Силівка–р.Суха Журівка)

$$\begin{array}{lll} W_{сум}=1,015 \text{ млн. м}^3 & W_{сер i}=0,254 \text{ млн. м}^3 & W_{неврахов}=3,302 \text{ млн. м}^3 \\ F_{сум}=0,270 \text{ км}^2 & F_{сер i}=0,045 \text{ км}^2 & F_{неврахов}=0,585 \text{ км}^2 \end{array}$$

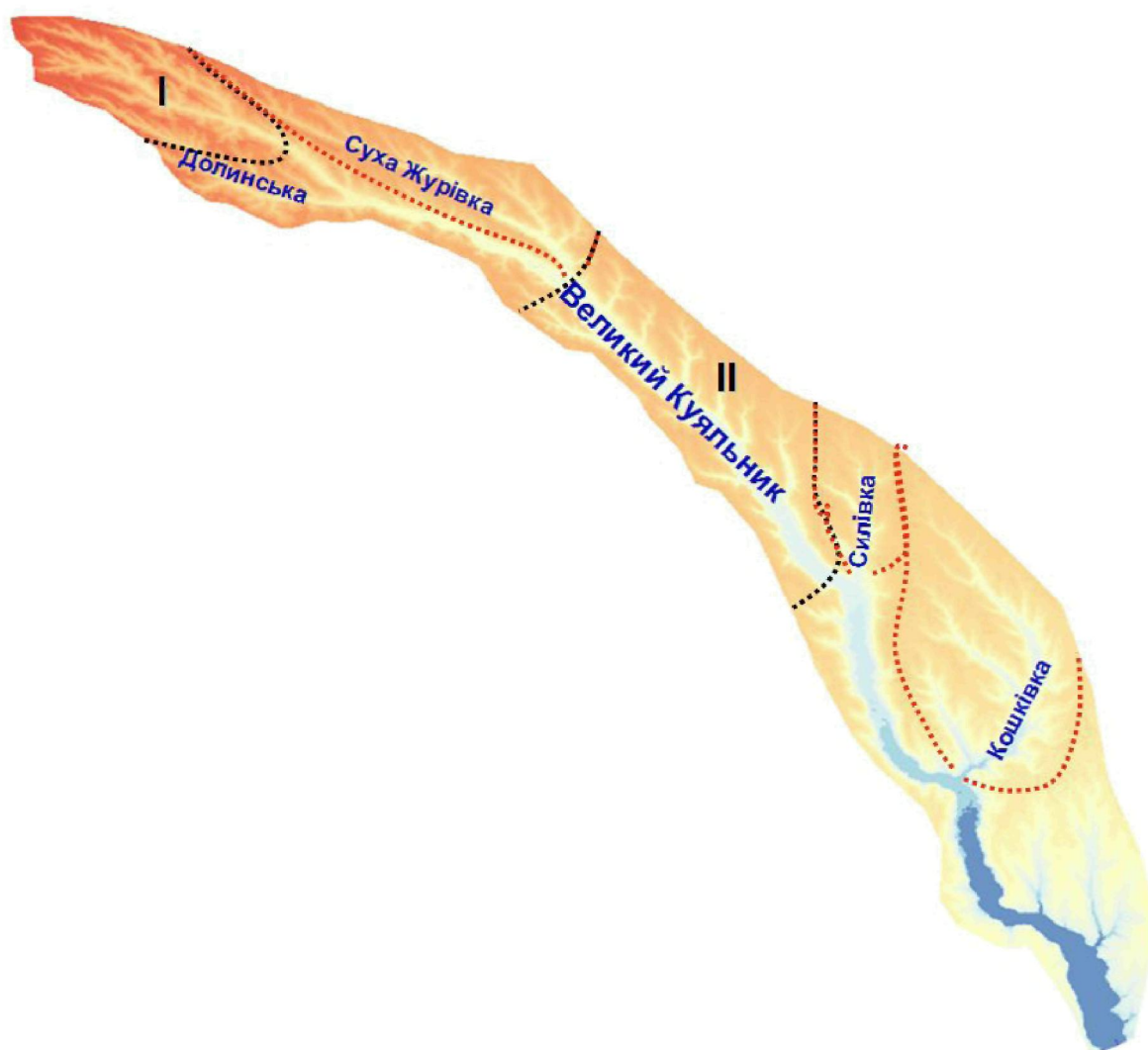


Рисунок 7.3 – Виділення територій із різною щільністю штучних водних об'єктів в басейні Куяльницького лиману

I – верхня частина басейну Куяльницького лиману;

II – р. Великий Куяльник (р. Силівка – р. Суха Журівка)

----- – водозбори річок Суха Журівка, Кошківка, балки Силівка.

За даними на 2012р. на річці Великий Куяльник сумарний об'єм штучних водойм (див. табл. 4.4) становив 15,6 млн. м³, а за уточненими з використанням супутникових знімків даних - 15,89 млн.м³, тобто відмінності знаходяться у межах 2%. Проте при розгляді окремих річок коректування об'ємів штучних водойм може суттєво вплинути на результати (табл.7.2, табл.7.3). Наприклад, у зоні формування стоку (верхня частина водозбору р. Великий Куяльник) коефіцієнт сумарного впливу штучних водойм за рахунок уточнення даних змінився з 0,90 до 0,75. Остання цифра означає, що вже у верхів'ї за рахунок впливу штучних водойм може бути затримано 25% сформованого стоку. Для річки Суха Журівка коефіцієнт впливу штучних водойм за рахунок уточнення змінився з 0,75 до 0,09.

Таблиця 7.2 – Оцінка впливу штучних водойм на середній багаторічний природний об'єм стоку річок у басейні р. Великий Куяльник (за даними Облводресурсів)

Річка	\overline{W}_{PP} , млн.м ³	Об'єм штучних водойм, млн. м ³	f_B , %	Коефіцієнти антропогенного впливу $K_{\overline{Y}}$ при різних чинниках водогосподарської діяльності		
				наповнення $k_{\overline{Y},3}$	додаткове випаровування $k'_{\overline{Y}}$	сумарний коефіцієнт $K_{\overline{Y}}$
р. Кошкова/ Кошківка	3,50	3,70	0,19	0,00	0,97	0,00
б. Силівка	1,53	3,07	0,44	0,00	0,93	0,00
р.Суха Журівка	3,29	0,623	0,39	0,81	0,94	0,75
Верхів'я р. В.Куяльник	7,85	0,615	0,16	0,92	0,98	0,90
р. В.Куяльник (б.Силівка– р.Суха Журівка)	3,41	1,02	0,28	0,70	0,96	0,66

Таблиця 7.3 – Оцінка впливу штучних водойм на середній багаторічний об'єм природного стоку річок у басейні р. Великий Куяльник

Річка	\overline{W}_{PP} , млн.м ³	Об'єм штучних водойм, млн. м ³	f_B , %	Коефіцієнти антропогенного впливу $K_{\overline{Y}}$ при різних чинниках водогосподарської діяльності		
				наповнення $k_{\overline{Y},3}$	додаткове випаровування $k'_{\overline{Y}}$	сумарний коефіцієнт $K_{\overline{Y}}$
р. Кошкова	3,50	5,05	0,36	0,00	0,94	0,00
б. Силівка	1,53	3,07	0,37	0,00	0,94	0,00
р.Суха Журівка	3,29	2,19	1,78	0,33	0,76	0,09
Верхів'я р. В.Куяльник	7,85	1,27	0,62	0,84	0,91	0,75
р. В.Куяльник (Силівка–Суха Журівка)	3,41	4,32	0,87	0,00	0,87	0,00

Виходячи із цього можна зробити висновок, що моніторинг штучних водойм є необхідною складовою дослідження річок Куяльницького лиману і особливо р. Великий Куяльник, оскільки створення несанкціонованих штучних водойм може значуще впливати на приплив води від річок до лиману.

У розділі 4 було доведено, що найбільш точно розрахункові характеристики побутового стоку відповідають фактичним при 40% наповненні штучних водойм. У табл.7.4 наведені додаткові розрахунки по притоках р. В.Куяльник, звідки витікає, що серед приток р. Великий Куяльник найбільший вплив штучних водойм припадає на б. Силівка та р. Кошківка.

Таблиця 7.4 – Оцінка впливу штучних водойм на середній багаторічний об'єм природного стоку річок водозбору р. Великий Куяльник (за уточненими даними супутникових знімків) при їх 40%-му заповненні

Річка	$\overline{W}_{\text{пр}}$, млн.м ³	Об'єм штучних водойм, млн. м ³	f_B , %	Коефіцієнти антропогенного впливу $K_{\overline{Y}}$ при різних чинниках водогосподарської діяльності		
				наповнення $k_{\overline{Y},3}$	додаткове випаровування $k'_{\overline{Y}}$	сумарний коефіцієнт $K_{\overline{Y}}$
р. Кошкова	3,50	2,02	0,36	0,42	0,94	0,36
б. Силівка	1,53	1,23	0,37	0,20	0,94	0,14
р. Суха Журівка	3,29	0,876	1,78	0,73	0,76	0,49
Верхів'я р. В. Куяльник	7,85	0,506	0,62	0,94	0,91	0,85
р. В. Куяльник (Силівка–Суха Журівка)	3,41	1,73	0,87	0,49	0,87	0,36

Коефіцієнти сумарного впливу штучних водойм можуть бути використані для оптимізаційного моделювання роботи водогосподарських систем з метою виявлення найбільш сприятливих умов їхньої роботи, або, навпаки, для визначення граничних масштабів водогосподарських перетворень. Через те, що втрати на додаткове випаровування є не дуже значними, основну увагу необхідно приділити наповненню штучних водойм. Для того, щоб річка функціонувала в «природних» умовах, коефіцієнт заповнення $k_{\overline{Y},3}$ не повинен бути нижче 0,9, тобто на заповнення штучних водойм має виділятися не більше 10% від багаторічної норми річного стоку

(табл. 7.5). Як видно з цієї таблиці для жодного з водотоків Куяльницького лиману ця умова не виконується. Фактичні об'єми штучних водойм значно перевищують рекомендовані: для р.Довбока - у 8 разів; р.Кубанка – у 15 разів; р. Кошківка – в 14 разів; для б. Силівка – в 20 разів; для р. Суха Журівка – в 6,7 разів; для р. В.Куяльник (на ділянці між впадінням б. Силівка–р. Суха Журівка) – в 12 разів. До 1989р. при 40% заповненні ставків в басейні Куяльницького лиману у середньому за багаторічний період використовувалось на заповнення більше 17 млн.м³, а рекомендованим до використання є об'єм близько 2 млн.м³, отже втрати на заповнення штучних водойм перебільшують допустимі більш ніж у 8 разів.

Таблиця 7.5 – Рекомендований об'єм наповнення штучних водойм у кліматичних умовах минулого сторіччя (до початку впливу змін клімату)

Річка	\overline{W}_{PP} , млн.м ³	Повний об'єм штучних водойм за даними спостережень, млн. м ³	Рекомендований об'єм штучних водойм, млн. м ³
р.В.Куяльник	20,4	15,6	2,04
р.Довбока	0,460	0,37	0,046
р.Кубанка	0,628	0,97*	0,063
Гільдендорфська	0,0518	0,354*	0,005
р. Кошківка	3,50	5,052*	0,35
б. Силівка	1,53	3,066*	0,153
р.Суха Журівка	3,29	2,191	0,329
Верхів'я	7,85	1,266	0,785
р. В.Куяльник			
р. В.Куяльник (Силівка–Суха Журівка)	3,41	4,317*	0,341
<i>*Виділені об'єми заповнення штучних водойм, які перевищують стік річки</i>			

Дослідження впливу змін клімату на водні ресурси річок Північно-Західного Причорномор'я, у тому числі й на річки водозбору Куяльницького лиману представлені у розділах 5 та 6, показали, що на всіх річках та балках у ХХІ сторіччі виявлена чітка тенденція до зменшення припливу прісних вод.

Порівняння величин середніх багаторічних величин стоку у XXI сторіччі (сценарій A1B) із існуючим на сьогоднішній повним об'ємом штучних водойм (табл.7.6) дозволило виявити, що на 2021-2050рр. забезпечити усі водойми водою під силу лише річці Великий Куяльник. З урахуванням результатів моделювання річного стоку р. Великий Куяльник за даними сценарію A1B, наведеному у розділі 6, середній багаторічний природний стік цієї річки у кліматичний період (2071-2098 рр.) буде становити 10,0 млн.м³ (див. табл. 6.4). Отже, навіть ця найбільша із приток Куяльницького лиману не зможе задовольнити сучасних потреб у використанні ставків. Відповідно із зменшенням природного (обумовленого кліматичними чинниками) стоку необхідно зменшувати і допустимі об'єми наповнення ставків (табл. 7.6).

Таблиця 7.6 – Рекомендовані об'єми штучних водойм в кліматичних умовах XXI сторіччя за сценарієм A1B для періоду 2021-2050 рр.

Річка	\overline{W}_{PP} (до 1989р.), млн.м ³	\overline{W}_{PP} (2021-2050рр.), млн.м ³	Повний об'єм штучних водойм, млн.м ³	Рекомендований об'єм штучних водойм на 2021-2050рр., млн. м ³
р.В.Куяльник	20,4	12,7	15,6	1,270
р.Довбока	0,460	0,219	0,370*	0,022
р.Кубанка	0,628	0,281	0,970*	0,028
б. Гільдендорфська	0,0518	0,0213	0,354*	0,002
р. Кошкова	3,50	1,82	5,05*	0,182
р. Силівка	1,53	0,87	3,07*	0,087
р.Суха Журівка	3,29	2,13	2,19*	0,213
Верхів'я р. В.Куяльник	7,85	4,90	1,27*	0,490
р. В.Куяльник (Силівка–Суха Журівка)	3,41	2,13	4,32*	0,213
<i>Виділені об'єми заповнення штучних водойм, які перевищують стік річки</i>				

Отримані за моделлю “клімат-стік” результати розрахунків природного та побутового стоку за різними сценаріями дозволяють зробити висновок, що у XXI сторіччі збільшення стоку річок водозбору Куяльницького лиману за рахунок кліматичних умов не відбудеться, оскільки посушливість клімату буде зростати. Через зменшення водності річок наслідки створення штучних водойм посиляться, що призведе до незворотного руйнування (зменшення

стоку перевищуватиме 70%) водних ресурсів річок. Для збереження водних ресурсів річок Куяльницького лиману допустимі об'єми заповнення штучних водойм мають не перевищувати 10% від установленого за розрахунками природного (непорушеного господарською діяльністю) середнього багаторічного річного стоку річок. Приплив води від р. В.Куяльник до лиману за рахунок розчищення русла річки від штучних водойм буде становити 12-13 млн.м³.

8 МОДЕЛЬ ВОДНО-СОЛЬОВОГО БАЛАНСУ КУЯЛЬНИЦЬКОГО ЛИМАНУ ТА ЇЇ ВЕРИФІКАЦІЯ

У розділі представлені результати розробки, калібрування та верифікації моделі водно-сольового балансу Куяльницького лиману з розрахунковим кроком один місяць, при різних рівнях наповнення водойми, гідрометеорологічних умовах, водогосподарських перетвореннях (у тому числі пов'язаних із надходженням до лиману морської води з Одеської затоки) на базі архівних даних за період з 1986 по 2016 рр.

8.1 Математична структура моделі водно-сольового балансу лиману

Рівняння водно-сольового балансу Куяльницького лиману можна записати таким чином [118]:

– водного балансу:

$$W_{K,j} = W_{K,j-1} + (W_{P,j} + W_{r,j} + W_{m,j} - W_{E,j}) \Delta t; \quad (8.1)$$

– балансу маси солей:

$$C_{K,j} = C_{K,j-1} + (W_{P,j}S_{P,j} + W_{r,j}S_{r,j} + W_{m,j}S_{m,j}) \Delta t \quad (8.2)$$

де Δt – розрахунковий крок моделі у часі, який брався рівним 1 місяцю;

$W_{K,j-1}$ – об'єм води в лимані наприкінці попереднього (відносно розрахункового) місяця $(j-1)$, млн. м³;

$W_{K,j}$ – об'єм води в лимані наприкінці розрахункового місяця (j) , млн.м³;

$W_{P,j}$ – об'єм атмосферних опадів, що випали на водну поверхню лиману за розрахунковий період (місяць (j)), млн. м³;

$W_{r,j}$ – об'єм припливу води (поверхневого, схилового, підземного стоку) з водозбірного басейну до лиману за місяць (j) , млн. м³;

$W_{m,j}$ – об'єм припливу води з моря трубопроводом «море-лимани» за місяць (j) , млн. м³;

$W_{E,j}$ – об’єм води, що випарився з водної поверхні лиману за місяць (j) , млн. м³;

$C_{K,j-1} = 0,001 W_{K,j-1} S_{K,j-1}$ – маса солей в лимані наприкінці попереднього (відносно розрахункового) місяця $(j-1)$, млн. т;

$C_{K,j} = 0,001 W_{K,j} S_{K,j}$ – маса солей в лимані наприкінці місяця (j) , за який виконується розрахунок, млн. т;

$S_{K,j-1}$ – мінералізація води в лимані наприкінці попереднього (відносно розрахункового) місяця $(j-1)$, г/дм³;

$S_{K,j}$ – мінералізація води в лимані наприкінці місяця (j) , який розраховується, г/дм³;

$S_{P,j}$ – середня мінералізація атмосферних опадів, що випали на водну поверхню лиману за розрахунковий період (місяць (j)), г/дм³;

$S_{r,j}$ – середня за місяць (j) мінералізація припливних вод (поверхневих, схилових, підземних), що надійшли до лиману з його басейну, г/дм³;

$S_{m,j}$ – мінералізація води, що надходить до лиману трубопроводом «море-лимани» за місяць (j) , г/дм³.

На кожному розрахунковому кроці за часом визначається об’єм води в лимані наприкінці розрахункового місяця (j) $W_{K,j} = W_{K,j-1} + \Delta W_{K,j}$. Надалі, із застосуванням функціональних залежностей $\zeta_{K,j} = f(W_{K,j})$ та $F_{K,j} = f(\zeta_{K,j})$ (рис. 8.1 та 8.2), визначаються площа водної поверхні $F_{K,j}$ (млн. м²) і рівень води у лимані $\zeta_{K,j}$ (м БС) наприкінці місяця (j) .

Мінералізація води в лимані наприкінці місяця (j) розраховується таким чином

$$S_{K,j} = \frac{C_{K,j}}{W_{K,j}}. \quad (8.3)$$

У приходній частині рівнянь моделі водно-сольового балансу Куяльницького лиману (8.1) та (8.2), використаних для розрахунку рівнів і мінералізації води лиману, відсутні такі складові як фільтрація морських вод через пересип між лиманом і морем та приплив підземних вод через дно чаші водойми. Це пов’язано з тим, що об’єми вказаних вод є дуже незначними по відношенню до інших складових водно-сольового балансу лиману і становлять десяті та соті частки відсотків або, інколи, 1-2% його приходної частини [39, 68, 74, 118, 221, 222]. Найбільш ґрунтовні дослідження

фільтрації морських вод через пересип та припливу підземних вод через дно чаші водойми виконані в 1995 р. під керівництвом проф. Г.І. Швєбса та представлені в роботі [56], де наведено узагальнення результатів всіх попередніх досліджень цих складових водного балансу лиману та зроблений такий висновок: «Таким образом, доля подземного водообмена лимана, скорее всего, несопоставимо мала по сравнению с его объёмом».

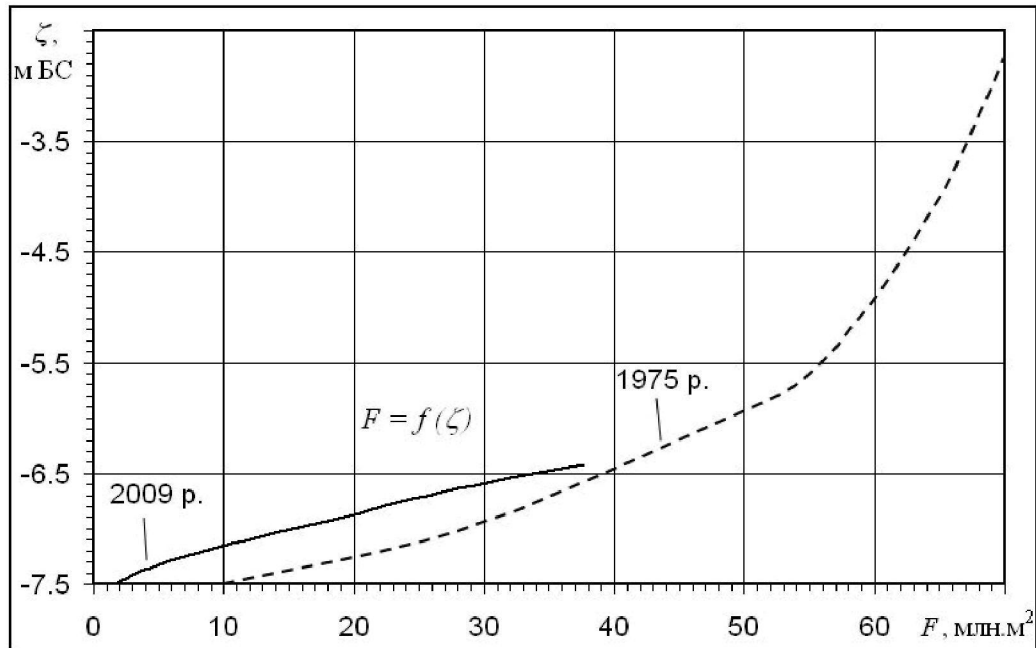


Рисунок 8.1 – Криві площ водної поверхні $F = f(\zeta)$ Куяльницького лиману [118]

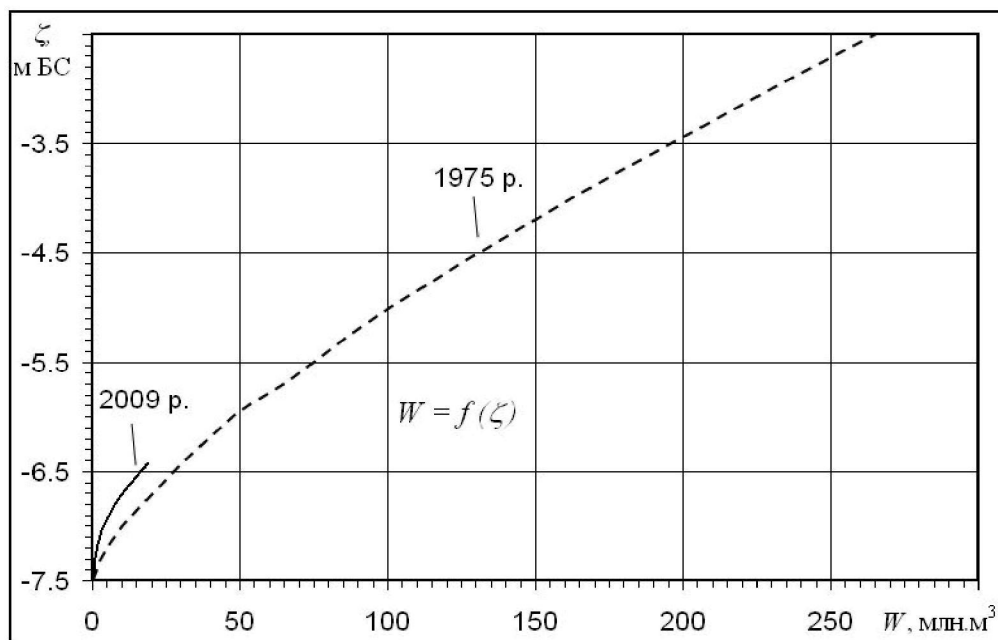


Рисунок 8.2 – Криві об'ємів води $W = f(\zeta)$ Куяльницького лиману [118]

8.2 Визначення об'єму та мінералізації атмосферних опадів

Об'єм атмосферних опадів $W_{P,j}$, млн. м³, що випали на водну поверхню Куяльницького лиману за j -й місяць, визначався за формулою

$$W_{P,j} = P_j F_{j-1}, \quad (8.4)$$

де P_j – шар атмосферних опадів за розрахунковий місяць (j), м;

F_{j-1} – площа водної поверхні лиману наприкінці попереднього (відносно розрахункового) місяця, млн. м².

Для обчислення $W_{P,j}$ використані щомісячні шари атмосферних опадів, визначені за даними вимірювань на метеорологічному посту «Одеса-Куяльник» $P_{K,j}$ (мм) [19, 29] (рис. 8.3). Треба відзначити, що коли дані вимірювань на метеорологічному посту «Одеса-Куяльник» були відсутні, наприклад, майже всі місяці у період з 01.1997 р. по 02.2009 р., значення $P_{K,j}$ обчислювалися за даними про щомісячні шари атмосферних опадів, виміряні на метеостанції «Одеса-Обсерваторія» $P_{O,j}$ (мм) [21, 22, 41], з використанням емпіричних рівнянь, які описують зв'язки між $P_{K,j}$ та $P_{O,j}$ (табл. 8.1).

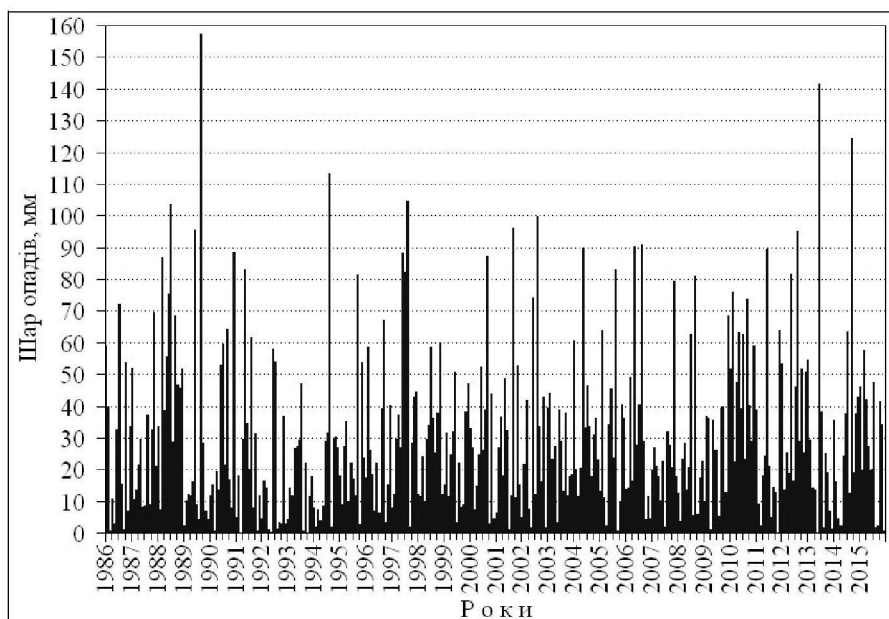


Рисунок 8.3 – Мінливість щомісячних шарів атмосферних опадів $P_{K,j}$ (мм) на метеорологічному посту «Одеса-Куяльник» за період з 01.1986 р. по 12.2015 р.

Таблиця 8.1 – Емпіричні рівняння зв'язків між значеннями щомісячних шарів атмосферних опадів (мм) на метеорологічному посту «Одеса-Куяльник» $P_{K,j}$ та метеостанції «Одеса-Обсерваторія» $P_{O,j}$, отримані за період з 1986 по 2015 рр., r – коефіцієнт кореляції

Місяць	Рівняння зв'язку	r	Місяць	Рівняння зв'язку	r
Січень	$P_{K,I} = 0,538 \cdot P_{O,I}$	0,812	Липень	$P_{K,VII} = 0,663 \cdot P_{O,VII}$	0,667
Лютий	$P_{K,II} = 0,675 \cdot P_{O,II}$	0,935	Серпень	$P_{K,VIII} = 0,942 \cdot P_{O,VIII}$	0,880
Березень	$P_{K,III} = 0,596 \cdot P_{O,III}$	0,636	Вересень	$P_{K,IX} = 0,807 \cdot P_{O,IX}$	0,814
Квітень	$P_{K,IV} = 0,706 \cdot P_{O,IV}$	0,629	Жовтень	$P_{K,X} = 0,588 \cdot P_{O,X}$	0,668
Травень	$P_{K,V} = 0,865 \cdot P_{O,V}$	0,829	Листопад	$P_{K,XI} = 0,719 \cdot P_{O,XI}$	0,808
Червень	$P_{K,VI} = 0,894 \cdot P_{O,VI}$	0,834	Грудень	$P_{K,XII} = 0,699 \cdot P_{O,XII}$	0,792

Мінералізація атмосферних опадів в районі Куяльницького лиману $S_{P,j}$ (г/дм³) за довідниковою літературою становить 0,020-0,044 г/дм³ [128], а в середньому дорівнює 0,035 г/дм³ [130]. Однак, за даними ОДЕКУ, визначеними в результаті вимірювань у період з 2013 по 2015 рр. [118, 129, 223], виявлено, що мінералізація води атмосферних опадів в районі м. Одеса пов'язана із кількістю опадів і змінюється в межах 0,025-0,383 г/дм³ (рис. 8.4).

8.3 Визначення об'єму та мінералізації припливних вод до лиману

Об'єм припливу вод $W_{r,j}$ (поверхневих, схилових, підземних), млн. м³, з водозбірного басейну до Куяльницького лиману за розрахунковий період визначався за формулою

$$W_{r,j} = W_{p.B.K.,j} + W_{p.D.,j} + W_{p.K.,j} + W_{б.Г.,j} + W_{б.К.,j} + W_{с.л.ВНС5,j} + W_{с.л.с.п.,j}, \quad (8.5)$$

де $W_{p.B.K.,j}$, $W_{p.D.,j}$, $W_{p.K.,j}$, $W_{б.Г.,j}$, $W_{б.К.,j}$, $W_{с.л.ВНС5,j}$, $W_{с.л.с.п.,j}$ – об'єми надходження вод до лиману за розрахункові місяці (j), відповідно, від рр. В. Куяльник, Довбока, Кубанка, бб. Гільдендорфська, Корсунцівська, скидних лотків водо-насосної станції (ВНС) № 5 та ставків пересипу.

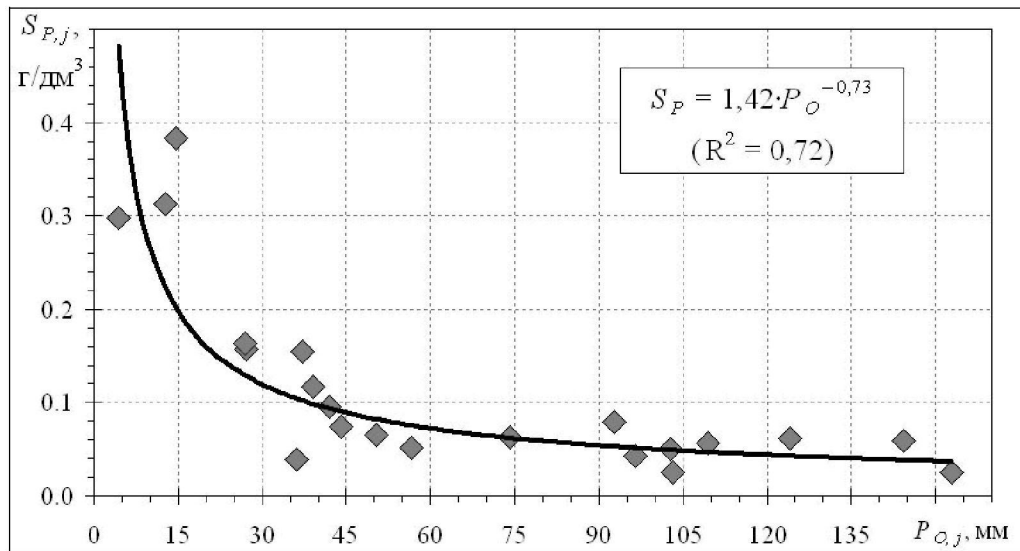


Рисунок 8.4 – Зв’язок середньомісячних значень мінералізації атмосферних опадів ($S_{P,j}$, г/дм^3) зі щомісячними сумами опадів ($P_{O,j}$, мм) в районі м. Одеси за період з 2013 по 2015 рр. ($P_{O,j}$ – дані метеостанції «Одеса-Обсерваторія» [22]; $S_{P,j}$ – дані ОДЕКУ [118, 129, 223]; R^2 – детермінант кореляції)

При наявності даних про середньомісячні витрати води водотоків, що впадають в лиман, як, наприклад, для р. В. Куяльник (рис. 8.5) [25], об’єми припливу вод, що надійшли за місяць до лиману з водозбірною басейну річки або балки, $W_{r,j,i}$, млн. м^3 , розраховувалися за формулою

$$W_{r,j,i} = 86400 n_j Q_{r,j,i} 10^{-6}, \quad (8.6)$$

де $Q_{r,j,i}$ – середня за j -й місяць витрата води i -го водотоку, $\text{м}^3/\text{с}$;

n_j – кількість діб в j -му місяці року;

86400 – кількість секунд в одній добі, с;

10^{-6} – перехідний коефіцієнт з м^3 до млн. м^3 .

Об’єми стоку з інших водотоків (річок, балок і скидних лотків) бралися за даними натурних вимірювань, як, наприклад, для 2015 р. (рис. 8.6), або за розрахунковими даними, визначеними проф. Н.С. Лободою з використанням моделі «клімат-стік» для характерних за водністю років, а внутрішньорічний розподіл стоку по місяцях визначався на основі даних спостережень на р. Великий Куяльник – с. Северинівка [76, 118, 127].

Мінералізація води річок Довбока, Кубанка, балок Гільдендорфська, Корсунцівська, скидних лотків ВНС № 5 та ставків пересипу визначались за даними вимірювань ОДЕКУ [118] (табл. 8.2).

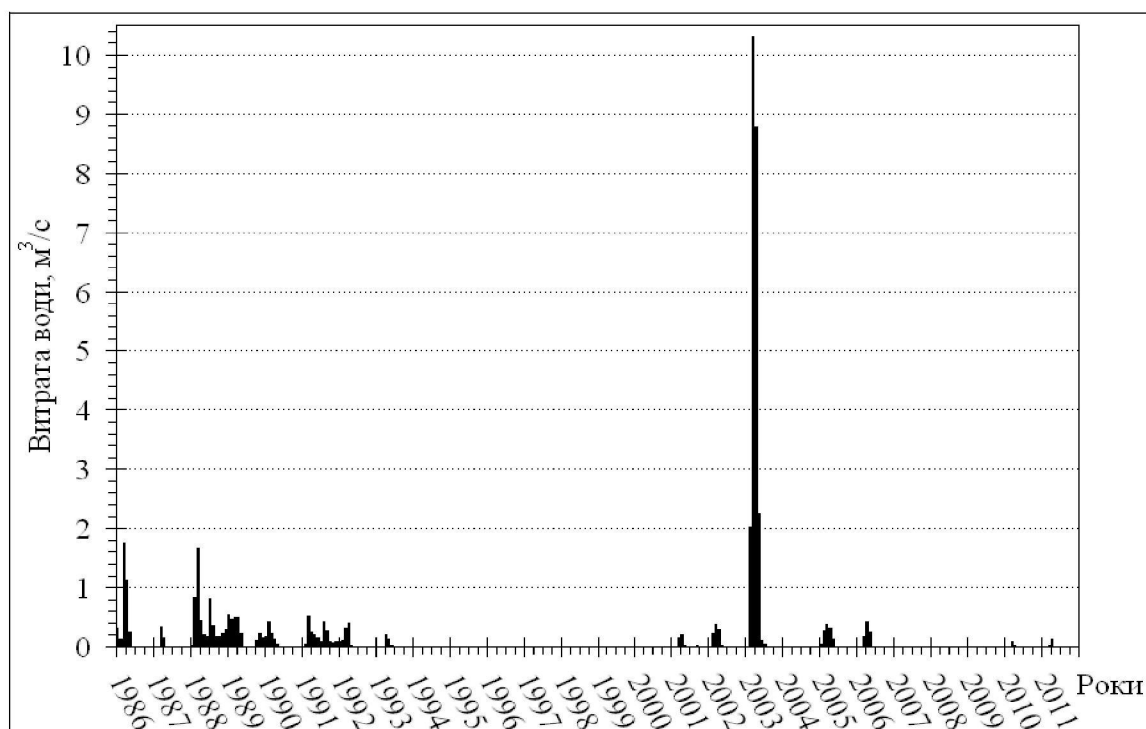


Рисунок 8.5 – Мінливість середньомісячних витрат води в гирлі р. В. Куяльник (с. Северинівка) $Q_{p.B.K.,j}$ (м³/с) за період 01.1986-12.2011 рр.

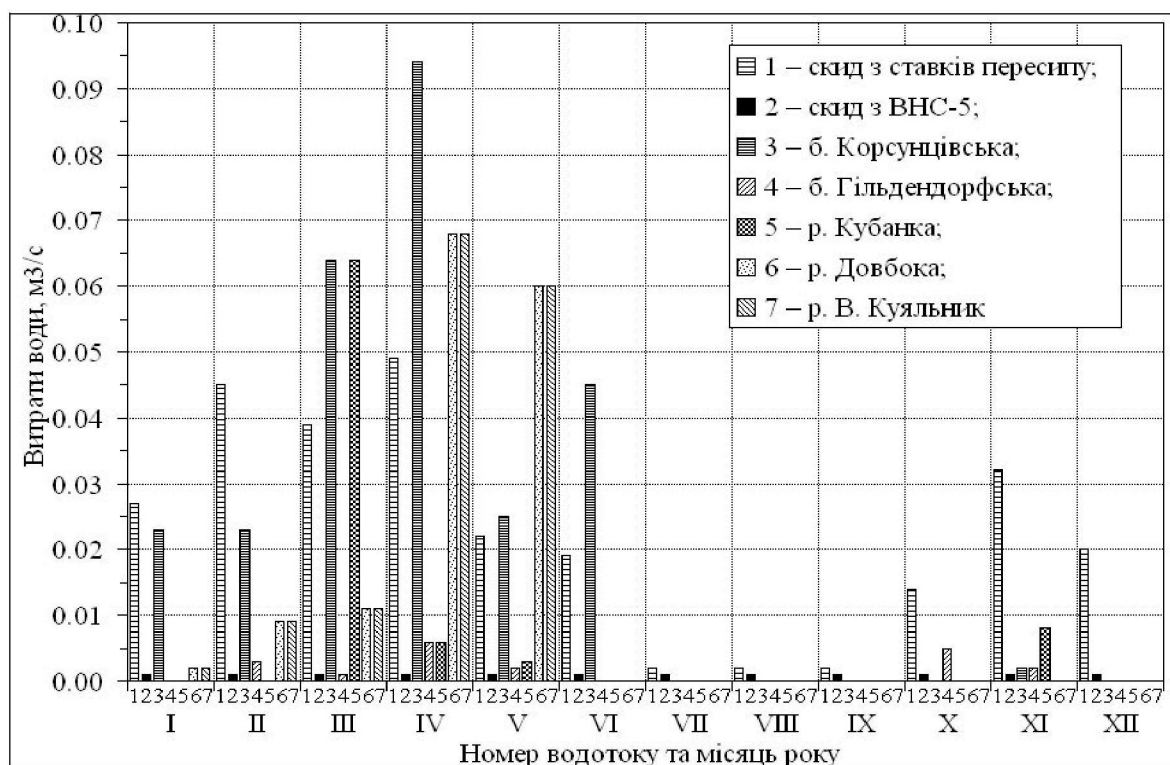


Рисунок 8.6 – Мінливість середньомісячних витрат води (м³/с) в гирлах приток Куяльницького лиману за період з січня по грудень 2015 р.

Таблиця 8.2 – Середньомісячні значення мінералізації води (мг/дм³) в гирлах приток Куяльницького лиману (без р. В. Куяльник) за період з січня по грудень 2015 р.

Річка, балка, скидний лоток	Мінералізація води, г/дм ³
р. Довбока	3,380
р. Кубанка	4,665
б. Гільдендорфська	5,028
б. Корсунцівська	2,268
скидний лоток з ВНС № 5	0,552
скидний лоток з ставків пересипу	2,270 – II-IV; 1,500 – V-I

Мінералізація води р. Великий Куяльник визначалась за даними гіdroхімічних спостережень [26, 28]. Для обчислення середньомісячних величин мінералізації води річки розглядалися лише ті їх значення, які були виміряні при наявності стоку води в руслі. При відсутності даних вимірювань в розрахунках використовувались середні багаторічні значення (табл. 8.3).

Таблиця 8.3 – Середні багаторічні значення мінералізації води р. Великий Куяльник $S_{p.B.K.,j}$ (мг/дм³) за місяці та сезони року при наявності стоку води в руслі річки за період з 1986 по 2011 рр.

Місяць	$S_{p.B.K.,j}$, г/дм ³	Сезон	$S_{p.B.K.}$, г/дм ³
XII	1,575	Зима	1,858
I	2,486		
II	1,513		
III	1,370	Весна	1,602
IV	1,807		
V	1,630		
VI	Немає даних вимірювань	Літо	1,590
VII	1,300		
VIII	1,880		
IX	3,160	Осінь	2,171
X	2,060		
XI	1,292		

8.4 Визначення випаровування з водної поверхні лиману

Об'єми випаровування з водної поверхні Куяльницького лиману $W_{E,j,i}$ розраховувалися таким чином:

$$W_{E,j} = E_{S,j} F_{j-1}, \quad (8.7)$$

$$E_{S,j} = k_{S,j} E_j, \quad (8.8)$$

$$k_{S,j} = 1 - 0,002 S_{j-1}, \quad (8.9)$$

де $E_{S,j}$ – шар випаровування з водної поверхні лиману за розрахунковий місяць (j), м;

E_j – розрахунковий шар води, який випарився за місяць (j) з водної поверхні прісної водойми в районі лиману, м;

$k_{S,j}$ – безрозмірний коефіцієнт, що враховує вплив мінералізації води на зменшення випаровування з водної поверхні лиману [39, 68, 222, 224].

У зв'язку з тим, що на Куяльницькому лимані випаровування з водної поверхні не вимірюється, шар випареної за місяць води визначався з використанням зв'язку щомісячних шарів випаровування із значеннями середньомісячної температури та відносної вологості повітря (рис. 8.7).

Подібні зв'язки були встановлені ще у 1948 р. М.М. Івановим [225, 226].

В 1968 р. О.Р. Константиновим [227] вони були рекомендовані для розрахунків, як найбільш зручні для практичного використання при визначенні випаровування з водної поверхні, оскільки не потребують введення додаткових поправок.

З рис. 8.7 видно, що при збільшенні температури та зменшенні відносної вологості повітря шар випаровування збільшується, а при зменшенні температури та збільшенні відносної вологості повітря – зменшується. При 0 °С або від'ємних температурах повітря та відносній вологості повітря більшій ніж 85-90 %, випаровування з поверхні немає.

Для розрахунку випаровування в районі лиману відносна вологість повітря бралась за даними метеостанції «Одеса-Обсерваторія», а температура повітря визначалась з використанням зв'язків між її значеннями на метеорологічному посту «Одеса-Куяльник» та на метеостанції «Одеса-Обсерваторія», які визначались для кожного місяця року (табл. 8.4).

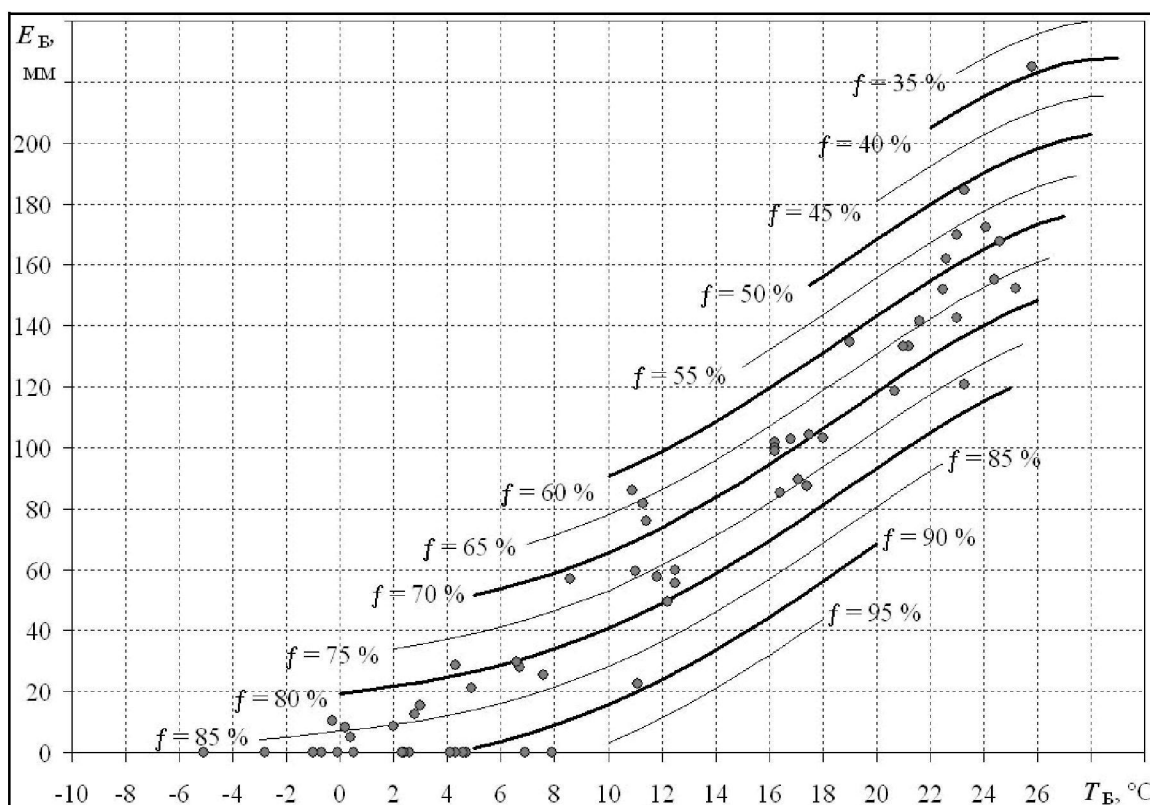


Рисунок 8.7 – Зв'язок шарів випаровування з водної поверхні за місяць E_B , мм, з середньомісячними температурами повітря T_B , °C, та значеннями відносної вологості повітря f_B , %, за даними метеостанції «Болград» [41, 224]

Таблиця 8.4 – Рівняння зв'язків між середньомісячними температурами повітря (°C) на метеорологічному посту «Одеса-Куяльник» T_K і метеостанції «Одеса-Обсерваторія» T_O й коефіцієнти кореляції r між ними

Місяць	Рівняння зв'язку	r	Місяць	Рівняння зв'язку	r
I	$T_{K,I} = 1,17 \cdot T_{O,I} + 0,4$	0,995	VII	$T_{K,VII} = 1,34 \cdot T_{O,VII} - 5,7$	0,818
II	$T_{K,II} = 1,15 \cdot T_{O,II} + 0,7$	0,970	VIII	$T_{K,VIII} = 1,08 \cdot T_{O,VIII} + 0,1$	0,970
III	$T_{K,III} = 1,12 \cdot T_{O,III} + 0,9$	0,993	IX	$T_{K,IX} = 0,97 \cdot T_{O,IX} + 2,1$	0,980
IV	$T_{K,IV} = 1,10 \cdot T_{O,IV} + 0,8$	0,958	X	$T_{K,X} = 1,58 \cdot T_{O,X} - 5,6$	0,991
V	$T_{K,V} = 0,98 \cdot T_{O,V} + 2,7$	0,964	XI	$T_{K,XI} = 1,25 \cdot T_{O,XI} - 0,9$	0,982
VI	$T_{K,VI} = 1,60 \cdot T_{O,VI} - 9,8$	0,818	XII	$T_{K,XII} = 0,99 \cdot T_{O,XII} + 0,2$	0,988

8.5 Визначення об'ємів припливу морських вод через трубопровід «море-лиман» та їх мінералізації

Об'єми припливу морських вод через трубопровід «море-лиман» $W_{m,j}$, млн. м³, за розрахунковий місяць (j) визначались за формулою

$$W_{m,j} = 86400 N_j Q_{m,j} 10^{-6}, \quad (8.10)$$

де N_j – кількість діб, коли надходила морська вода в j -ому місяці;

$Q_{m,j}$ – середні за місяць витрати води в на виході з трубопроводу, м³/с;

86400 – кількість секунд в одній добі, с;

10^{-6} – коефіцієнт розмірності, який переводить розраховані дані з м³ в млн. м³.

При калібруванні моделі водно-сольового балансу лиману за даними 2014-2015 рр. середні за місяць витрати та значення мінералізації морських вод в трубопроводі «море-лиман» визначались за даними вимірювань ОДЕКУ (табл. 8.5, 8.6) [118].

Для імітаційного моделювання рівнів і мінералізації води Куяльницького лиману в умовах поповнення водойми морськими водами з Одеської затоки за період з 1992 по 2015 рр., взяті середньомісячні та середні багаторічні значення мінералізації морської води $S_{m,j}$, визначені за даними гідрологічного поста «Порт-Одеса» (рис. 8.8).

8.6 Калібрування та верифікації моделі водно-сольового балансу лиману з використанням архівних даних

В роботі [118] представлені результати адаптації та верифікації розроблених моделей водного (8.1) та сольового (8.2) балансів Куяльницького лиману з розрахунковим кроком в один місяць з використанням архівних даних у період з 1986 по 2015 рр. Нижче представлені результати калібрування моделі водно-сольового балансу лиману для двох різних за умовами функціонування років:

1987 р. – середній за водністю рік, при накопичених об'ємах води у лимані близьких та дещо вищих за середнє багаторічне значення (рис. 8.9-8.10);

Таблиця 8.5 – Об’єми припливу морських вод до Куяльницького лиману за період 12.2014-11.2015 рр. (дані ОДЕКУ) [118]

Періоди подачі морських вод до лиману			Витрата припливу морських вод, м ³ /с	Об’єми припливу морських вод до лиману, W_m , млн. м ³		
Дати		Кількість діб		За період подачі вод	Місяць, рік	За місяць
Початкова	Кінцева					
22.12.2014	23.12.2014	1,5	0,60	0,078	12.2014	0,715
24.12.2014	29.12.2014	6,0	1,03	0,534		
30.12.2014	31.12.2014	2,0	0,60	0,104		
01.01.2015	26.01.2015	25,5	0,60	1,322	01.2015	1,873
26.01.2015	31.01.2015	5,5	1,16	0,551		
01.02.2015	28.02.2015	28,0	1,19	2,879	02.2015	2,879
01.03.2015	12.03.2015	11,6	1,22	1,223	03.2015	2,851
12.03.2015	16.03.2015	3,7	0,00	0,000		
16.03.2015	31.03.2015	15,7	1,20	1,628		
01.04.2015	20.04.2015	19,2	1,08	1,792	04.2015	1,792
22.12.2014	20.04.2015	115,0	1,02	10,109	—	—

Таблиця 8.6 – Мінералізація припливних морських вод, що надходили до Куяльницького лиману за період 12.2014-11.2015 рр. (дані ОДЕКУ) [118]

Періоди подачі морських вод до лиману			Мінералізація морських вод, г/дм ³	Приплив солей з морськими водами, R_m , млн. тонн		
Дати		Кількість діб		За період подачі вод	Місяць, рік	За місяць
Початкова	Кінцева					
22.12.2014	23.12.2014	1,5	14,38	0,001	12.2014	0,010
24.12.2014	29.12.2014	6,0	14,38	0,008		
30.12.2014	31.12.2014	2,0	14,38	0,001		
01.01.2015	26.01.2015	25,5	11,95	0,016	01.2015	0,022
26.01.2015	31.01.2015	5,5	12,11	0,007		
01.02.2015	28.02.2015	28,0	13,03	0,038	02.2015	0,038
01.03.2015	12.03.2015	11,6	12,51	0,015	03.2015	0,037
12.03.2015	16.03.2015	3,7	0,00	0,000		
16.03.2015	31.03.2015	15,7	13,24	0,022		
01.04.2015	20.04.2015	19,2	15,98	0,029	04.2015	0,029
22.12.2014	20.04.2015	115,0	13,43	0,136	—	—

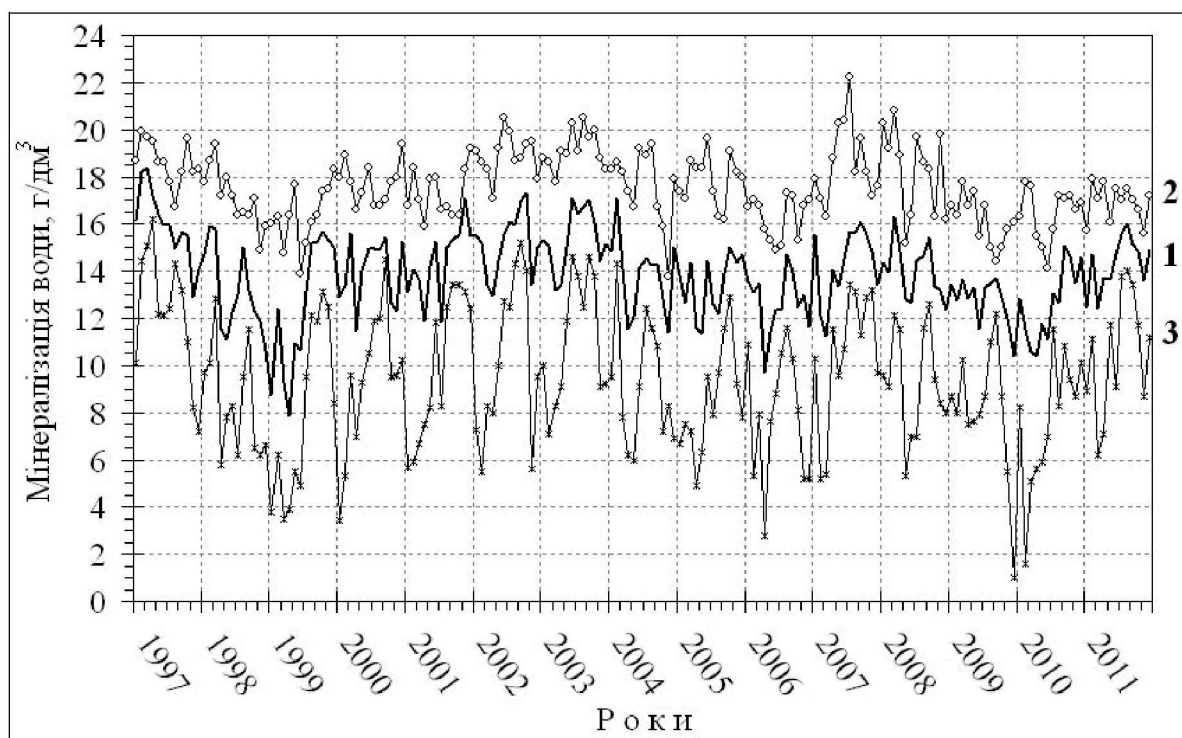


Рисунок 8.8 – Мінливість середньомісячних (1), максимальних (2) і мінімальних (3) значень мінералізації води Одеської затоки Чорного моря, визначених за даними гідрологічного поста «Порт-Одеса» [118], за період з 01.1997 р. по 12.2011 р.

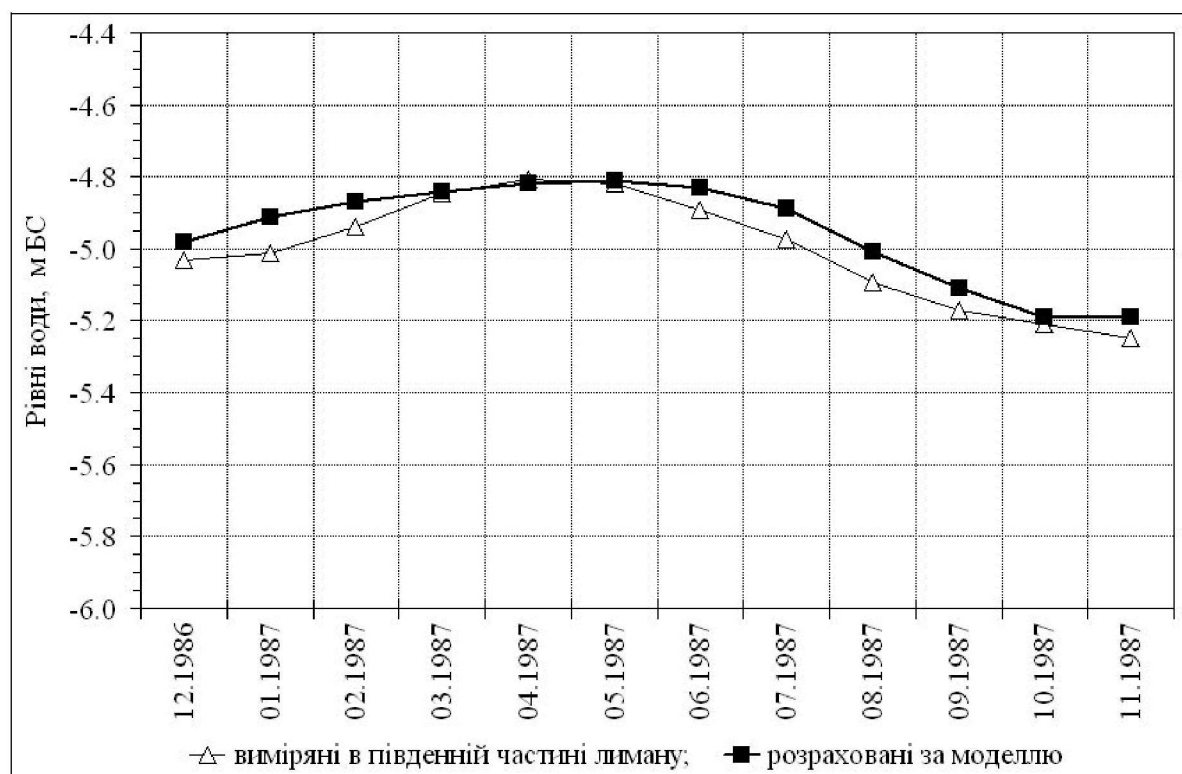


Рисунок 8.9 – Мінливість середньомісячних рівнів води Куяльницького лиману (м БС) за період 12.1986-11.1987 рр.

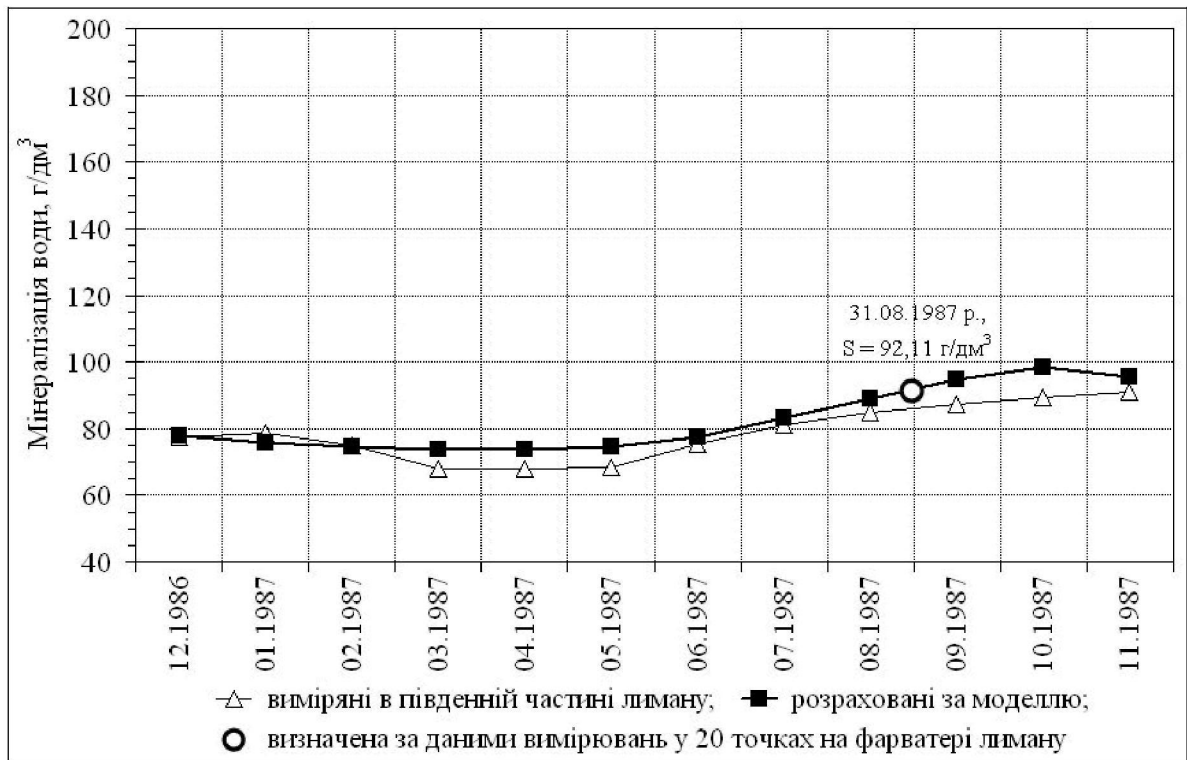


Рисунок 8.10 – Мінливість середньомісячних значень мінералізації води (г/дм³) Куяльницького лиману за період 12.1986-11.1987 рр.

2015 р. – маловодний рік, при накопичених об'ємах води у лимані нижчих за середнє багаторічне значення, в умовах надходження до лиману морських вод з Одеської затоки (рис. 8.11-8.13).

Для контролю результатів розрахунків рівнів і мінералізації води в лимані використовувалися дані вимірювань мінералізації води в декількох точках лиману та рівнів води на гідрологічному посту в південній частині лиману. Джерелами цих даних були: звіти про роботу Гідрогеологічної режимно-експлуатаційної станції [29], видання Державного водного кадастру [25] та наукові праці ОДЕКУ [39, 56, 65, 68, 74, 76, 118, 127, 221, 222].

Порівняння розрахункових (за моделлю водно-сольового балансу) та фактичних (за даними вимірювань) значень рівнів і мінералізації води, виконаних для умов, коли надходження морських вод до лиману було відсутнє (рис. 8.9-8.10) та коли трубопровід «море-лимани» працював (рис. 8.11-8.13), показало їх задовільну збіжність.

Певні епізодичні відхилення рівнів води можуть бути пов'язані з впливом на виміряні рівні вітрового згону та нагону води, головним чином на початку (рис. 8.11а) або наприкінці (рис. 8.11б) місяців, які в представленій моделі водного балансу не враховані. Невелике перевищення розрахованих рівнів води над виміряними у період з грудня 1986 р. по лютий 1987 р. (рис. 8.9) пояснюється наявністю льодоставу на лимані, на формування якого були витрачені певні об'єми води.

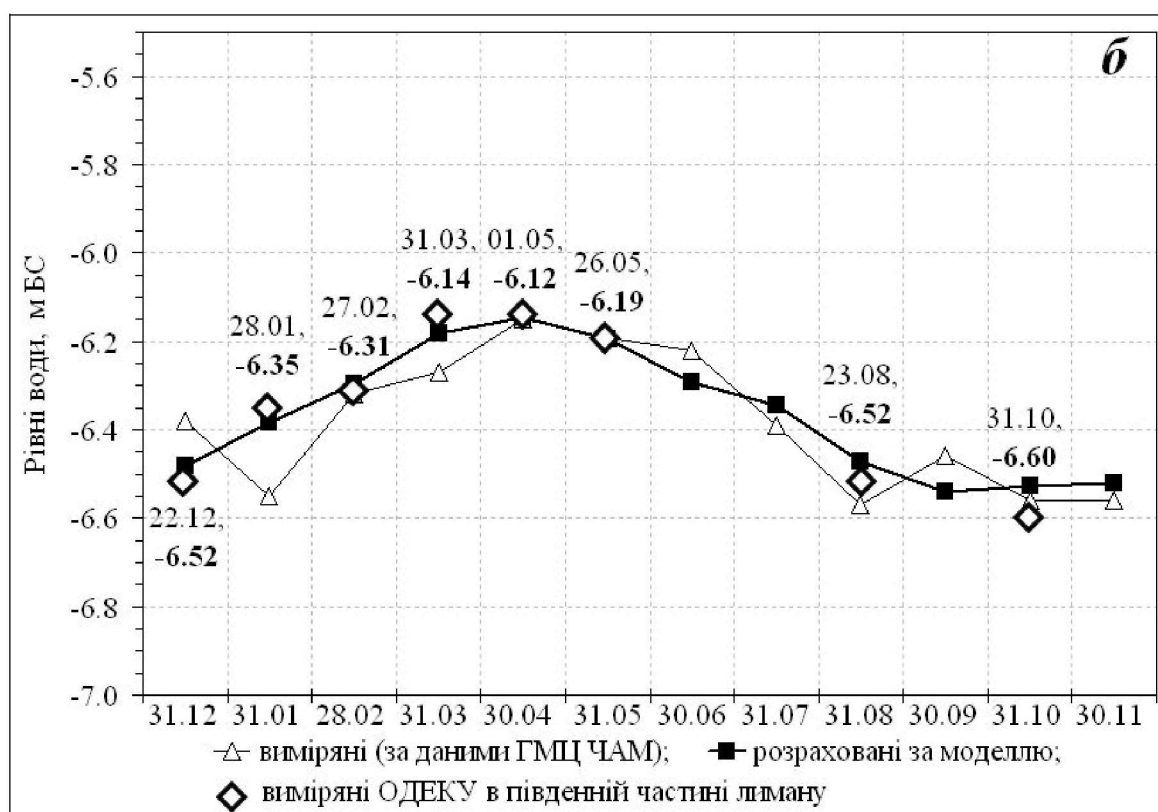
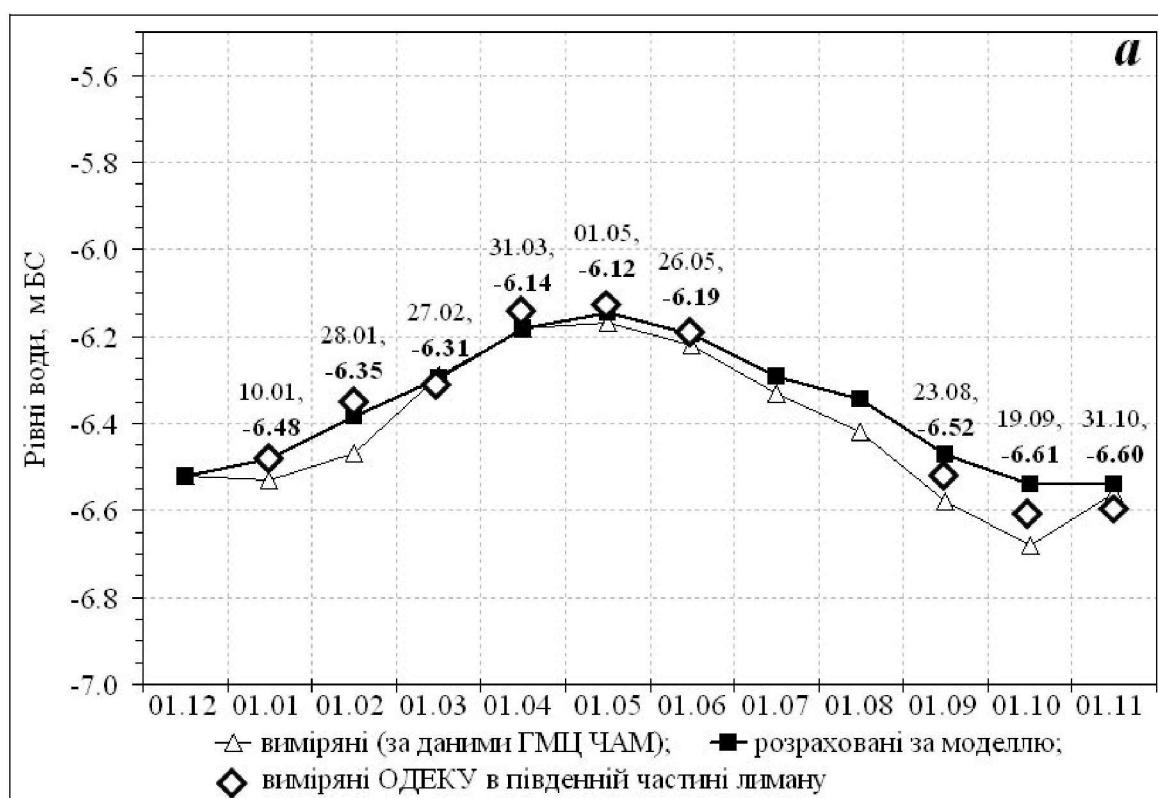


Рисунок 8.11 – Мінливість виміряних і розрахованих рівнів води Куяльницького лиману (м БС) на початку (**а**) та наприкінці (**б**) місяця за період 12.2014-11.2015 рр. (цифри над/під ромбами – дати вимірювань рівнів води та їх фактичні значення за даними ОДЕКУ)

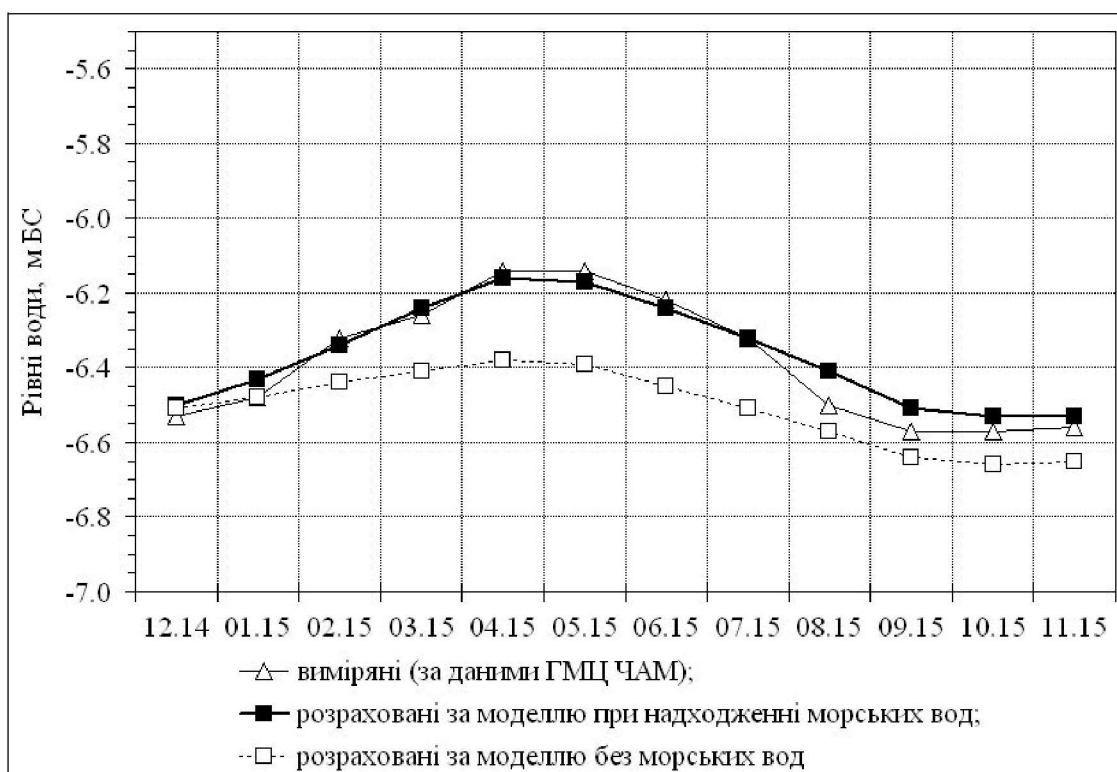


Рисунок 8.12 – Мінливість середньомісячних рівнів води Куяльницького лиману (м БС) за період 12.2014-11.2015 рр.

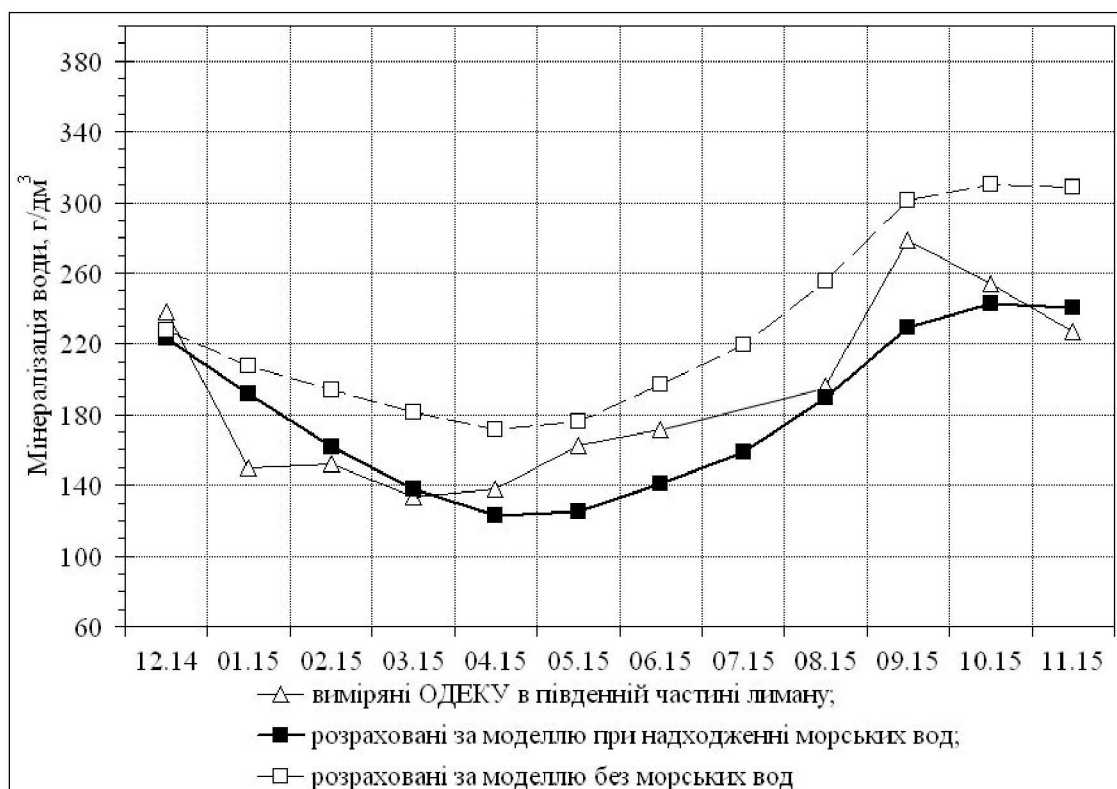


Рисунок 8.13 – Мінливість середньомісячних значень мінералізації води (г/дм³) Куяльницького лиману за період 12.2014-11.2015 рр.

Відхилення розрахункових і фактичних значень мінералізації води, які можна побачити на рис. 8.10 та 8.13, пов'язані з тим, що виміряні значення визначались як осереднені по точкових вимірюваннях в південній частині лиману, а розраховані – як середньозважені значення від ділення загальної маси солей у Куяльницькому лимані на об'єм його наповнення. Якщо ж значення мінералізації води установлювалось за даними вимірювань по всій акваторії лиману, як, наприклад, 31.08.1987 р., то воно співпадає з розрахованим за моделлю водно-сольового балансу (рис. 8.10), що свідчить про достовірність розрахунків балансу солей у лимані. Відносні відхилення розрахованих значень середньомісячних рівнів і мінералізації води від виміряних за період з грудня 1986 р. по листопад 1987 р. не перевищують 4% – для рівнів води, та 10% – для мінералізації води. Максимальне відносне відхилення для рівнів води становило мінус 3,6% (в січні 1987 р.), а мінімальне – дорівнювало 0% (в жовтні 1987 р.). Для мінералізації води відносне відхилення змінювалось у діапазоні від мінус 3,3% (в січні 1987 р.) до 10,0% (в жовтні 1987 р.). Середні арифметичні значення відносних відхилень розрахункових і фактичних величин дорівнюють: для рівнів води $\pm 1,2\%$, а для мінералізації води – $\pm 5,2\%$.

За результатами розрахунків рівнів і мінералізації води лиману за 12.2014-11.2015 рр. при періодичному надходженні до водойми морських вод (рис. 8.11-8.13) видно, що з 01.12.2014 р. по 30.04.2015 р. рівень води в лимані збільшився на 0,4 м – з мінус 6,52 до мінус 6,12 м БС. Але після припинення подачі морських вод, рівень води в лимані за рахунок випаровування поступово зменшився, досягнувши 30.11.2015 р. початкової позначки мінус 6,52 м БС. Всього за період роботи трубопроводу «море-лиман» (з 22.12.2014 р. по 20.04.2015 р.) до лиману з Одеської затоки надійшло 10,109 млн. м³ води. Середня мінералізація морських вод становила 13,43 г/дм³, а вага солей, які надійшли з моря в лиман, дорівнювала 0,136 млн. тонн, тобто лише 1,6% від початкової кількості солей у Куяльницькому лимані (майже 8,6 млн. тонн).

При відсутності подачі морської води в лиман у 2014-2015 рр. рівні води були б на 0,10-0,25 м нижчими тих, що фактично спостерігалися (рис. 8.12), а мінералізація води перевищувала б фактичні значення більш ніж на 70 г/дм³ та у вересні-листопаді 2015 р. була б вищою за 300 г/дм³ (рис. 8.13).

Достовірність та надійність розрахунків підтверджується значеннями середніх відносних відхилень розрахованих середньомісячних рівнів і мінералізації води від виміряних за період з грудня 2014 р. по листопад 2015 р., які дорівнюють: для рівнів води – $\pm 0,5\%$, а для мінералізації води – $\pm 10,4\%$ [118].

Крім того, результати верифікації моделі водно-сольового балансу лиману з використанням даних вимірювань за період з грудня 2015 р. по жовтень 2016 р. також показали задовільні результати (рис. 8.14).

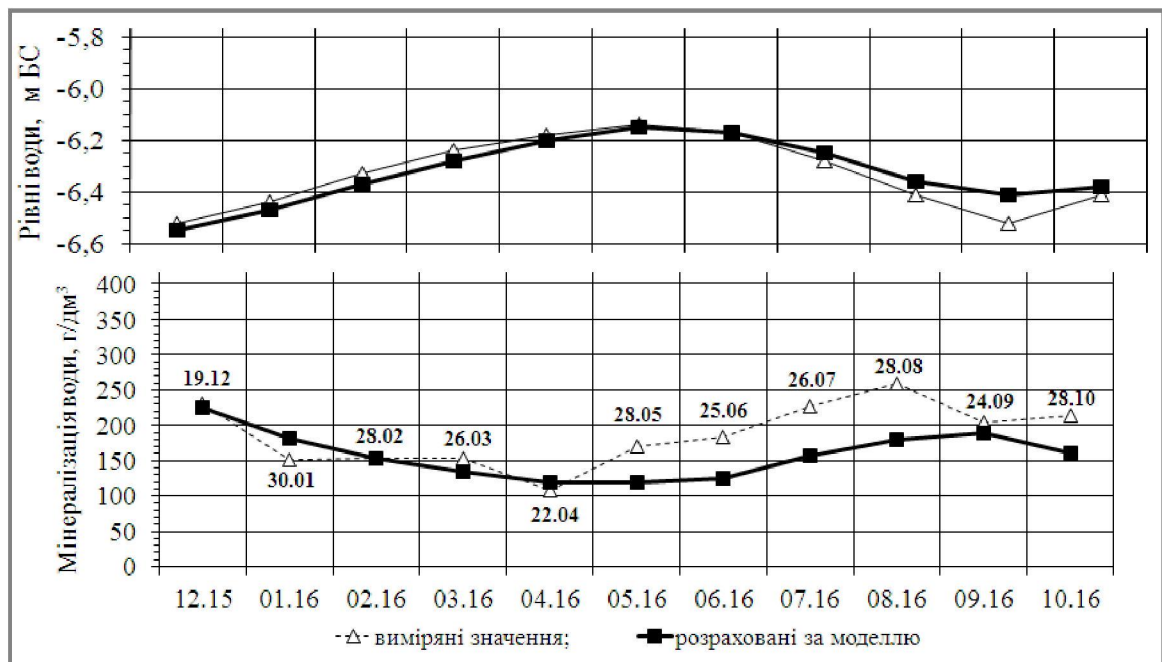


Рисунок 8.14 – Мінливість щомісячних значень рівня та мінералізації води Куяльницького лиману за період 12.2015-10.2016 рр. (цифри поблизу точок – дати відбору проб води ОДЕКУ для визначення її мінералізації)

Слід зазначити, що величини середніх відносних відхилень розрахованих значень рівнів і мінералізації води від вимірних дорівнюють: для рівнів води – $\pm 0,5\%$, для мінералізації води – $\pm 16,9\%$. Незначне збільшення значення відносного відхилення для мінералізації води за період 2015-2016 рр. відносно величини відхилення у 2014-2015 рр. пояснюється тим, що у 2015-2016 рр. мінералізація води в лимані вимірювалась лише один раз наприкінці місяця, а у 2014-2015 рр. – до 4 разів впродовж місяця, тому у 2015-2016 рр. відхилення розрахункових значень мінералізації води від фактичних, визначених за даними вимірювань (рис. 8.14), є більшими ніж у 2014-2015 рр.

Отже, результати калібрування та верифікації моделі водно-сольового балансу Куяльницького лиману з використанням архівних даних за період з 1986 по 2016 рр. показали, що розроблена модель водно-сольового балансу лиману з розрахунковим кроком в один місяць може бути використана для оцінки режиму рівнів і мінералізації води за різних гідрометеорологічних умов та об'ємів наповнення лиману, а також з урахуванням надходження до лиману морської води з Одеської затоки.

9 ХАРАКТЕРИСТИКА РІВНІВ І МІНЕРАЛІЗАЦІЇ ВОДИ В КУЯЛЬНИЦЬКОМУ ЛИМАНІ У СУЧАСНИХ КЛІМАТИЧНИХ УМОВАХ ПРИ РІЗНИХ РЕЖИМАХ ПОПОВНЕННЯ ВОДОЙМИ МОРСЬКОЮ ВОДОЮ ЧЕРЕЗ ШТУЧНИЙ ТРУБОПРОВІД «МОРЕ-ЛИМАН»

В цьому розділі представлені результати моделювання та оцінки багаторічної мінливості рівнів і мінералізації води та кількості солей в Куяльницькому лимані при періодичному надходженні до водойми морської води з Одеської затоки трубопроводом «море-лиман» та гідрометеорологічних умовах і водогосподарських перетвореннях на басейні лиману, які фактично спостерігалися в XX-XXI ст. Таке функціонування лиману було б можливе за умови будівництва трубопроводу або каналу «море-лиман», яке планувалось здійснити в 1963 р. за проектом, що був завершений в 1962 р. [29, 118].

З метою оптимізації роботи трубопроводу «море-лиман» у майбутньому було проведене імітаційне математичне моделювання режимів рівнів та мінералізації води Куяльницького лиману за рівняннями водно-сольового балансу для періоду від 01.12.1992 до 01.12.2015 рр. Саме у жовтні-грудні 1992р. мінералізація води у лимані перевищила граничне значення $S_{gr} = 200 \text{ г/дм}^3$, при якій деякі розчинені солі кристалізуються та випадають в осад на дно лиману, що супроводжується загибеллю більшості водних організмів лиману та припиненням процесу формування пелоїдів. Тобто необхідність роботи спроектованого у 1962 р. трубопроводу виникла ще у 1992 р. Імітаційні розрахунки проводилися за фактичними гідрометеорологічними даними минулих років, але у рівняння водно-сольового балансу була введена компонента, яка являла собою об'єми надходження морської води трубопроводом.

В розрахунках водно-сольового балансу лиману приймалось, що приплив морської води через трубопровід «море-лиман» відбувається самопливом з витратою $Q_m = 1,00 \text{ м}^3/\text{с}$ [74, 110]. Розрахунки водно-сольового балансу лиману виконувалися при різних режимах функціонування трубопроводу «море-лиман» з урахуванням рівнів і мінералізації води в лимані та температури води в Одеській затоці для таких трьох варіантів [118].

Варіант 1 враховує граничні умови подачі морської води з Одеської затоки до лиману, які зазначені в *«Правилах експлуатації гідротехнічної споруди зі з'єднання Куяльницького лиману та Одеської затоки»* [110]:

– подача морської води до лиману починається, якщо:

а) середньомісячна мінералізація води в лимані є більшою від її граничного значення $S_{gr} = 200 \text{ г/дм}^3$;

б) рівень води в лимані (перед початком подачі морської води) є меншим за позначку нормального підпертого рівня води $\zeta_{НПР} = -5,50$ м БС;

в) середньодобова температура води в Одеській затоці впродовж трьох діб є меншою або дорівнює 8°C (температура, при якій у морській воді ще відсутні мікроорганізми-токсиканти, що виділяють токсичні речовини, й потрапляння яких у лиман не бажане);

– подача морської води до лиману припиняється, якщо:

а) значення середньомісячного рівня води в лимані є більшим, ніж позначка нормального підпертого рівня води $\zeta_{НПР} = -5,50$ м БС;

б) середньодобова температура води в Одеській затоці вища, ніж 8°C .

Варіант 2 враховує періодичну (з трирічною циклічністю) подачу морської води до лиману, запропоновану в роботі «Оцінка можливого альтернативного наповнення Куяльницького лиману водами Чорного моря, річки Дністер й інших лиманів і водних об'єктів» [74]:

– подача морської води до лиману починається, якщо:

а) середньомісячна мінералізація води в лимані (перед початком подачі морської води) є більшою за її граничне значення $S_{гр.} = 200$ г/дм³;

б) значення рівня води в лимані (перед початком подачі морської води) є меншим від позначки мінус 4,35 м БС (рівень води, при якому після проходження водопілля або паводка забезпеченістю $P=1\%$, а також при їх накладанні, не відбудеться затоплення на узбережжі лиману та території пересипу між лиманом і морем населених пунктів, санаторно-курортних закладів, об'їзної дороги та інших господарських об'єктів [74, 228]);

в) через три роки після припинення подачі морської води до лиману;

– подача морської води до лиману припиняється, якщо:

а) значення рівня води в лимані перед початком водопілля є більшим за позначку мінус 4,35 м БС;

б) значення середньомісячної мінералізації води в лимані є меншим за 40 г/дм³ (нижня межа мінералізації води для існування специфічних водяних організмів лиману або так званої «бальнеологічної біоти» [74, 228]);

в) подача морської води тривала три роки (за умови, що попередні дві вимоги не виконувалися).

Варіант 3 враховує такі граничні умови подачі морської води з Одеської затоки до лиману:

– подача морської води до лиману починається, якщо:

а) середньодобова температура води в Одеській затоці є меншою або дорівнює 8°C ;

б) середньомісячна мінералізація води в лимані є більша за 40 г/дм³ (у жовтні-грудні 1992 р. мінералізація води перевищує 200 г/дм³), а позначка рівня води в лимані є меншою від мінус 4,35 м БС;

– подача морської води до лиману припиняється, якщо:

а) значення рівня води в лимані перед початком водопілля є більшим від позначки мінус 4,35 м БС;

б) середньомісячна мінералізації води в лимані менша за 40 г/дм³;

в) середньодобова температура води в Одеській затоці вища ніж 8°C.

Крім того, вважається, що якість морської води відповідає всім необхідним вимогам для її подачі в лиман.

Можливі періоди подачі морської води до лиману визначені з використанням даних вимірювань температури морської води в Одеській затоці на посту «Порт-Одеса» за період з 01.01.1997 р. по 31.12.2011 р. (табл. 9.1).

Таблиця 9.1 – Можливі періоди подачі до Куяльницького лиману морської води з температурою менше 8°C за період з 01.01.1997 р. по 31.12.2011 р. [118]

Рік	Можливі періоди подачі морської води до лиману	
	на початку року (січень-квітень)	в кінці року (листопад-грудень)
1997	з 01.01 по 30.04	з 01.11 по 31.12
1998	з 01.01 по 07.04	з 16.11 по 31.12
1999	з 01.01 по 06.04	з 14.11 по 31.12
2000	з 01.01 по 03.04	з 29.11 по 31.12
2001	з 01.01 по 11.04	з 30.11 по 31.12
2002	з 01.01 по 13.04	з 04.12 по 31.12
2003	з 01.01 по 16.04	з 30.11 по 31.12
2004	з 01.01 по 11.04	з 18.12 по 31.12
2005	з 01.01 по 11.04	з 23.11 по 31.12
2006	з 01.01 по 05.04	з 01.12 по 31.12
2007	з 01.01 по 03.04	з 22.11 по 31.12
2008	з 01.01 по 09.04	з 03.12 по 31.12
2009	з 01.01 по 02.04	з 11.12 по 31.12
2010	з 01.01 по 06.04	з 15.12 по 31.12
2011	з 01.01 по 20.04	з 24.12 по 31.12
Середні	з 01.01 по 10.04	з 01.12 по 31.12

При визначенні періодів подачі морської води до лиману враховано, що між датою фактичного переходу температури води через 8°C та

початком/припиненням подачі морської води проходить три доби. Це пов'язано з тим, що обчислення середньодобової температури води на гідрологічному посту виконується лише на другу добу після її переходу через 8°C (1 д), далі – інформується орган з управління режимом подачі морської води до лиману трубопроводом «море-лимани», який впродовж робочого дня приймає рішення щодо початку або припинення подачі морської води в лиман (2 д), і лише в наступну добу рішення буде виконано організацією, яка експлуатує цю гідротехнічну споруду (3 д).

В розрахунках водно-сольового балансу Куяльницького лиману за різними варіантами граничних умов вважається, що початкова кількість солей у лимані (станом на 01.12.1992 р.) дорівнює 8,60 млн. т, яка визначена з використанням даних вимірювань в період 1986-1992 рр. [29].

Результати моделювання рівнів і мінералізації води Куяльницького лиману для різних варіантів надходження морської води з Одеської затоки трубопроводом «море-лимани» за період 12.1992-11.2015 рр. показані на рисунках: 9.1 (**варіант 1**), 9.2 (**варіант 2**); 9.3 (**варіант 3**), а результати розрахунку кількості солей в лимані – на рисунку 9.4 (**варіанти 1, 2, 3**) [118].

З рис. 9.1 (**варіант 1**) видно, що за період з 1992 по 2003 рр. (останній є дуже багатоводним роком із забезпеченістю водності $P=5\%$) лиман періодично поповнювався морською водою (за винятком періоду з 11.1997 р. по 04.1998 р., коли мінералізація була менша $S_{\text{гр.}} = 200 \text{ г/дм}^3$). Рівні води в лимані у цей період поступово підвищувалися на 0,75 м (з позначки мінус 6,16 м БС – 01.12.1992 р., до мінус 5,41 м БС – 28.02.2003 р.), а мінералізація води – поступово зменшувалася і в листопаді 2002 р. (перед початком запуску морської води) дорівнювала лише $201,9 \text{ г/дм}^3$. У період 2003-2007 рр. вважалось, що морська вода до лиману не подавалася, тому що рівні води перевищували $\zeta_{\text{НПР}} = -5,50 \text{ м БС}$, а мінералізація води була меншою ніж $S_{\text{гр.}} = 200 \text{ г/дм}^3$. У період з 11.2007 р. по 11.2015 р. подача морської води до лиману мала відбуватися майже щорічно (за винятком зимово-весняного періоду 2010-2011 рр., коли мінералізація води була меншою за $S_{\text{гр.}} = 200 \text{ г/дм}^3$), що і було відтворено при імітаційному моделюванні. За таких умов рівні води у лимані почали поступово зростати і в травні 2015 р. на 0,15 м перевищили $\zeta_{\text{НПР}}$. Мінералізація води в лимані поступово зменшилася, але в жовтні 2015 р. ще майже на 17 г/дм^3 перевищувала граничне значення ($S_{\text{гр.}} = 200 \text{ г/дм}^3$).

В середньому за один період подачі морської води до лиману кількість солей у водоймі (рис. 9.4) за рахунок їх надходження з моря збільшувалась на 0,147 млн. т. Всього ж за період з 12.1992 р. по 11.2015 р. кількість солей у лимані збільшилась на 2,84 млн. т або на 33,0% відносно її початкової величини (8,60 млн. т).

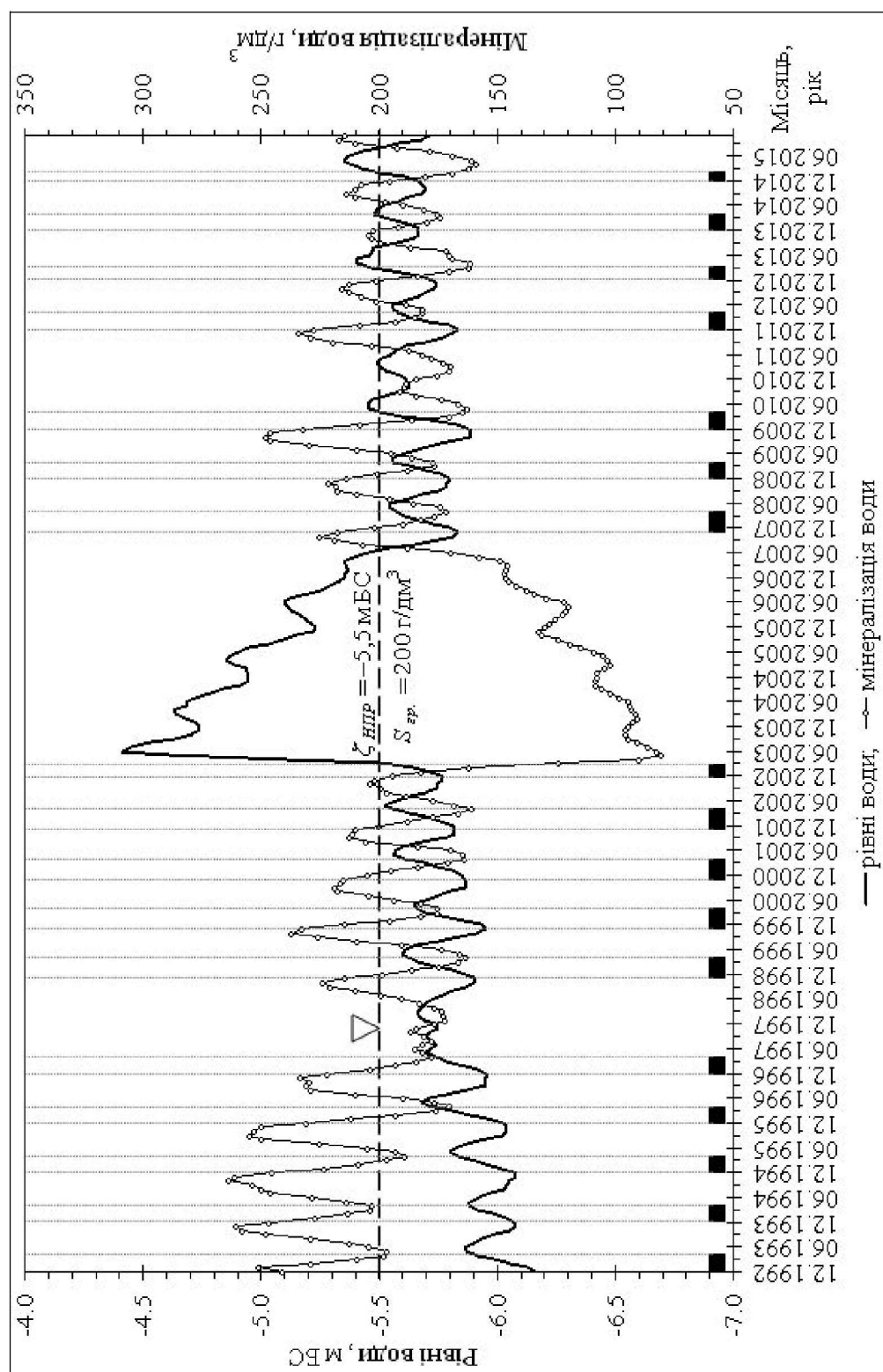


Рисунок 9.1 – Мінливість середньомісячних рівнів і значень мінералізації води Куяльницького лиману за період 12.1992-11.2015 рр. (варіант 1): ■ – періоди подачі морської води з Одеської затоки

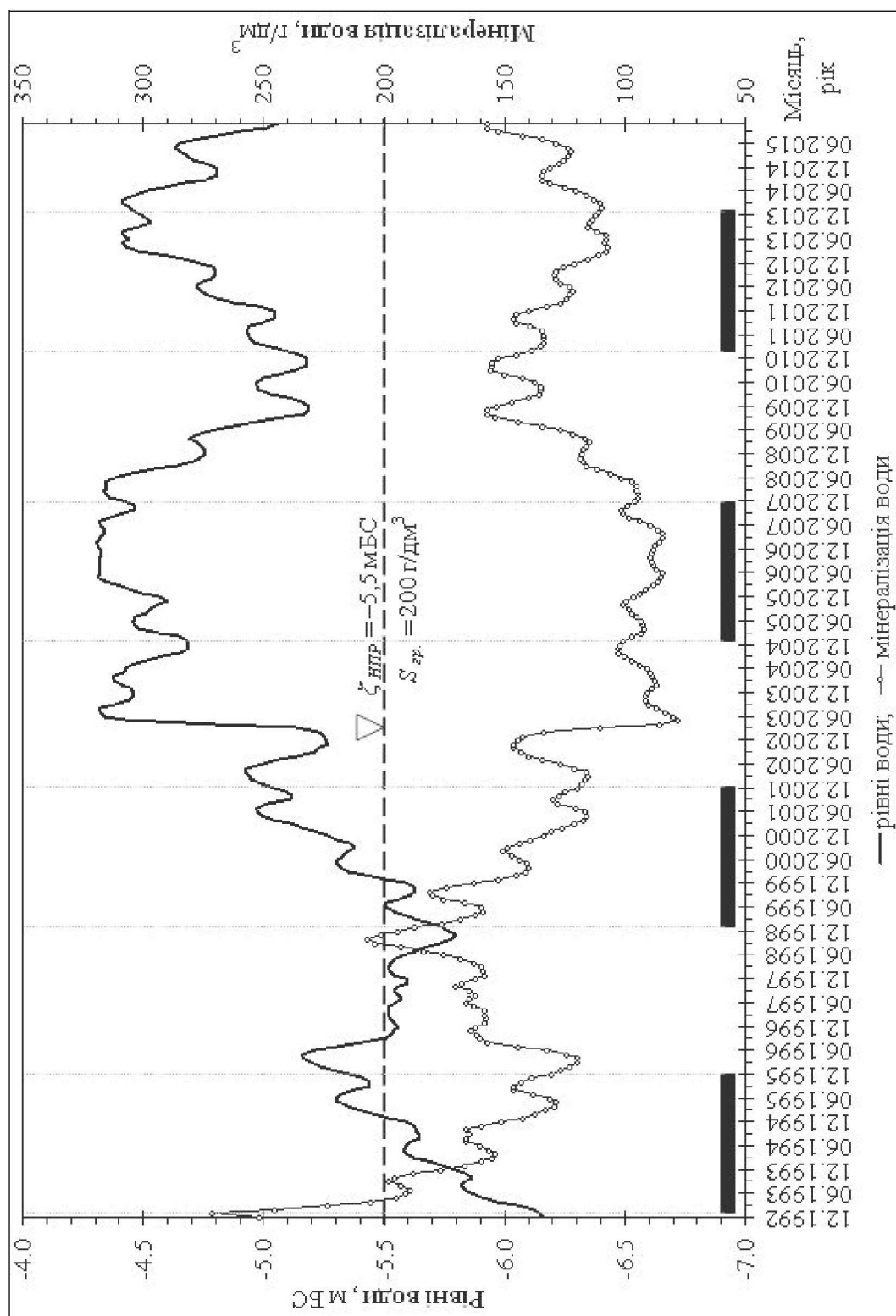


Рисунок 9.2 – Мінливість середньомісячних рівнів і значень мінералізації води Куяльницького лиману за період 12.1992-11.2015 рр. (варіант 2): ■ – періоди подачі морської води з Одеської затоки

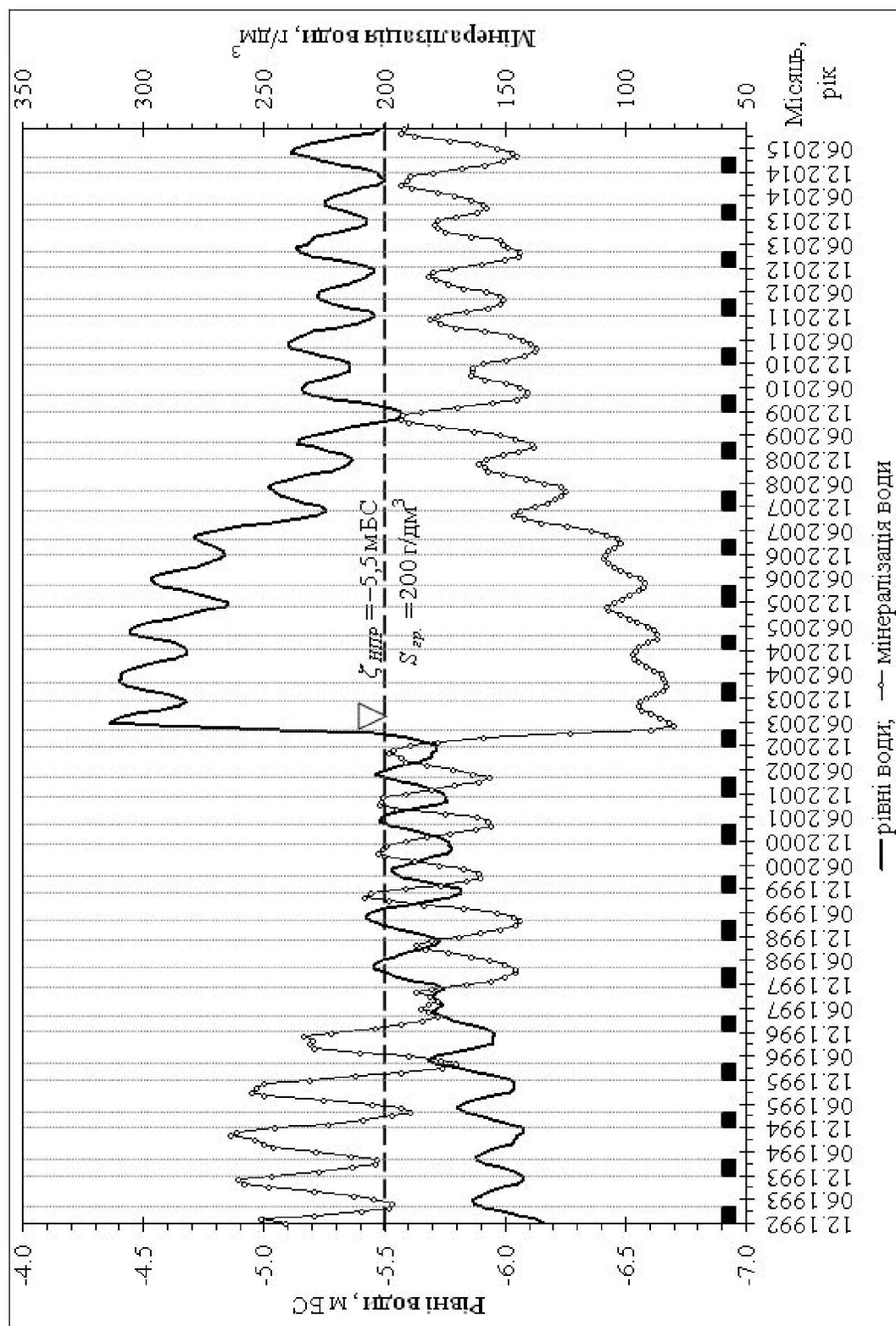


Рисунок 9.3 – Мінливість середньомісячних рівнів і значень мінералізації води Куяльницького лиману за період 12.1992-11.2015 рр. (варіант 3): ■ – періоди подачі морської води з Одеської затоки

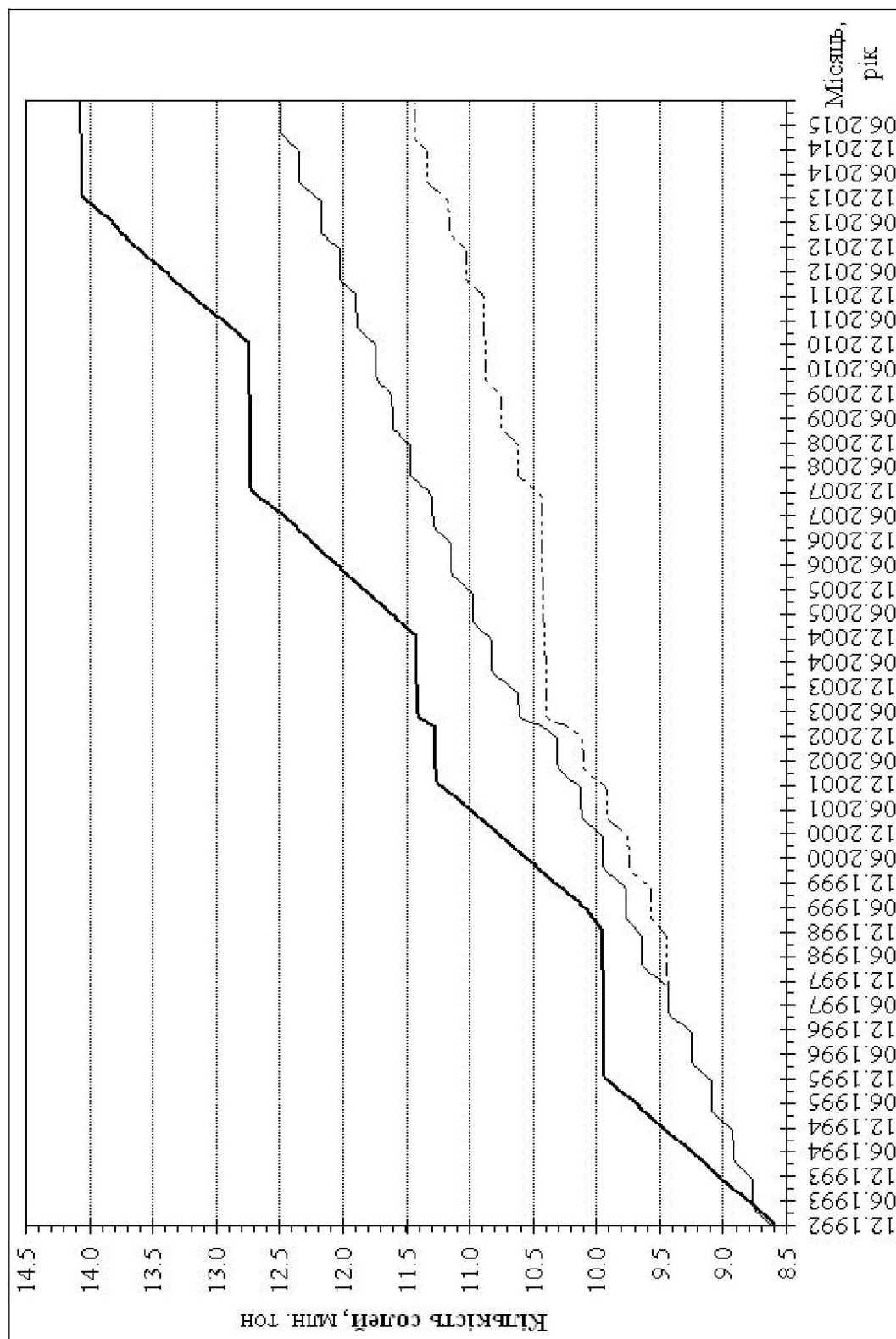


Рисунок 9.4 – Мінливість кількості солей в Куяльницькому лимані наприкінці розрахункових місяців за період 12.1992-11.2015 рр. (варіант 1 – нижня лінія; варіант 2 – верхня лінія; варіант 3 – середня лінія)

З рис. 9.2 (результат імітаційного моделювання за **варіантом 2**) видно, що за період з 12.1992 р. по 11.2015 р. відбулося періодичне поповнення лиману морською водою з трирічною циклічністю. За цей період рівні води в лимані поступово підвищилися і вже в лютому 1995 р. на 0,05 м стали перевищувати $\zeta_{НПР} = -5,50$ м БС, а в період з 01.2001 р. по 11.2015 р. стали вищими позначки $\zeta_{НПР}$ (з максимумом у липні-серпні 2003 р. – мінус 4,32 м БС). Значення мінералізації води в лимані вже у травні 1993 р. на $5,4$ г/дм³ менші $S_{сп.} = 200$ г/дм³, а за період з 01.1993 р. по 11.2015 р. лише у вересні-листопаді 1998 р. (наприкінці першого трирічного періоду, коли морська вода не подавалась до лиману) дещо перевищили $S_{сп.}$ (на 0,7-6,5 г/дм³).

В середньому за один цикл подачі морської води до лиману кількість солей у водоймі (рис. 9.4) за рахунок їх надходження з моря мала б збільшитись на 1,294 млн. т. Всього ж за період з 12.1992 р. по 11.2015 р. кількість солей у лимані згідно із розглянутим варіантом подачі морської води збільшилась на 5,47 млн. т або на 63,6% відносно її початкової величини (8,60 млн. т).

При імітаційному моделюванні за **варіантом 3** (рис. 9.3) визначено, що за період з 12.1992 р. по 11.2015 р. поповнення лиману морською водою мало б відбуватися щорічно (в періоди, коли температура морської води в Одеській затоці була $\leq 8^{\circ}\text{C}$). За цією схемою рівні води в лимані поступово підвищуються і вже в лютому 1998 р. дорівнюють позначці $\zeta_{НПР} = -5,50$ м БС, а в період з 2001 по 2015 рр. щорічно на 0,02-1,14 м перевищують позначку $\zeta_{НПР}$ (від 0,02 м – у травні 2001 р., до 1,14 м – у червні 2003 р.).

Визначено, що мінералізація води за розрахунковим **варіантом 3** в лимані поступово зменшується і, починаючи з лютого 1997 р. (середина п'ятого циклу подачі морської води до лиману), по листопад 2015 р., стає меншою ніж $S_{сп.} = 200$ г/дм³ (за винятком жовтня-листопада 1999 р., коли мінералізація води в лимані короткочасно на 5-8 г/дм³ перевищувала $S_{сп.}$).

В середньому за один період подачі морської води до лиману кількість солей у водоймі (рис. 9.4) за рахунок їх надходження з моря збільшувалась на 0,157 млн. т. Всього ж за період з 12.1992 р. по 11.2015 р. кількість солей у лимані збільшилась на 3,89 млн. т або на 45,2% відносно її початкової величини (8,60 млн. т).

З порівняння середньомісячних значень рівнів і мінералізації води (рис. 9.1-9.4) та кількості солей (рис. 9.4) в Куяльницькому лимані при різних варіантах подачі морської води з Одеської затоки трубопроводом «море-лимани» визначено, що найбільш оптимальним є **варіант 3** (рис. 9.3 та 9.4).

Вибір **варіанта 3** пояснюється такими критеріями оцінки ефективності функціонування лиману:

- мінералізація води в лимані вже з середини п'ятого циклу подачі морської води є меншою від гранично допустимого значення (200 г/дм³);
- рівні води в лимані навіть у дуже багатоводний 2003 р. не перевищують максимально допустимої позначки (мінус 4,35 м БС);
- кількість солей в лимані за 23 роки збільшується на 3,9 млн. т (або на 45% відносно початкової кількості солей в лимані), що на 1,6 млн. т менше, ніж при **варіанті 2** та лише на 1 млн. т більше ніж при **варіанті 1**.

Таким чином, для управління режимами рівнів і мінералізації води та кількістю солей в Куяльницькому лимані у майбутньому за умови, що поповнення об'єму лиману морською водою з Одеської затоки відбуватиметься трубопроводом «море-лимани», рекомендується організувати роботу трубопроводу за **варіантом 3**. З урахуванням цього, пропонується внести відповідні зміни у вимоги умов подачі морської води до лиману, які зазначені в *«Правилах експлуатації гідротехнічної споруди зі з'єднання Куяльницького лиману та Одеської затоки»* [110].

10 МОДЕЛЮВАННЯ МІНЛИВОСТІ РІВНЯ ТА СОЛОНОСТІ ВОДИ В КУЯЛЬНИЦЬКОМУ ЛИМАНІ НА ОСНОВІ МОДЕЛІ ВОДНО- СОЛЬОВОГО БАЛАНСУ З УРАХУВАННЯМ ЗМІН КЛІМАТУ У ХХІ СТОРІЧЧІ

В розділі наведені результати моделювання водно-сольового балансу Куяльницького лиману (багаторічна мінливість рівня та мінералізації води) з урахуванням змін клімату у ХХІ ст. за період з 2015 по 2098 рр., в умовах природного та побутового стоку з басейну р. В. Куяльник, як без подачі морської води, так і при періодичному надходженні до водойми морської води з Одеської затоки через трубопровід «море-лиман». Розрахунки виконувалися з використанням моделі водно-сольового балансу лиману, розробленої, каліброваної та верифікованої на попередніх етапах роботи [118, 229].

Для моделювання використані вихідні дані (середньомісячні значення температури та відносної вологості повітря, що у подальшому були застосовані для визначення щомісячних шарів випаровування з водної поверхні лиману; щомісячні шари та мінералізація води атмосферних опадів; середньомісячні витрати та мінералізація води р. В. Куяльник, які були підготовлені для розрахунків та оцінені на попередніх етапах роботи [118, 229].

В розрахунках водно-сольового балансу лиману при періодичному надходженні до водойми морської води з Одеської затоки приймалось, що приплив морської води через трубопровід «море-лиман» відбувається самопливом з витратою $1,00 \text{ м}^3/\text{с}$ [74, 110]. Також, вважалось, що функціонування трубопроводу «море-лиман» реалізується згідно з **варіантом 3** [118], який враховує такі граничні умови подачі морської води до лиману:

- подача морської води до лиману починається, якщо:
 - а) середньодобова температура води в Одеській затоці є меншою або дорівнює 8°C ;
 - б) середньомісячна мінералізація води в лимані є більша за 40 г/дм^3 , а позначка рівня води в лимані є меншою від мінус $4,35 \text{ м БС}$;
- подача морської води до лиману припиняється, якщо:
 - а) значення рівня води в лимані перед початком водопілля є більшим від позначки мінус $4,35 \text{ м БС}$;
 - б) середньомісячна мінералізації води в лимані менша за 40 г/дм^3 ;
 - в) середньодобова температура води в Одеській затоці вища ніж 8°C .

Крім того, вважалось, що якість морської води відповідає всім необхідним вимогам для її подачі в лиман, а подача до лиману відбувалася в період з 1 грудня по 10 квітня [118].

Результати моделювання рівнів і мінералізації води Куяльницького лиману для різних умов функціонування водойми у XXI ст. за період з 2015 по 2098 рр. показані на рисунках: 10.1-10.8 – в умовах надходження природного та побутового стоку з басейну р. В. Куяльник, але без подачі до водойми морської води з Одеської затоки, 10.9-10.11 – в умовах надходження природного та побутового стоку з басейну р. В. Куяльник та при періодичній подачі до водойми морської води з Одеської затоки трубопроводом «море-лиман».

З рис. 10.1 та 10.2 видно, що середньомісячні рівні води в лимані, при відсутності припливу морської води з Одеської затоки, в умовах природного стоку з басейну р. В. Куяльник суттєво перевищують середньомісячні рівні води в лимані в умовах побутового стоку (в середньому на 0,41 м, з максимумом 1,44 м – у травні-червні 2071 р.). В умовах природного стоку середнє за період з 2015 по 2098 рр. значення середньомісячних рівнів води в лимані може дорівнювати мінус 5,41 м БС, найбільше – мінус 3,26 м БС (у травні 2069 р.), найменше – мінус 6,35 м БС (у жовтні 2032 р.).

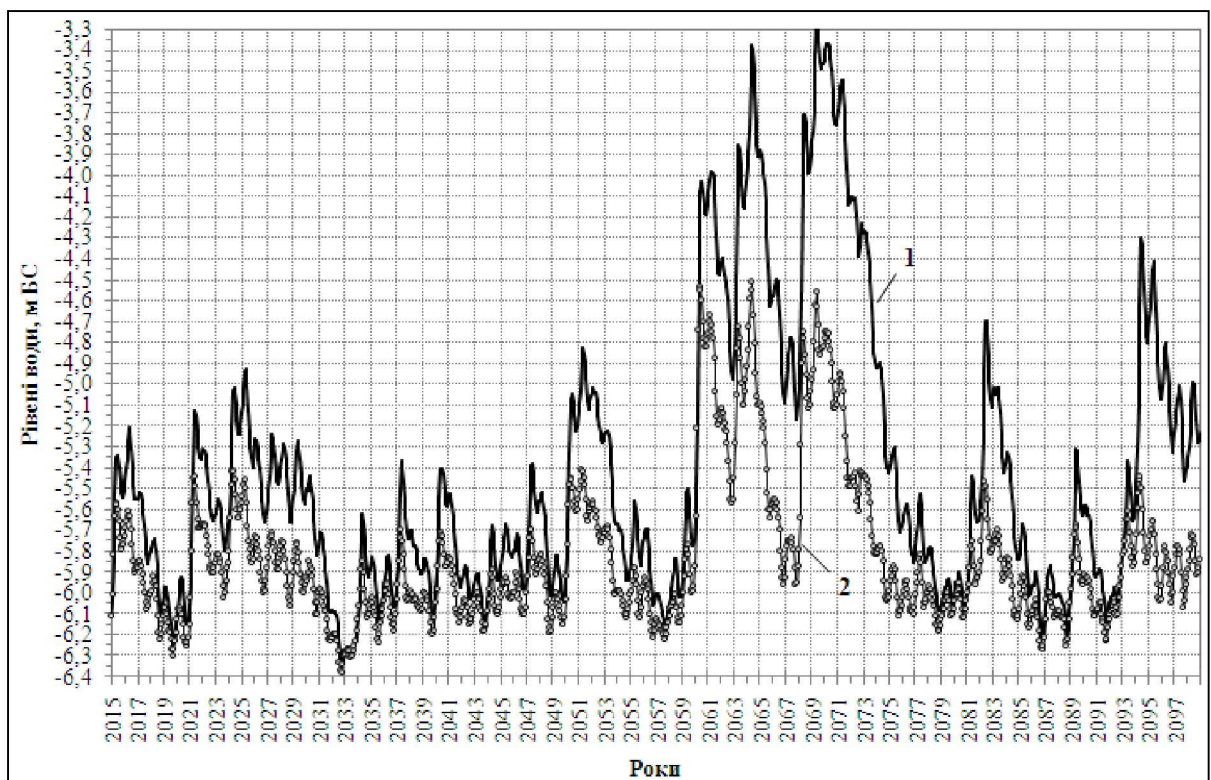


Рисунок 10.1 – Мінливість середньомісячних рівнів води Куяльницького лиману в умовах природного (1) та побутового (2) стоку р. В. Куяльник за період з 2015 по 2098 рр.

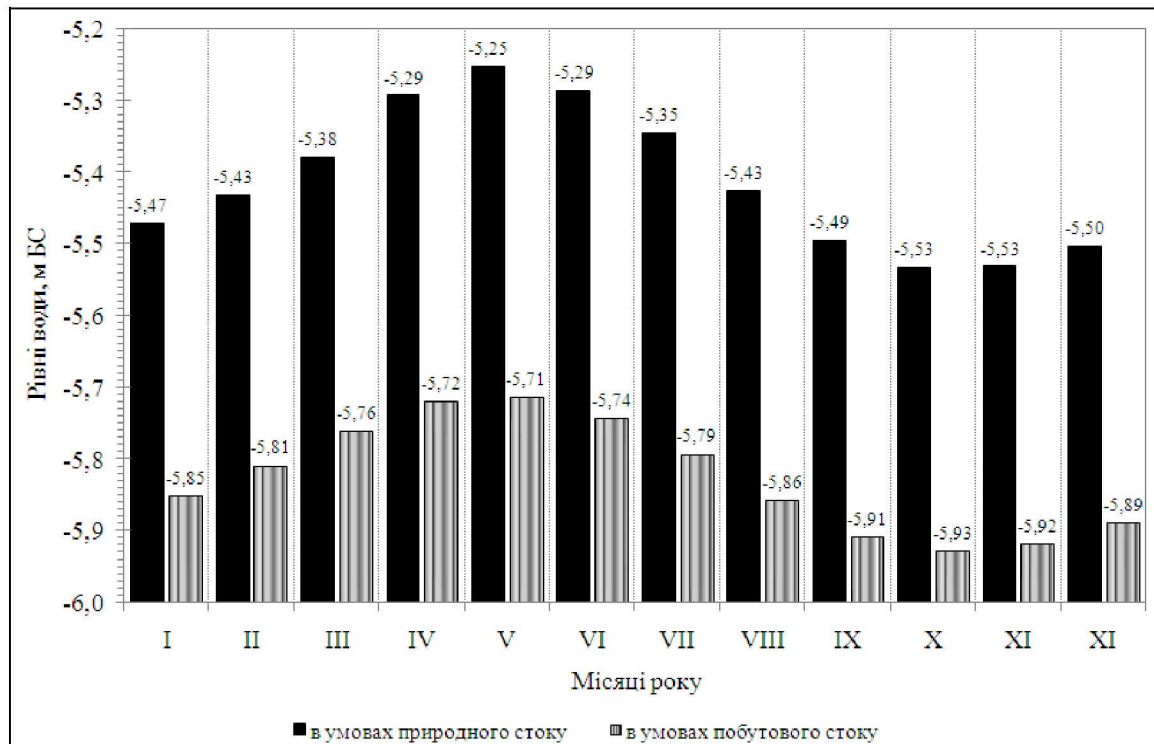


Рисунок 10.2 – Внутрішньорічний розподіл середньомісячних рівнів води Куяльницького лиману в умовах природного та побутового стоку р. В. Куяльник за період з 2015 по 2098 рр.

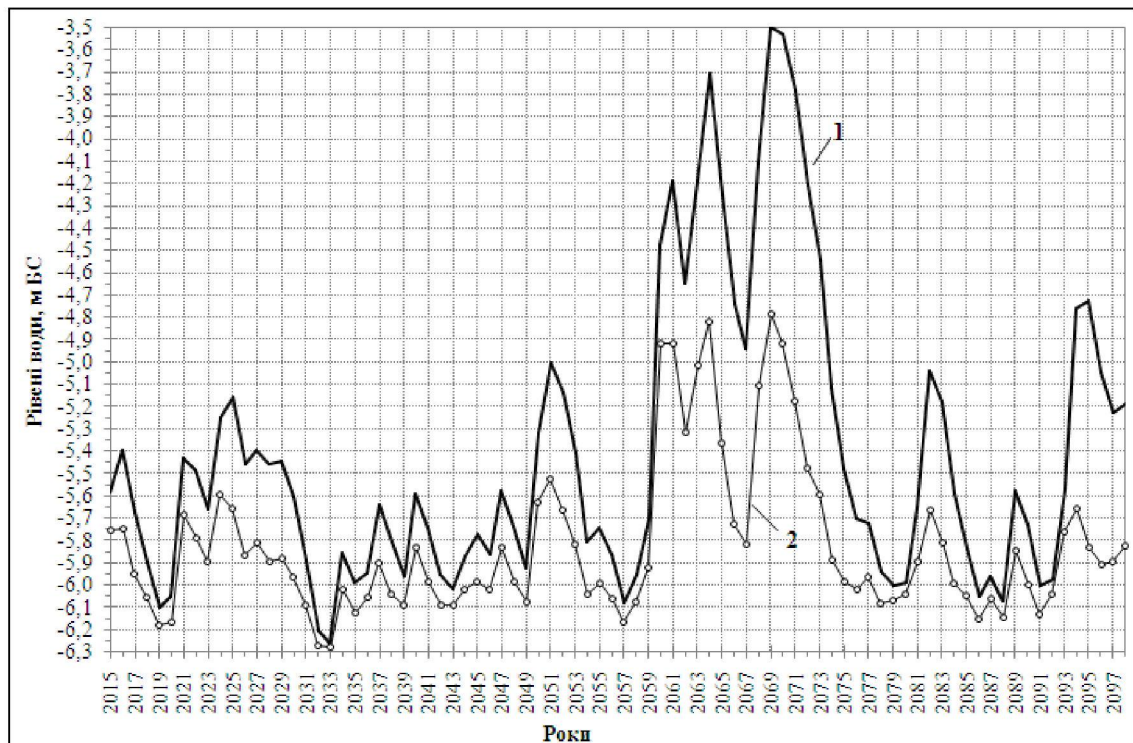


Рисунок 10.3 – Мінливість середньорічних рівнів води Куяльницького лиману в умовах природного (1) та побутового (2) стоку р. В. Куяльник за період з 2015 по 2098 рр.

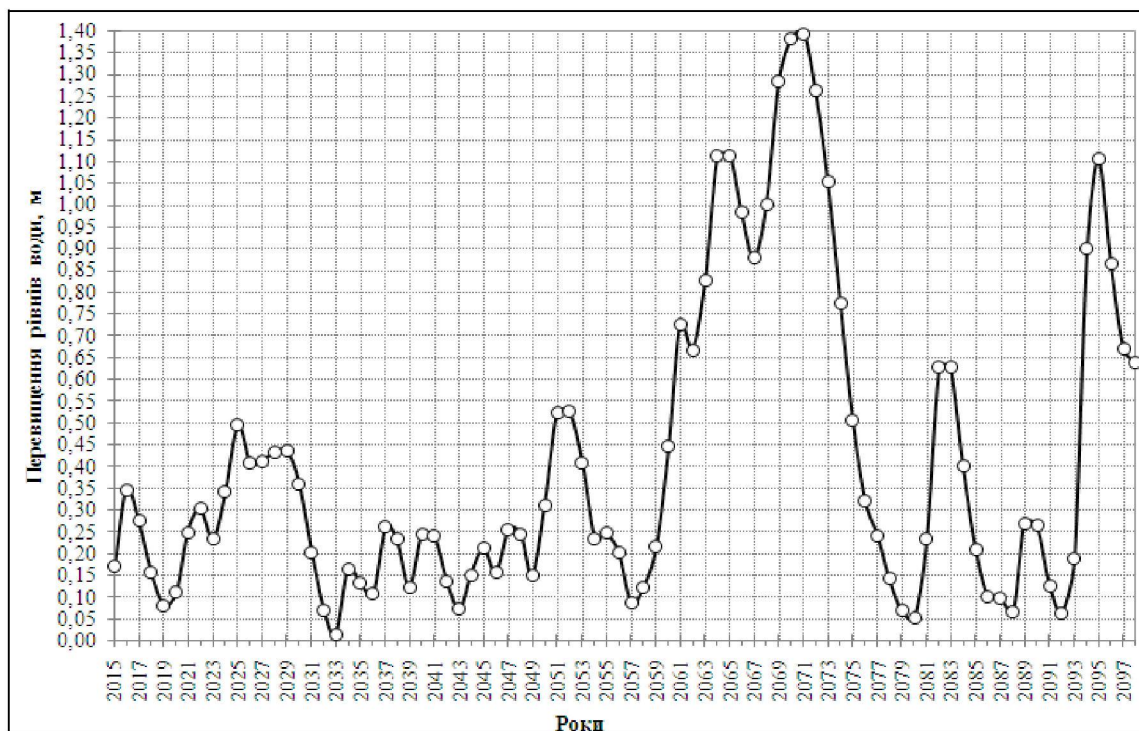


Рисунок 10.4 – Перевищення середньорічних значень рівня води Куяльницького лиману в умовах природного стоку р. В. Куяльник над значеннями рівня води в умовах побутового стоку за період з 2015 по 2098 рр.

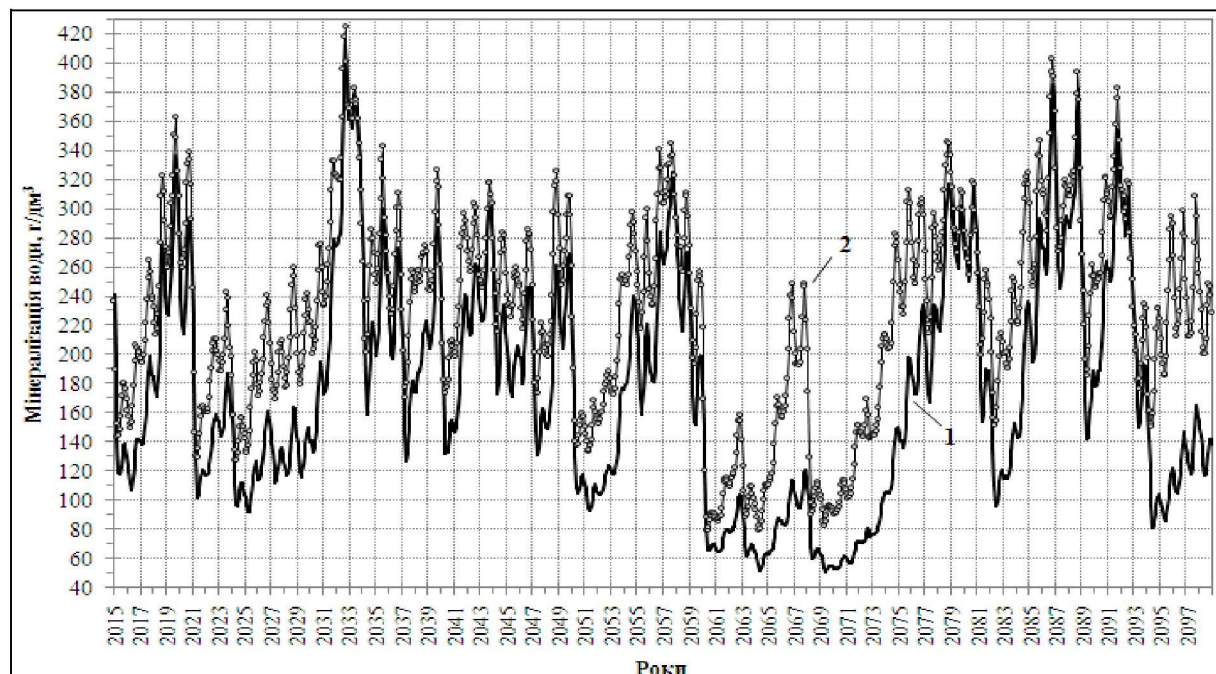


Рисунок 10.5 – Мінливість середньомісячних значень мінералізації води Куяльницького лиману в умовах природного (1) та побутового (2) стоку р. В. Куяльник за період з 2015 по 2098 рр.

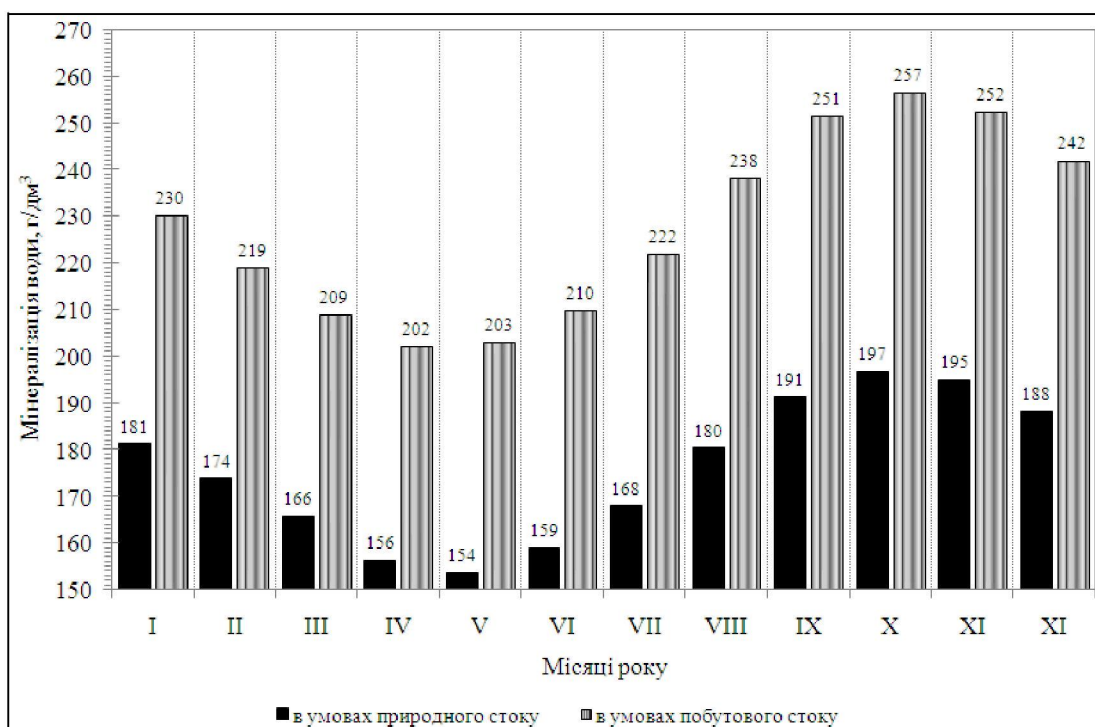


Рисунок 10.6 – Внутрішньорічний розподіл середньомісячних значень мінералізації води Куяльницького лиману в умовах природного та побутового стоку з басейну р. В. Куяльник за період з 2015 по 2008 рр.

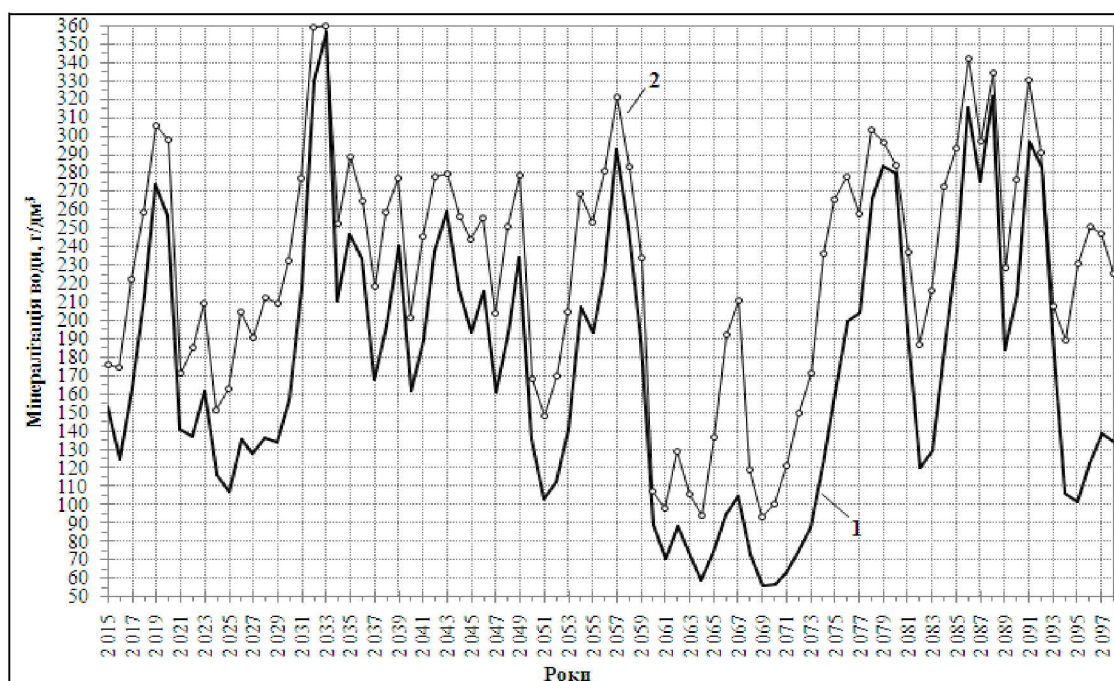


Рисунок 10.7 – Мінливість середньорічних значень мінералізації води Куяльницького лиману в умовах природного (1) та побутового (2) стоку р. В. Куяльник за період з 2015 по 2008 рр.

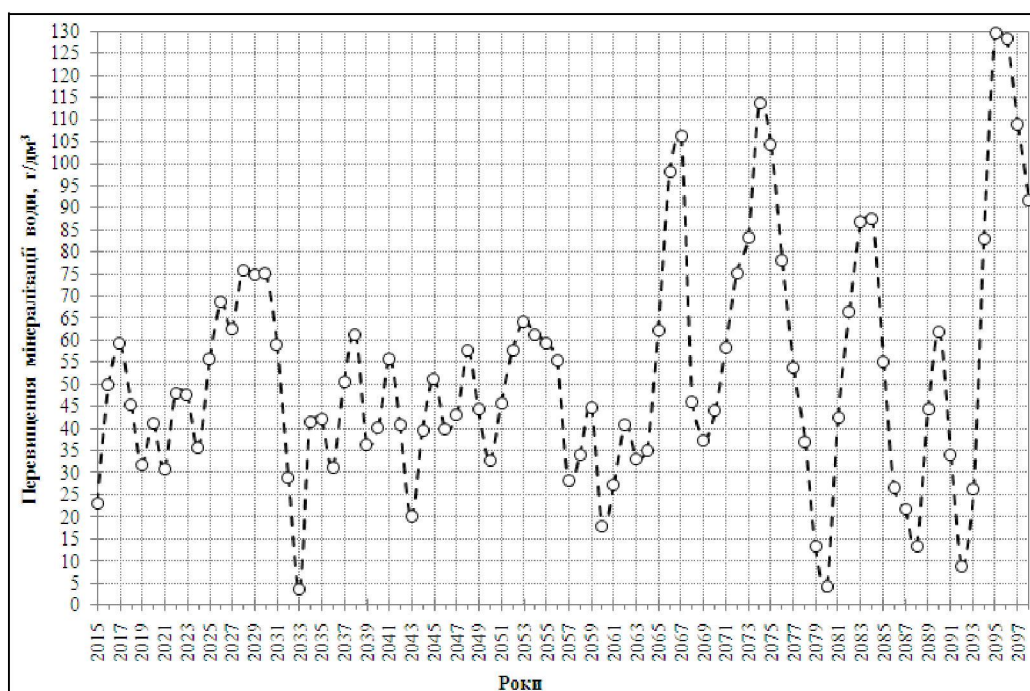


Рисунок 10.8 – Перевищення середньорічних значень мінералізації води Куяльницького лиману в умовах побутового стоку р. В. Куяльник над її значеннями в умовах природного стоку за період з 2015 по 2098 рр.

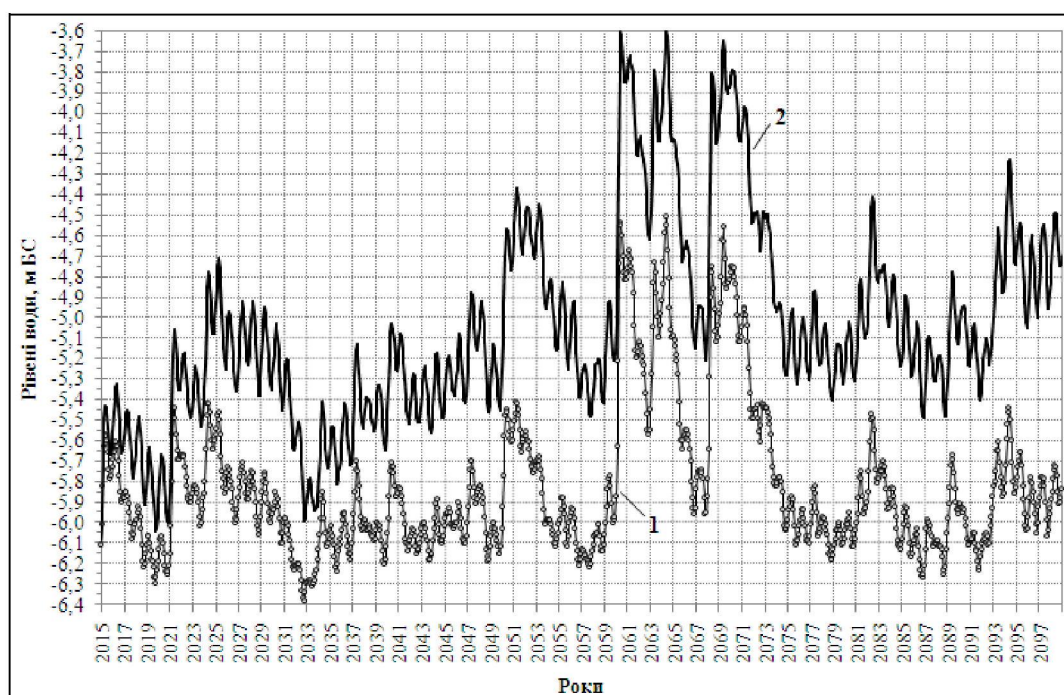


Рисунок 10.9 – Мінливість середньомісячних рівнів води Куяльницького лиману в умовах побутового стоку р. В. Куяльник без подачі морської води до водойми (1) та при її подачі з Одеської затоки (2) за період з 2015 по 2098 рр.

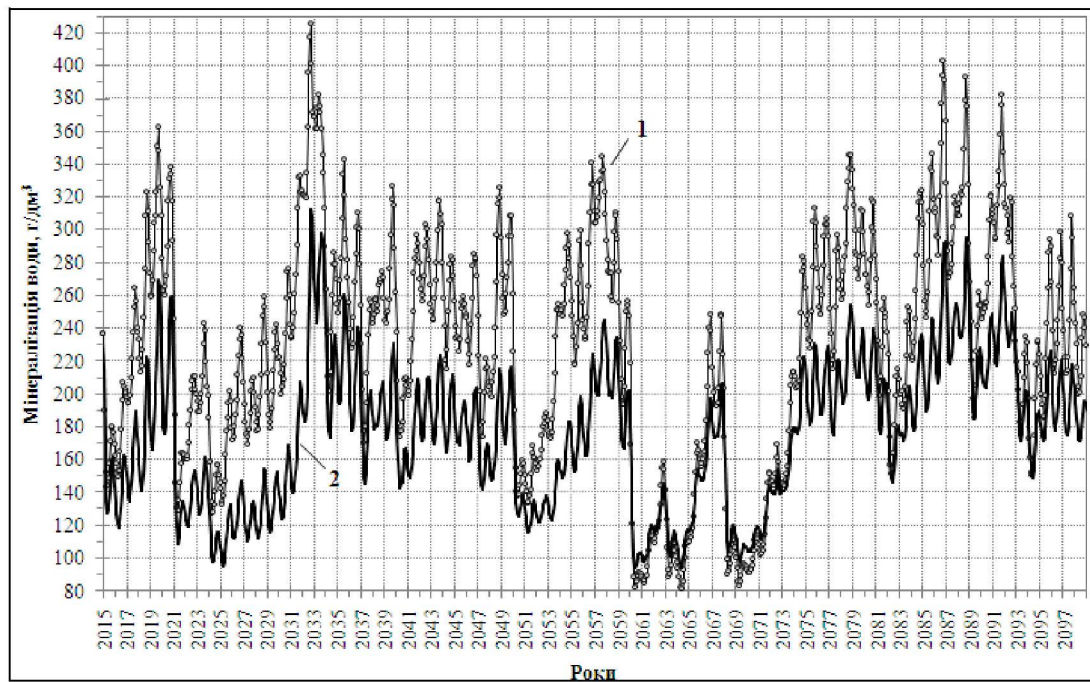


Рисунок 10.10 – Мінливість середньомісячних значень мінералізації води Куяльницького лиману в умовах побутового стоку р. В. Куяльник без подачі морської води до водойми (1) та при її подачі з Одеської затоки (2) за період з 2015 по 2098 рр.

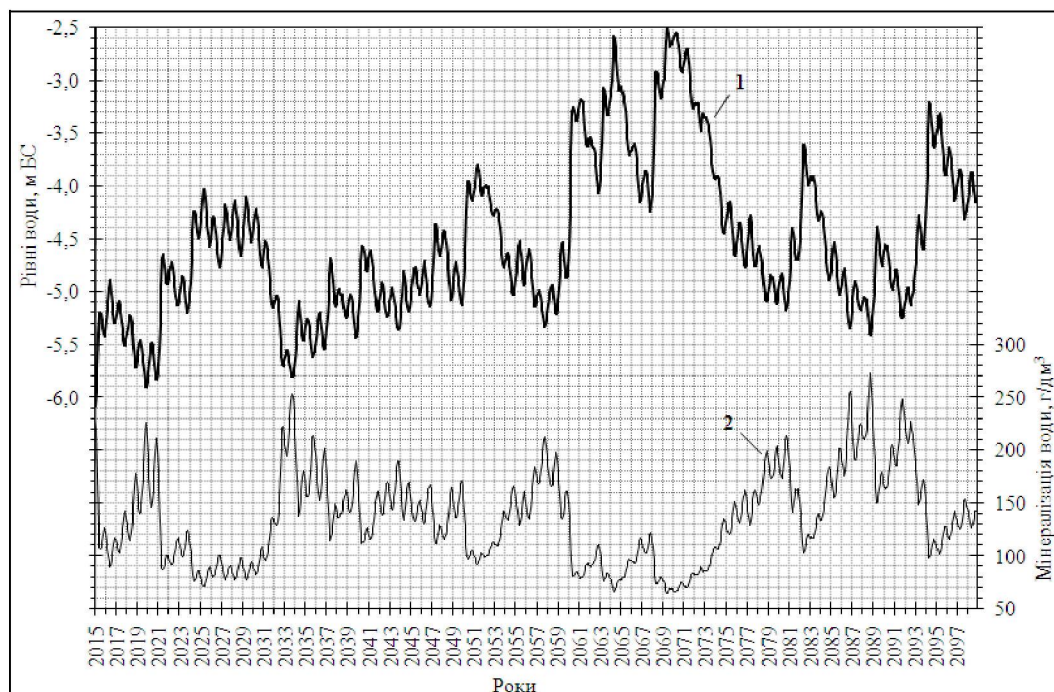


Рисунок 10.11 – Мінливість середньомісячних рівнів (1) і мінералізації (2) води в Куяльницькому лимані в умовах природного стоку з басейну р. В. Куяльник та при подачі морських вод з Одеської затоки за період з 2015 по 2098 рр.

За умов припливу до лиману побутового стоку середнє значення рівнів води у водоймі дорівнюватиме мінус 5,82 м БС, найбільше – мінус 4,51 м БС (у травні 2064 р.), найменше – мінус 6,38 м БС (у жовтні 2032 р.). З результатів аналізу середньорічних значень рівнів води в лимані (рис. 10.3 та 10.4) витікає, що їх мінливість в умовах природного та побутового стоку буде синхронною, але в умовах природного стоку рівні води в лимані будуть на 0,01-1,39 м вищі ніж в умовах побутового стоку, з розмахом коливань від мінус 6,26 м БС – у 2033 р. (наприкінці маловодного періоду 2030-2033 рр.), до мінус 3,50 м БС – у 2069 р. (під час багатоводного періоду 2066-2071 рр.).

З порівняння середньомісячних значень мінералізації води в лимані, при відсутності припливу морської води з Одеської затоки, в умовах природного та побутового стоку з басейну водойми (рис. 10.5 та 10.6) видно, що при останній умові вона буде вище в середньому на 52,19 г/дм³. Найбільше середньомісячне значення мінералізації води в лимані буде дорівнювати 424,88 г/дм³ – у жовтні 2032 р. (в умовах побутового стоку), а найменше – 50,76 г/дм³ – у травні 2069 р. (в умовах природного стоку). Найбільше перевищення між середньомісячними значеннями мінералізації води в умовах природного та побутового стоку складе 171,88 г/дм³ – у листопаді 2095 р. З результатів порівняння середньорічних значень мінералізації води в лимані (рис. 10.7 та 10.8) за період з 2015 по 2098 рр. в цілому витікає, що в умовах побутового стоку мінералізація води в лимані буде вища ніж в умовах природного стоку (від 3,75 г/дм³ – у 2033 р., до 129,37 г/дм³ – у 2095 р.).

При імітаційному моделюванні водно-сольового балансу лиману в умовах природного та побутового стоку з басейну р. В. Куяльник та при періодичному надходженні до водойми морської води з Одеської затоки трубопроводом «море-лимани» за **варіантом 3** (рис. 10.9-10.11) визначено, що рівні води в лимані значно підвищуються, а мінералізація води – зменшиться.

За період з 2015 по 2098 рр. при періодичній подачі морської води до лиману в умовах побутового стоку середньомісячні рівні води у водоймі збільшаться в середньому на 0,79 м, з найбільшим перевищенням 1,24 м – у квітні 2094 р. (рис. 10.9). За таких умов середньомісячні значення мінералізації води в лимані в середньому зменшаться на 52,35 г/дм³ (в окремі місяці аж на 137,69 г/дм³ – у липні 2032 р.), а найбільша мінералізація води буде дорівнювати лише 312,14 г/дм³ – у жовтні 2032 р. (рис. 10.10).

В умовах природного стоку при періодичній подачі морської води до лиману за **варіантом 3** (рис. 10.11) середньомісячні рівні води у водоймі збільшаться в середньому на 0,88 м, з найбільшим перевищенням 1,26 м – у квітні 2077 р. Слід зазначити, що зменшення середньомісячних значень мінералізації води в лимані в середньому складе лише 0,26 г/дм³, однак в окремі місяці ця різниця становитиме аж на 114,12 г/дм³ – у серпні 2032 р.

Крім того, середньомісячні значення мінералізація води в лимані будуть в цілому менші 250 г/дм^3 за виключенням 9 місяців (у жовтні-грудні 2033 р., жовтні-листопаді 2086 р. та серпні-листопаді 2088 р.), в які мінералізація води може короткочасно збільшитись до $251\text{-}273 \text{ г/дм}^3$ (рис. 10.10).

В цілому, за період з 2015 по 2098 рр., при періодичному надходженні до Куяльницького лиману морської води з Одеської затоки трубопроводом «море-лимани» за **варіантом 3**, середньомісячні рівні води у водоймі в умовах природного стоку з басейну р. В. Куяльник (рис. 10.11) в середньому є на $0,51 \text{ м}$ вищими ніж в умовах побутового стоку (рис. 10.9), з найбільшим перевищенням $1,31 \text{ м}$ – у квітні-травні 2071 р., а мінералізація води є майже на 40 г/дм^3 меншою, з найбільшою різницею $98,85 \text{ г/дм}^3$ – у листопаді 2095 р.

Таким чином, з результатів аналізу рис. 10.1-10.11 витікає, що в умовах майбутнього клімату (за період з 2015 по 2098 рр., сценарій A1B), як без подачі до Куяльницького лиману морської води, так і при періодичному надходженні до водойми морської води з Одеської затоки трубопроводом «море-лимани», існування природного стоку з басейну р. В. Куяльник до лиману має більші переваги над побутовим стоком. Насамперед, це пов'язано зі значно меншими величинами мінералізації води та більш високими значеннями позначок рівнів води в лимані.

Слід також зазначити, що навіть в умовах побутового стоку у XXI ст., при періодичному надходженні до лиману морської води з Одеської затоки трубопроводом «море-лимани» за **варіантом 3**, в лимані можна очікувати поступове підвищення рівнів води та зменшення її мінералізації, величина якої не буде перевищувати 315 г/дм^3 , в середньому дорівнюючи $175,67 \text{ г/дм}^3$.

11 ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ МІНЛИВОСТІ ГІДРОЛОГІЧНИХ ТА ГІДРОФІЗИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК КУЯЛЬНИЦЬКОГО ЛИМАНУ ЗА РІЗНИХ УМОВ ЙОГО ВОДНОГО МЕНЕДЖМЕНТУ

З огляду на заходи, які вже реалізовані або плануються до реалізації в межах Регіональної програми збереження та відновлення водних ресурсів у басейні Куяльницького лиману на 2012-2018 рр. (розпочате у грудні 2014 р. поповнення Куяльницького лиману морською водою з Одеської затоки, заплановане розчищення русла р. Великий Куяльник для збільшення прісного стоку в лиман) актуальною стає задача відтворення та прогнозування просторово-часової мінливості гідрологічних характеристик лиману (рівня, солоності, температури води). Саме ці характеристики обумовлюють хімічні та біологічні процеси, що відбуваються в лимані, і, таким чином, впливають на властивості ropy та лікувальних грязей.

Оскільки моніторинг проводиться епізодично, в обмеженій кількості точок на акваторії лиману, то для вирішення поставленої задачі доцільно використовувати методи чисельного математичного моделювання.

У даному розділі представлені результати застосування тривимірної гідротермодинамічної моделі Delft3D-FLOW [45, 46] для оцінки впливу поповнення Куяльницького лиману морською водою та часткового відновлення природного стоку р. В.Куяльник на внутрішньорічну просторово-часову мінливість гідрологічних та гідрофізичних характеристик води в лимані.

11.1 Опис гідротермодинамічної моделі, результатів її адаптації та верифікації

Модель Delft3D-FLOW базується на чисельному рішенні рівняння Нав'є-Стокса для нестисливої рідини на мілкій воді у наближенні Бусінеска. Система диференціальних прогностичних рівнянь моделі складається з рівнянь руху у горизонтальній площині, рівняння нерозривності, рівнянь переносу тепла і солей, а також з двопараметричної $k-\varepsilon$ -моделі турбулентності [230], яка замикає ці рівняння. Вертикальні компоненти векторів швидкості течій розраховуються через рівняння нерозривності. Для рівняння швидкості вертикального руху береться гідростатичне наближення. Рівняння стану морської води визначається за формулою ЮНЕСКО [231].

Вітрова напруга тертя на верхній вільній поверхні $\vec{\tau}_s = (\tau_{sx}, \tau_{sy})$, визначається як:

$$|\vec{\tau}_s| = \rho_a c_d U_{10}^2, \quad (11.1)$$

де ρ_a – густина повітря; $\bar{U}_{10} = (U_x, U_y)$ – швидкість вітру на висоті 10 м;

c_d – коефіцієнт поверхневого вітрового тертя, який задавався у відповідності з наступним співвідношенням [316]:

$$c_d(U_{10}) = \begin{cases} c_d^A, & U_{10} < U_{10}^A \\ c_d^A + \frac{c_d^B - c_d^A}{U_{10}^B - U_{10}^A} (U_{10} - U_{10}^A), & U_{10}^A \leq U_{10} \leq U_{10}^B \\ c_d^B, & U_{10} \geq U_{10}^B \end{cases}, \quad (11.2)$$

де $c_d^A = 1,255 \times 10^{-3}$, $c_d^B = 2,425 \times 10^{-3}$ – значення коефіцієнтів вітрового тертя;

$U_{10}^A = 7$ м/с, $U_{10}^B = 25$ м/с – швидкість вітру на висоті 10 м.

Придонна напруга тертя на дні визначається через швидкість придонної течії. Передбачається, що вектор придонної напруги тертя $\vec{\tau}_b = (\tau_{bx}, \tau_{by})$ співпадає по напрямку з вектором швидкості придонної течії $\vec{u}_b = (u_b, v_b)$, а його величина визначається квадратичним законом:

$$\vec{\tau}_b = \frac{g \rho_0 \vec{u}_b |\vec{u}_b|}{c_{3D}^2}, \quad (11.3)$$

де $g = 9,81$ м/с² – прискорення вільного падіння;

ρ_0 – початкова густина води;

c_{3D} – тривимірний коефіцієнт донного тертя Шезі, який розраховується за формулою:

$$c_{3D} = \frac{\sqrt{g}}{\kappa} \ln \left(1 + \frac{\Delta z_b}{2z_0} \right), \quad (11.4)$$

де $\kappa \approx 0,41$ – стала фон Кармана;

Δz_b – відстань від дна до точки, в якій визначається коефіцієнт;

z_0 – параметр шорсткості дна.

При виконанні модельних розрахунків параметр шорсткості дна z_0 розраховувався через двовимірний коефіцієнт донного тертя Шезі c_{2D} , відповідно до наступного відношення:

$$z_0 = \frac{H}{e^{1 + \frac{\kappa c_{2D}}{\sqrt{g}}} - e}, \quad (11.5)$$

де H – повна локальна глибина;

c_{2D} – двовимірний коефіцієнт Шезі, який визначається відповідно до рівняння Маннінга:

$$c_{2D} = \frac{\sqrt[6]{H}}{n}, \quad (11.6)$$

де n – коефіцієнт Маннінга.

Напруги Рейнольдса моделюються з використанням концепції турбулентної в'язкості. Вертикальна турбулентна в'язкість розраховується на основі k - ε моделі [231], в якій вирішується система двох нелінійних дифузійних рівнянь – для масової густини турбулентної енергії k та швидкості дисипації турбулентної енергії ε . Коефіцієнти турбулентної в'язкості в горизонтальному ν_H та вертикальному напрямках ν_V визначаються наступним чином:

$$\nu_H = \nu_{3D} + \nu_H^{back}, \quad (11.7)$$

$$\nu_V = \nu_{mol} + \max(\nu_{3D}, \nu_V^{back}) \quad (11.8)$$

де ν_{3D} – в'язкість, що розраховується в k - ε моделі;

ν_H^{back} , ν_V^{back} – порогові значення коефіцієнтів турбулентної в'язкості в горизонтальному та вертикальному напрямках, відповідно;

ν_{mol} – коефіцієнт молекулярної в'язкості.

Перенос речовин та тепла у 3-D системі координат моделюється через рівняння адвекції-дифузії, до якого включені члени джерел-стоків тепла та солей. Коефіцієнти горизонтальної та вертикальної дифузії визначаються відповідно як:

$$D_H = D_{3D} + D_H^{back}, \quad (11.9)$$

$$D_V = \frac{v_{mol}}{\sigma_{mol}} + \max(D_{3D}, D_V^{back}) \quad (11.10)$$

$$D_{3D} = \max\left(D_{3D}, 0,2 L_{oz}^2 \sqrt{-\frac{g}{\rho} \frac{\delta \rho}{\delta z}}\right), \quad (11.11)$$

де D_{3D} – дифузія, що розраховується в $k-\varepsilon$ моделі;

D_H^{back} , D_V^{back} – порогові значення коефіцієнтів дифузії в горизонтальному та вертикальному напрямках, відповідно;

L_{oz} – масштаб довжини Озмідова;

σ_{mol} – число Прандтля-Шмідта для молекулярного перемішування;

z – глибина.

Порогові значення коефіцієнтів горизонтальної турбулентної в'язкості та дифузії визначались за допомогою «закону чотирьох третин», встановленого Річардсоном (1926), з урахуванням горизонтального шагу розрахункової сітки:

$$v_H^{back}, D_H^{back} = \gamma \Delta^{4/3}, \quad (11.12)$$

де Δ – горизонтальний шаг розрахункової сітки;

$\gamma = 0,03$ – безрозмірний емпіричний коефіцієнт [232].

Тепло- та масообмін з атмосферою розраховується в моделі з використанням напівемпіричних формул [233, 234].

Випаровування з водної поверхні E розраховується в моделі як сума випаровування під дією вимушеної конвекції E_{FORCED} та випаровування при вільній конвекції E_{FREE} .

Випаровування під дією вимушеної конвекції визначається наступним чином:

$$E_{FORCED} = \rho_a f(U_{10}) \{q_s(T_s) - q_a(T_a)\}, \quad (11.13)$$

де ρ_a – густина повітря;

q_s – питома вологість насиченого водяного пару;

q_a – питома вологість повітря на висоті 10 м.

$$q_s(T_s) = \frac{0,62 e_s}{P_{atm} - 0,38 e_s}, \quad (11.14)$$

$$q_a(T_a) = \frac{0,62 e_a}{P_{atm} - 0,38 e_a}, \quad (11.15)$$

де P_{atm} – атмосферний тиск;

e_s – пружність насиченого водяного пару;

e_a – дійсна пружність пару, які розраховуються відповідно до наступних відношень:

$$e_s = 10^{\frac{0,7859 + 0,03477 T_s}{1 + 0,00412 T_s}}, \quad (11.16)$$

$$e_a = r_{hum} 10^{\frac{0,7859 + 0,03477 T_a}{1 + 0,00412 T_a}}, \quad (11.17)$$

де r_{hum} – відносна вологість повітря;

T_s – температура води у поверхневому шарі;

T_a – температура повітря.

Функція швидкості повітря на висоті 10 м $f(U_{10})$ у формулі (11.13) визначається як:

$$f(U_{10}) = c_e U_{10}, \quad (11.18)$$

де c_e – число Дальтона (калібрувальний коефіцієнт); U_{10} – швидкість вітру на висоті 10 м, м/с.

Випаровування при вільній конвекції розраховується наступним чином:

$$E_{FREE} = k_S \bar{\rho}_a \{q_s(T_s) - q_a(T_a)\}, \quad (11.19)$$

де $\bar{\rho}_a$ – середня густина повітря;

k_S – коефіцієнт теплопередачі, який розраховується за наступною залежністю:

$$k_S = \begin{cases} 0, & \rho_{a10} - \rho_{a0} \leq 0 \\ c_{fr,conv} \left\{ \frac{g \alpha^2}{\nu_{air} \rho_a} (\rho_{a10} - \rho_{a0}) \right\}^{1/3}, & \rho_{a10} - \rho_{a0} > 0 \end{cases} \quad (11.20)$$

де $c_{fr,conv}$ – коефіцієнт вільної конвекції, який калібрується;

ρ_{a0} – густина насиченої водяної пари (біля водної поверхні), кг/м³;

ρ_{a10} – густина повітря на висоті 10 м, кг/м³;

ν_{air} – в'язкість повітря, яка береться рівною константі $16,0 \times 10^{-6}$ м²/с;

α – молекулярна дифузія повітря, яка визначається наступним чином:

$$\alpha = \frac{V_{air}}{\sigma}, \quad (11.21)$$

де $\sigma = 0,7$ – число Прандтля (для газів).

Густина насиченої водяної пари ρ_{a0} та густина повітря на висоті 10 м ρ_{a10} у залежності (11.20) розраховуються відповідно як:

$$\rho_{a0} = \frac{\frac{100P_{atm} - 100e_s}{R_{dry}} + \frac{100e_s}{R_{vap}}}{T_s + 273,15}, \quad (11.22)$$

$$\rho_{a10} = \frac{\frac{100P_{atm} - 100e_a}{R_{dry}} + \frac{100e_a}{R_{vap}}}{T_a + 273,15}, \quad (11.23)$$

де $R_{dry} = 287,05$ Дж/(кг К) – газова стала для сухого повітря;

$R_{vap} = 461,495$ Дж/(кг К) – газова стала для пари.

Для врахування залежності інтенсивності випаровування з водної поверхні від солоності води лиману, розраховане в моделі випаровування помножувалось на корегувальний коефіцієнт відповідно до емпіричної залежності, наведеної в [235]:

$$E_S = E \times (0,75 + 0,25 e^{-0,065 \cdot S}) \quad (11.24)$$

де S – солоність води у поверхневому шарі, ‰.

Ступінь прозорості води, яка впливає на інтенсивність поглинання короткохвильової радіації у водному стовпі, задається в моделі як константа.

Кінцево-різницева апроксимація рівнянь моделі виконана на криволінійній розрахунковій сітці С-типу за класифікацією Аракави: скалярні величини задаються в центрах елементарних розрахункових осередків, а нормальні компоненти швидкості течій – на їх відповідних гранях. Часовий крок рішення рівнянь обмежується умовою стабільності Куранта-Фрідрікса-Леві.

Для дискретизації гідродинамічних рівнянь у 3-D просторі використовувалась структурована криволінійна система координат в горизонтальній площині та σ -система координат – по вертикалі. Криволінійна розрахункова сітка, яка була згенерована та пристосована до меж акваторії лиману, складалась з 37×268 розрахункових осередків у горизонтальній

площині (рис. 11.1в, г). Осередки сітки мають змінні розміри по горизонталі, які плавно змінюються в межах 60-210 м вздовж повздовжньої вісі лиману та 40-280 м – у поперечному напрямку. По вертикалі задавались 3 розрахункових рівня рівної товщини, реалізовані у криволінійній σ -системі координат. Глибини в лимані, приведені до позначки рівня води мінус 4,8 м БС (рис. 11.1а, б), задавались на основі векторизованих карт Одеської області масштабів 1:25000 та 1:100000 та плану Куяльницького лиману в ізобатах, побудованого за результатами батиметричної зйомки 2009 р.

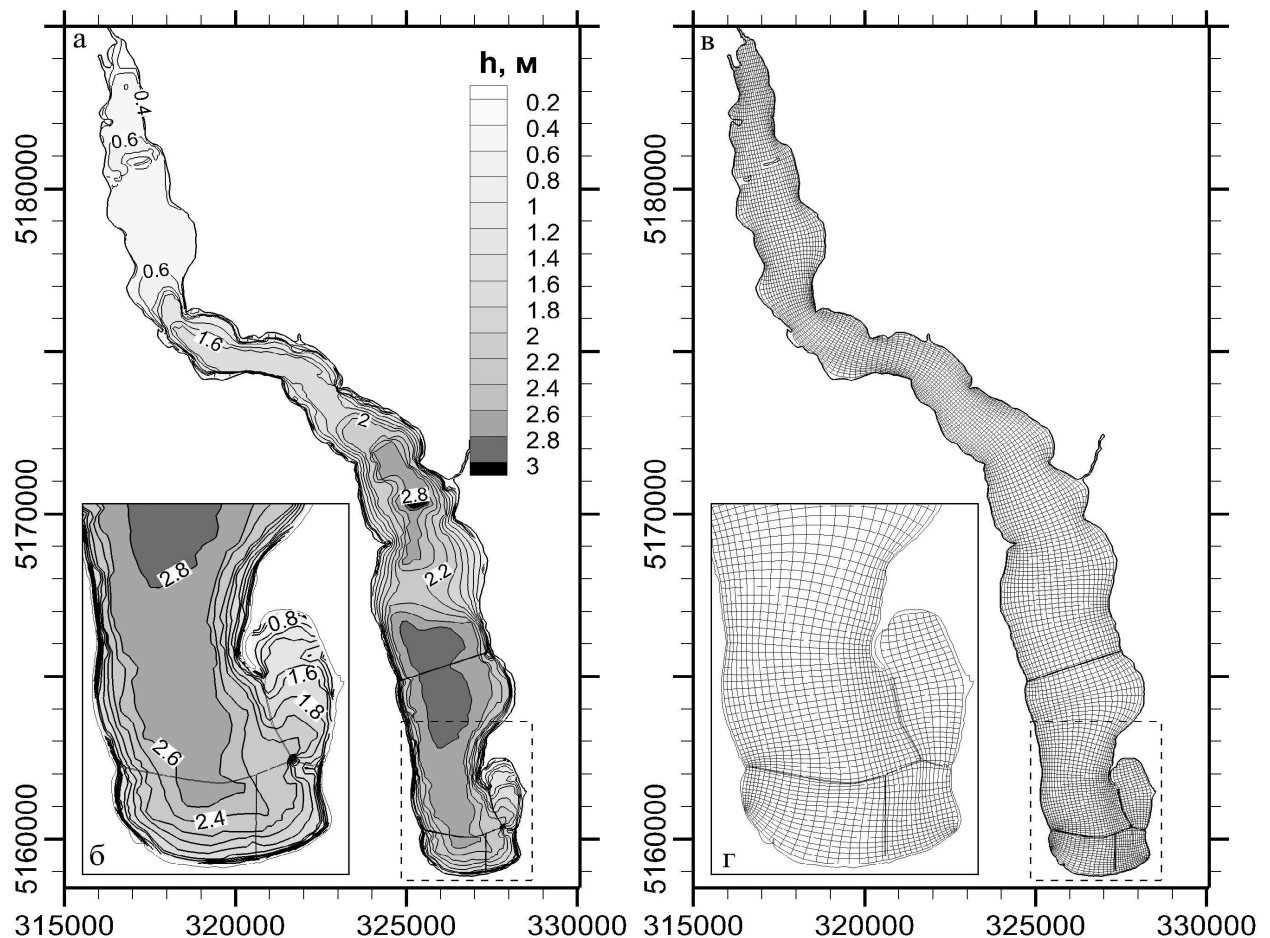


Рисунок 11.1 – Батиметрична карта акваторії Куяльницького лиману (а, б). Криволінійна розрахункова сітка (в, г)*

* Глибини на карті відповідають відмітці рівня моря мінус 4,8 м БС. На осях координат – відмітки сітки Універсальної поперечної проекції Меркатора (UTM) з кроком 1000 м, зона 36N

Програмна реалізація чисельних рівнянь моделі дозволяє враховувати під час проведення модельних розрахунків осушення-затоплення окремих мілководних ділянок ложа лиману при змінах рівня води у ньому.

Часовий крок рішення рівнянь моделі приймався рівним 30 с.

Початкові умови для модельних розрахунків (відмітка рівня води у лимані, температура, солоність води) задавались на основі даних спостережень та приймалися однорідними у просторі.

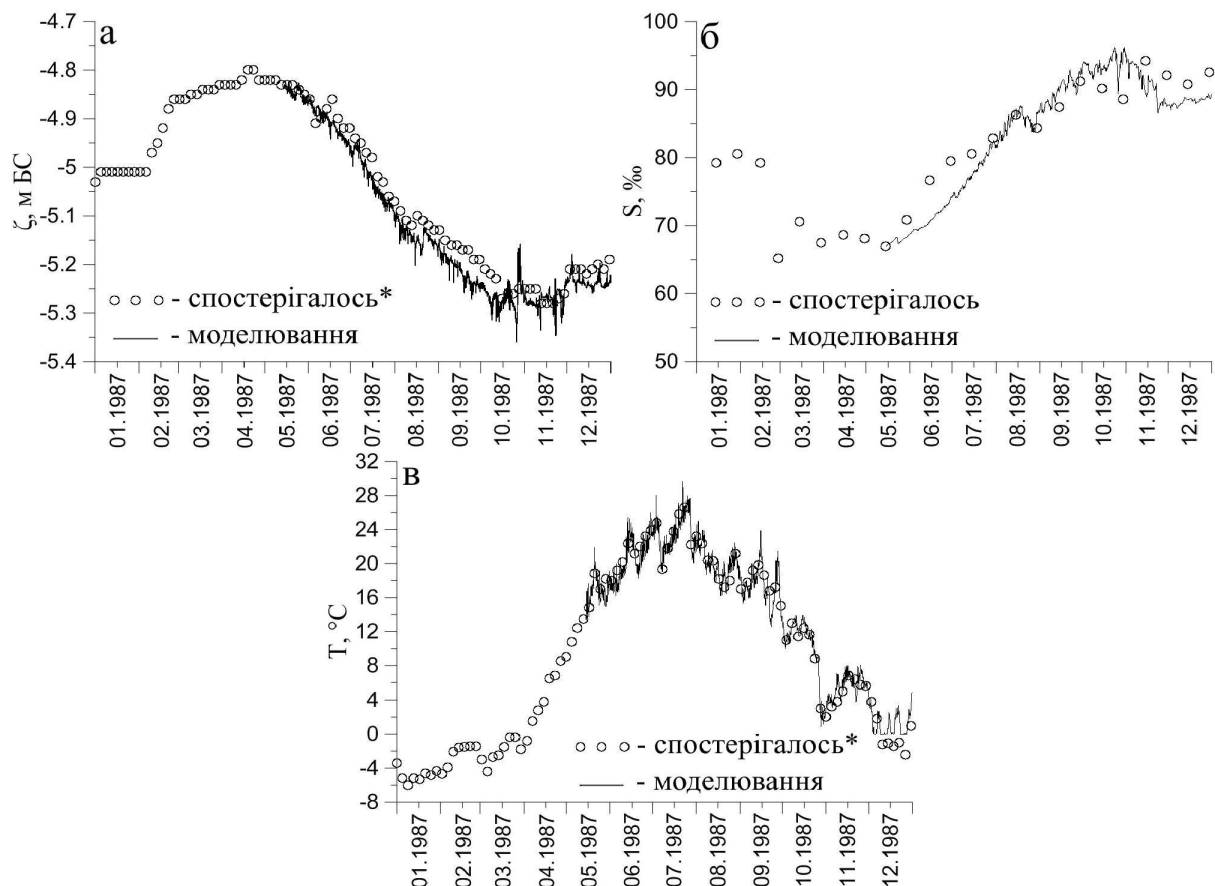
Адаптація моделі до умов Куяльницького лиману та її верифікація була виконана в [229] із використанням архівних гідрометеорологічних даних для двох обраних екстремальних років: 1987 р. та 2003 р. У 1987 р. стік р. Великий Куяльник в лиман був майже відсутній; невеликий стік (із витратами до $1,54 \text{ м}^3/\text{с}$) спостерігався лише наприкінці березня – на початку квітня. У 2003 р., навпаки, мала місце найбільша за останні десятиріччя повінь: витрати річки В. Куяльник досягали $34,5 \text{ м}^3/\text{с}$ наприкінці березня. В процесі адаптації моделі було виконано калібрування значень найбільш значущих коефіцієнтів рівнянь моделі (табл. 11.1), які використовувались у подальшому при розрахунках.

Таблиця 11.1 – Значення основних коефіцієнтів моделі, визначені під час її калібрування

№ з/п	Назва параметру	Значення, що використовувалось	Джерело
1.	Глибина Секкі, м	0,1	[236]
2.	Коефіцієнт поверхневого вітрового тертя, c_d	Лінійна функція зі значеннями $1,255 \times 10^{-3}$ та $2,425 \times 10^{-3}$ при швидкостях вітру 7 та 25 м/с відповідно	[237]
3.	Коефіцієнт Маннінга n , $\text{м}^{-1/3}\text{с}$	$1,8 \times 10^{-2}$	[238]
2.	Пороговий коефіцієнт горизонтальної турбулентної в'язкості, ν_H^{back} , $\text{м}^2/\text{с}$	10,0	[46, 232]
3.	Пороговий коефіцієнт горизонтальної турбулентної дифузії, D_H^{back} , $\text{м}^2/\text{с}$	10,0	[46, 232]
4.	Пороговий коефіцієнт вертикальної турбулентної в'язкості, ν_V^{back} , $\text{м}^2/\text{с}$	1×10^{-6}	[46]
5.	Пороговий коефіцієнт вертикальної турбулентної дифузії, D_V^{back} , $\text{м}^2/\text{с}$	0	[46]
6.	Число Дальтона, c_e	$1,6 \times 10^{-3}$	[239]
7.	Число Стентона, c_h	$2,0 \times 10^{-2}$	[239]
8.	Коефіцієнт вільної конвекції, $c_{fr.conv}$	0,4	[239]

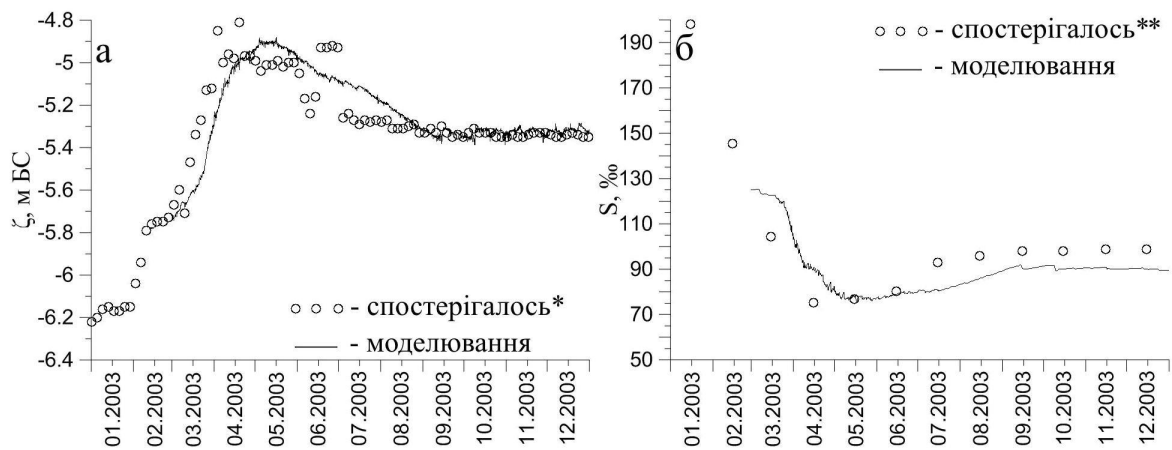
Результати моделювання мінливості рівня, температури та солоності за

умов 2003 та 1987 рр. (рис. 11.2, 11.3), детальний опис яких наведений в [229, 236], дозволили прийти до висновку, що модель Delft3D-FLOW може бути застосована для дослідження особливостей і прогнозування просторово-часової мінливості гідрологічних характеристик Куяльницького лиману під впливом природних та антропогенних чинників, які формують його гідрологічний режим. Зокрема, в моделі коректно розраховується випаровування з поверхні лиману, яке значно впливає на внутрішньорічну мінливість рівня та солоності води в лимані. Також було встановлено, що окрім стоку р. В. Куяльник та атмосферних опадів, важливу роль у формуванні внутрішньорічної мінливості рівня води в Куяльницькому лимані відіграють інші припливні складові його водного балансу, такі як надходження зливових та стічних вод зі ставків пересипу через водостік під Окружною дорогою, стік зі схилів, а також стік по тимчасових водотоках яружно-балкової системи лиману.



*- для зручності читання дані проріджені через кожні 4 значення

Рисунок 11.2 —Часова мінливість рівня води, м БС (а), солоності, ‰ (б), температури води, °C, (в) в Куяльницькому лимані в 1987 р.: за даними натурних спостережень (точки) та отримана в результаті моделювання (криві).



* для зручності читання дані проріджені через кожні 4 значення;

** середньомісячні значення солоності води.

Рисунок 11.3 – Часова мінливість рівня, м БС (а) та солоності води, ‰ (б), в Куяльницькому лимані у 2003 р. за даними натурних спостережень та отримана в результаті моделювання

11.2 Моделювання мінливості гідрологічних характеристик Куяльницького лиману за умов 2015 р.

Валідація моделі проводилась за умов 2015 р. Моделювалась мінливість гідрологічних характеристик в лимані на відрізку часу з 22.12.2014 р. по 01.11.2015 р. Початок періоду моделювання відповідав моменту відкриття водопропускної гідротехнічної системи, що дозволяє поповнювати Куяльницький лиман морською водою з Одеської затоки.

При моделюванні враховувались наступні припливні складові водного балансу лиману: обсяги надходження морських вод в лиман через гідротехнічну споруду (водопропуск), стік річок В. Куяльник, Довбока, Кубанка; стік з Корсунцівської, Гільдендорфської балок та через лотки з ВНС № 5 і ставків пересипу (рис. 11.4), добові суми опадів на акваторію лиману (рис. 11.5). Витрати прісних вод через водотоки, які впадають в лиман, морських вод через водопропуск, солоність морських вод задавались на підставі даних вимірювань фахівців Одеського державного екологічного університету (ОДЕКУ). З рис. 11.6 видно, що у 2015 р. надходження прісних вод до лиману зі стоком р. В. Куяльник було значно меншим, ніж зі стоком інших водотоків. В певній мірі це пов'язано з тим, що гирло р. В. Куяльник влітку і до жовтня 2015 р. було перекрито штучною дамбою, створеною протиправно.

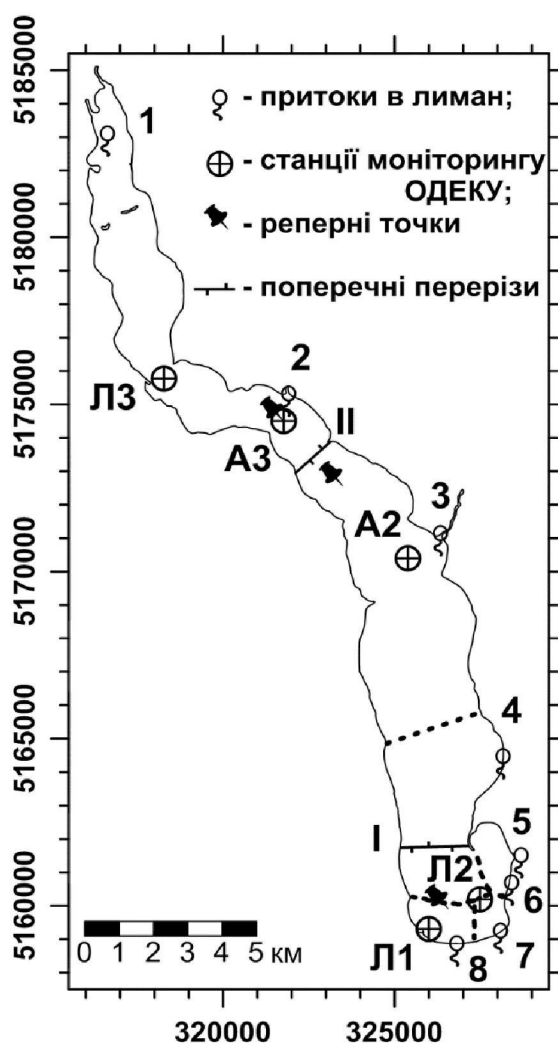


Рисунок 11.4 – Схема розташування станцій моніторингу ОДЕКУ на акваторії Куяльницького лиману (позначені А2, А3, Л1, Л2, Л3), реперних точок та поперечних перерізів (позначені І та ІІ) для аналізу результатів моделювання, та приток в лиман: 1 – р. В. Куяльник; 2 – р. Довбока; 3 – р. Кубанка; 4 – б. Гільдендорфська; 5 – б. Корсунцівська; 6 – лоток з ВНС № 5; 7 – водопропуск «лиман-море»; 8 – лоток зі ставків пересипу

Часова мінливість напрямку та швидкості вітру, температури та вологості повітря, балу хмарності у період моделювання задавались з дискретністю 3 години за даними спостережень на ГМС «Одеса-ГМО» (рис. 11.5).

Для верифікації результатів модельних розрахунків використовувались дані систематичних безперервних спостережень за мінливістю рівня води в лимані на водпосту «Одеса-Куяльник», а також епізодичних спостережень за рівнем, температурою та солоністю води в лимані, виконані фахівцями ОДЕКУ при проведенні моніторингу протягом 2015 р.

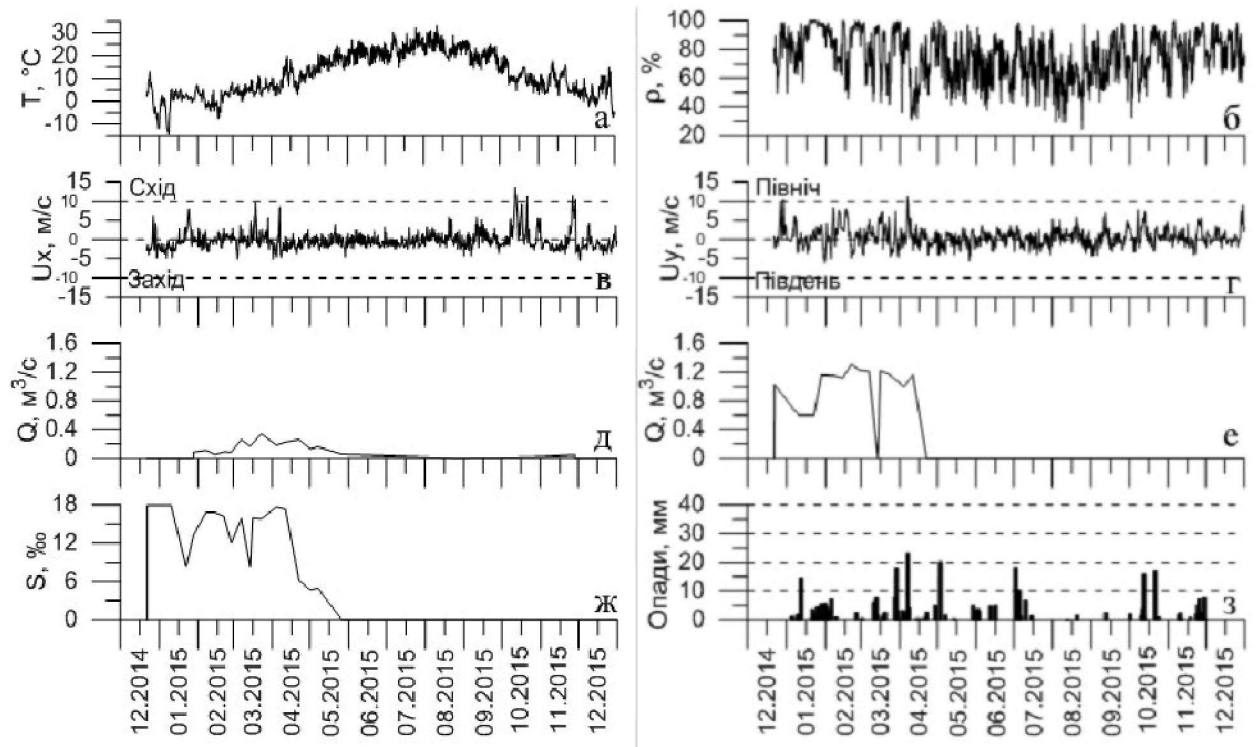


Рисунок 11.5 – Вихідні дані, що використовувались під час валідації моделі за гідрометеорологічних умов 2015 р.: часова мінливість температури, $^\circ\text{C}$ (а), вологості повітря, $\%$ (б); компоненти вектору швидкості вітру, m/s , у напрямках «схід-захід» (в) та «північ-південь» (г) (за даними спостережень на ГМС «Одеса-ГМО»); сумарні витрати річок, балок, лотків з ВНС № 5 та пересипу у лиман, m^3/s (д); витрати, m^3/s , (е) та солоність, ‰ , (ж) морської води у водопропуску «лиман-море»; добовий шар атмосферних опадів, mm , виміряних на метеопосту «Одеса-Куяльник» (з)

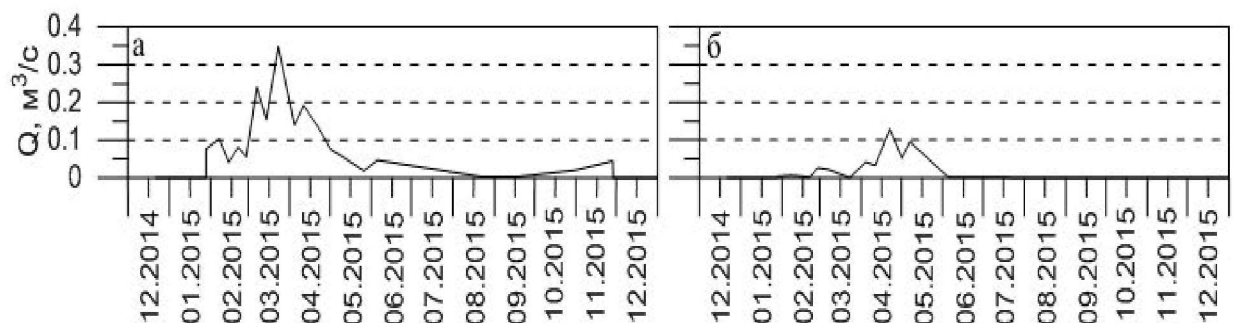


Рисунок 11.6 – Мінливість сумарних витрат води, m^3/s , по тимчасовим водотокам (р. Довбока, р. Кубанка, б. Гільдендорфська, б. Корсунцівська, лотки з ВНС №5 та зі ставків пересипу) (а) та витрат води р. В. Куяльник (б) у 2015 р.

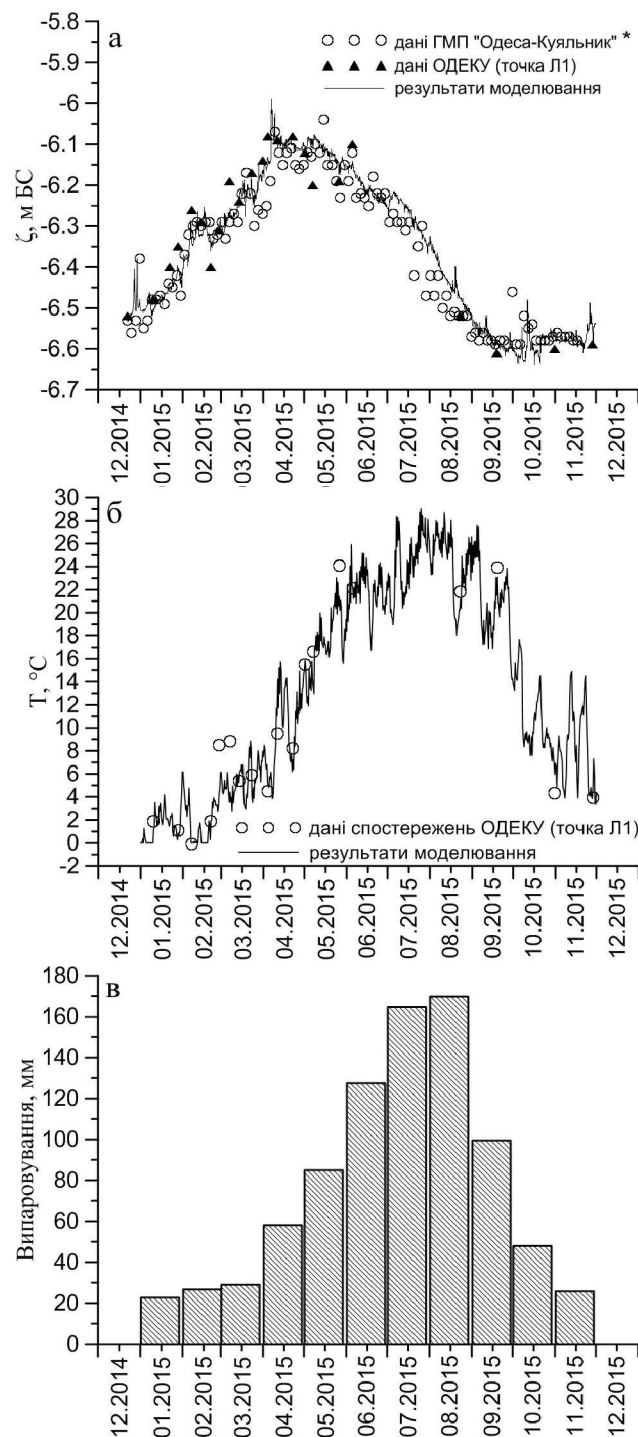
В [229, 236], було встановлено, що виключно важливу роль у формуванні внутрішньорічної мінливості рівня та солоності вод в лимані відіграють зливи. Точність завдання їх інтенсивності та повторюваності при імітаційному моделюванні визначає систематичну похибку діагностичних та прогностичних розрахунків. Використання при моделюванні даних щодо атмосферних опадів виміряних на ГМС «Одеса-ГМО», «Любашівка» та «Одеса-порт» призводило до стрибкоподібного підвищення рівня води після злив на початку квітня та на початку липня 2015 р., що не узгоджувалось з даними спостережень за рівнем води у лимані. Тому до моделювання були залучені дані спостережень за атмосферними опадами на метеопосту «Одеса-Куяльник», розташованому у м. Одеса, пров. Лиманний (рис. 11.5з), що дозволило отримати добре узгодження внутрішньорічної мінливості спостережених та розрахованих значень рівня води у лимані (рис. 11.7а).

Результати модельних розрахунків мінливості температури води в лимані, яка впливає на інтенсивність випаровування з його водної поверхні і, таким чином, зумовлює зменшення рівня води, також добре узгоджуються з даними спостережень (рис. 11.7б). Річна мінливість місячних шарів випаровування, розрахована при моделюванні, наведена на рис. 11.7в.

З більшими похибками, ніж температура води, відтворюється моделлю просторово-часова мінливість солоності води в лимані (рис. 11.8), особливо у його північній частині (рис. 11.8в). З огляду на значну мілководність північної частини лиману при відмітках рівня води, які спостерігались у 2015 р., заниження розрахованих для неї значень солоності води може бути наслідком впливу декількох чинників: завищення припливу до неї прісних вод від водотоків, неврахування в моделі розчинення частки накопичених в лимані сольових відкладень, похибок при завданні глибин в цій частині лиману.

11.2.1 Аналіз результатів моделювання отриманих за різних умов поповнення лиману морською водою

З метою визначення особливостей мінливості гідрологічних характеристик Куяльницького лиману за різних умов поповнення його морською водою були проведені числові експерименти з моделлю, в яких, за тих же гідрометеорологічних умов 2015 р., визначених за даними спостережень, розглядались варіанти водного менеджменту лиману, коли поповнення його морською водою не відбувалося б зовсім або здійснювалося б протягом всього року.



* дані проріджені через кожні 3 значення для зручності читання

Рисунок 11.7 – Часова мінливість рівня, м БС, (а) та температури води, °C, (б) в Куяльницькому лимані протягом 2015 р.: за даними натурних спостережень (точки) та отримана при моделюванні (криві) з використанням даних спостережень за атмосферними опадами на метеопосту «Одеса-Куяльник». Місячні шари випаровування з водної поверхні лиману (точка Л1) (в), розраховані за моделлю

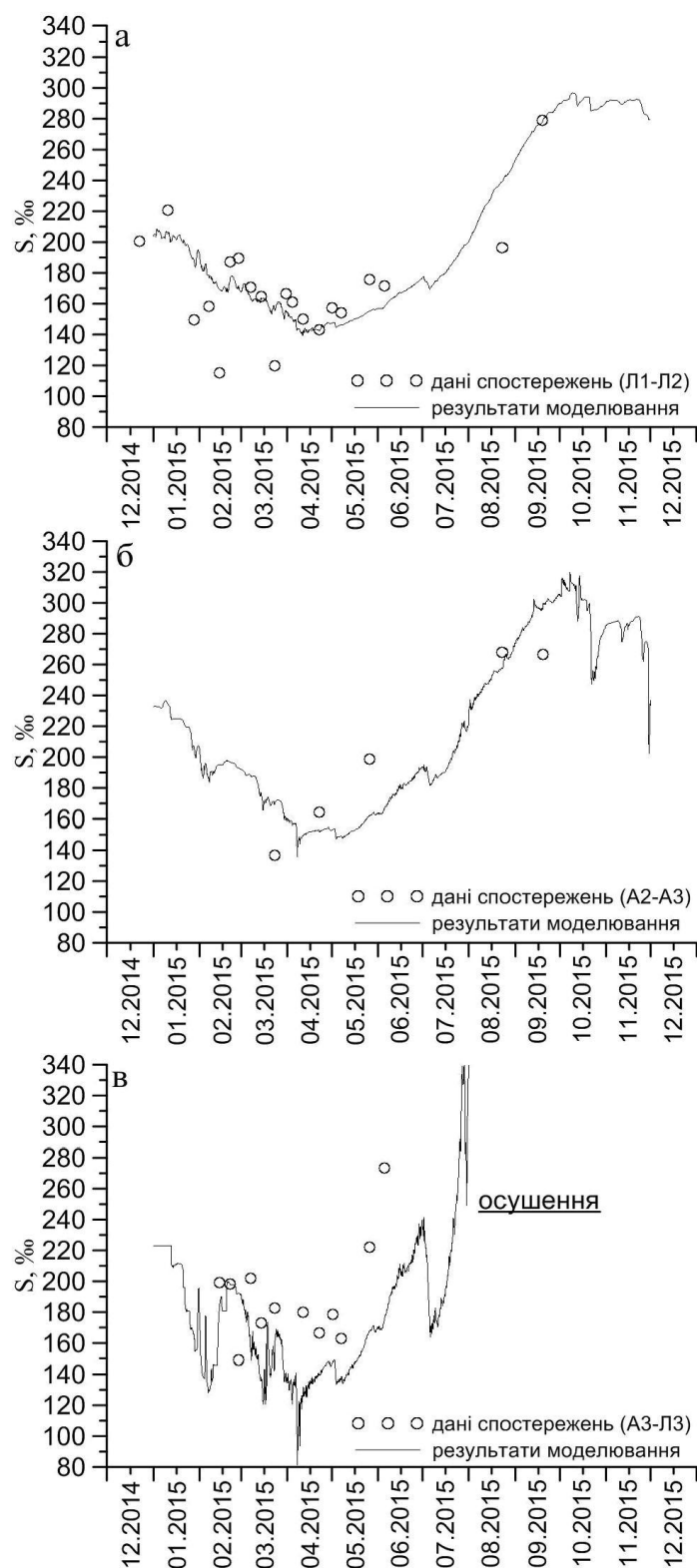


Рисунок 11.8 – Часова мінливість солоності води, ‰, в Куяльницькому лимані протягом 2015 р. за даними натурних спостережень (точки) та отримана в результаті моделювання (криві) в різних частинах акваторії лиману: а – середні значення між реперними точками Л1 та Л2; б – середні значення між реперними точками А2 та А3; в – середні значення між реперними точками А3 та Л3

З рис. 11.9 видно, що якби у 2015 р. не здійснювалось поповнення лиману морською водою з січня до середини квітня, до рівень води в ньому був би на 0,2 м нижче того, що спостерігався, а при поповненні протягом всього року – на 0,4-0,5 м вищим за спостережений наприкінці розрахункового року. Без поповнення лиману морською водою мінімальна відмітка рівня води в ньому склала би мінус 6,5 м БС у жовтні, а при поповненні протягом всього року – мінус 6,25 м БС у вересні.

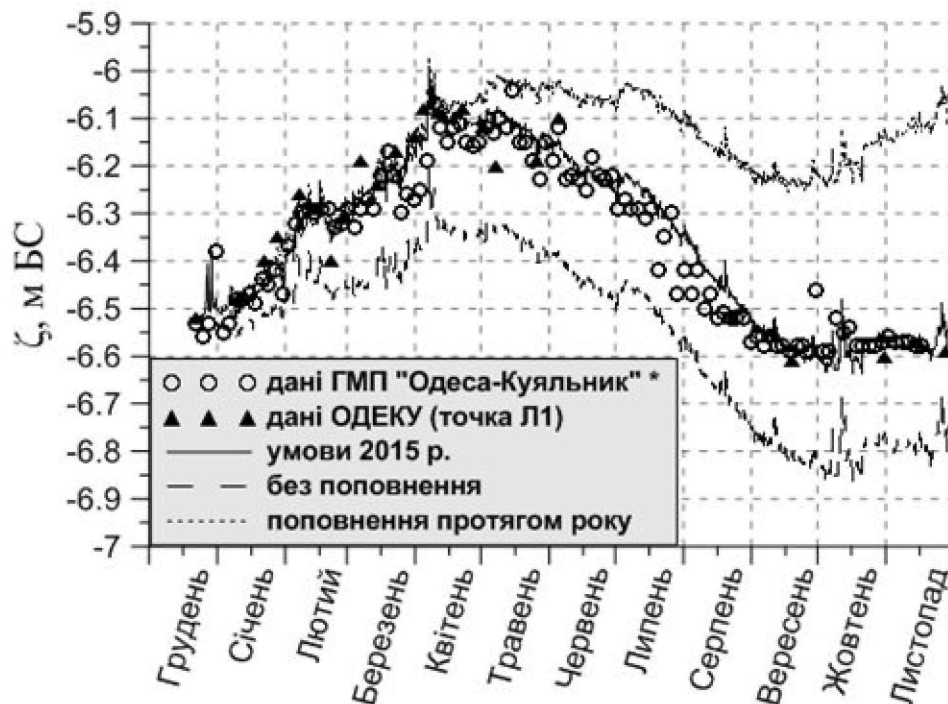


Рисунок 11.9 – Часова мінливість рівня води в лимані, м БС, протягом 2015 р. за даними натурних спостережень (точки) та отримана при моделюванні (криві) за різних умов поповнення лиману морською водою

Внутрішньорічна мінливість солоності води в Куяльницькому лимані протягом розрахункового періоду за різних умов наповнення лиману морською водою показана на рис. 11.10. В південній частині лиману (рис. 11.10а), якщо б лиман не наповнювався морською водою протягом січня-квітня 2015 р., солоність води у жовтні-листопаді перевищила б 400 ‰, тобто була б на 100 ‰ вища за спостережену. Навпаки, у разі подачі морської води в лиман протягом всього року, солоність води в південній частині лиману дорівнювала би наприкінці листопаду лише 150 ‰, тобто була б на 140 ‰ нижча за спостережену. У північній частині основного ложа лиману (рис. 11.10б), при відсутності поповнення лиману морською водою, солоність води підвищується до максимальних значень (450 ‰) наприкінці вересня. Але

потім, в результаті рясних атмосферних опадів та відновлення прісного стоку водотоків у жовтні, знижується та зазнає значних коливань (в діапазоні від 400 до 225 ‰) через надходження вод зі зниженою солоністю з мілководної північної частини лиману.

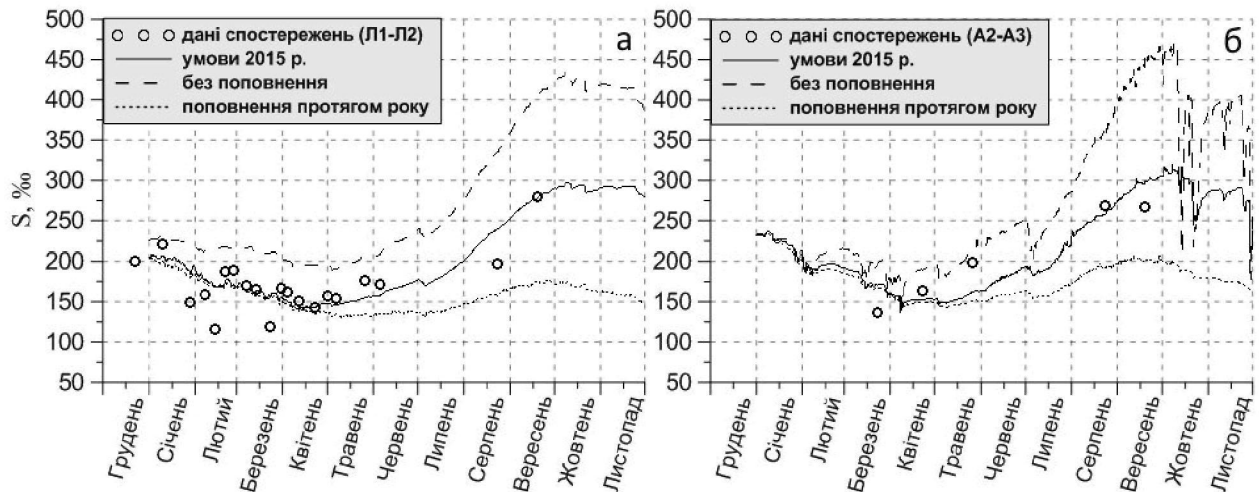


Рисунок 11.10 – Часова мінливість солоності води в Куяльницькому лимані протягом 2015 р. за даними натурних спостережень (точки) та отримана в результаті моделювання (криві) в різних частинах акваторії лиману: а – середні значення між реперними точками Л1 та Л2; б – середні значення між реперними точками А2 та А3

Часова мінливість солоності води в північній мілководній частині лиману біля північної границі водної поверхні Куяльницького лиману, а також мінливість просторового розподілу солоності вод лиману та меж його водного дзеркала у 2015 р., за різних умов наповнення лиману морською водою, показана на рис. 11.11-11.17. Привертає увагу те, що у варіанті з відсутністю поповнення лиману морською водою, коли шар солоних лиманних вод в мілководній північній його частині дуже тонкий або відсутній, надходження прісних вод з атмосферними опадами та стоком водотоків (р. В.Куяльник, р. Довбока) призводить до значного зниження солоності вод в цій частині лиману (рис. 11.11б, 11.14б, 11.15г).

За умови поповнення лиману морською водою протягом січня-квітня, осушення (всихання) в точці Л3 (рис. 11.4) відбувається наприкінці липня (рис. 11.11а), без поповнення – в першій половині червня, а при поповненні протягом всього року – осушення не відбувається, солоність води в цьому районі не досягає 250 ‰ (максимум – у серпні-вересні) і до кінця розрахункового періоду знижується до 160 ‰ (рис. 11.13в).

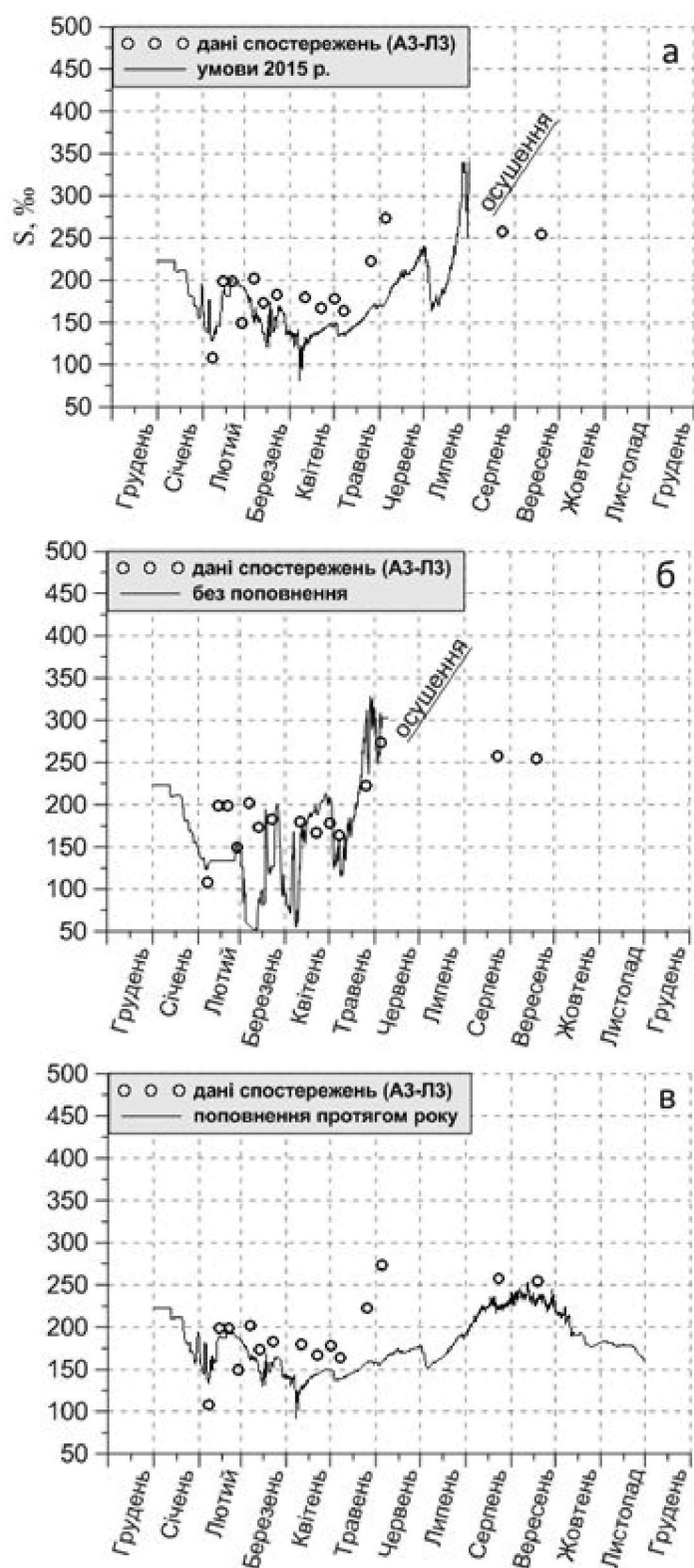


Рисунок 11.11 – Часова мінливість солоності води в Куяльницькому лимані протягом 2015 р. за даними натурних спостережень (точки) та отримана в результаті моделювання (криві) (середні значення між реперними точками ЛЗ та АЗ), при різних умовах поповнення лиману морською водою: а – умови 2015 р., б – без поповнення, в – поповнення протягом всього року

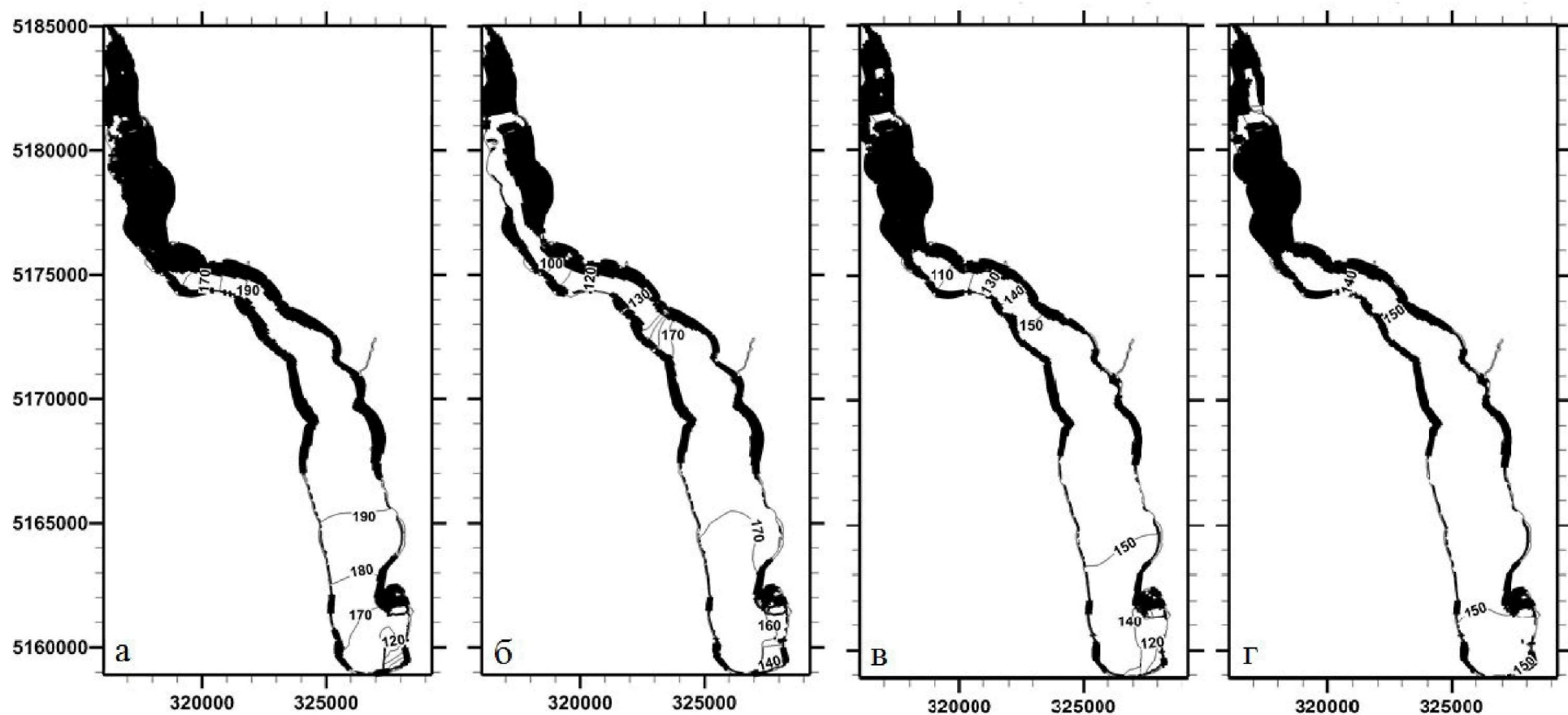


Рисунок 11.12 – Змодельована мінливість просторового розподілу солоності вод , ‰, Куяльницького лиману та меж його водного дзеркала за умов 2015 р. (базовий варіант): а - 15.02.2015 р., б – 15.03.2015 р., в - 15.04.2015 р., г – 15.05.2015 р.

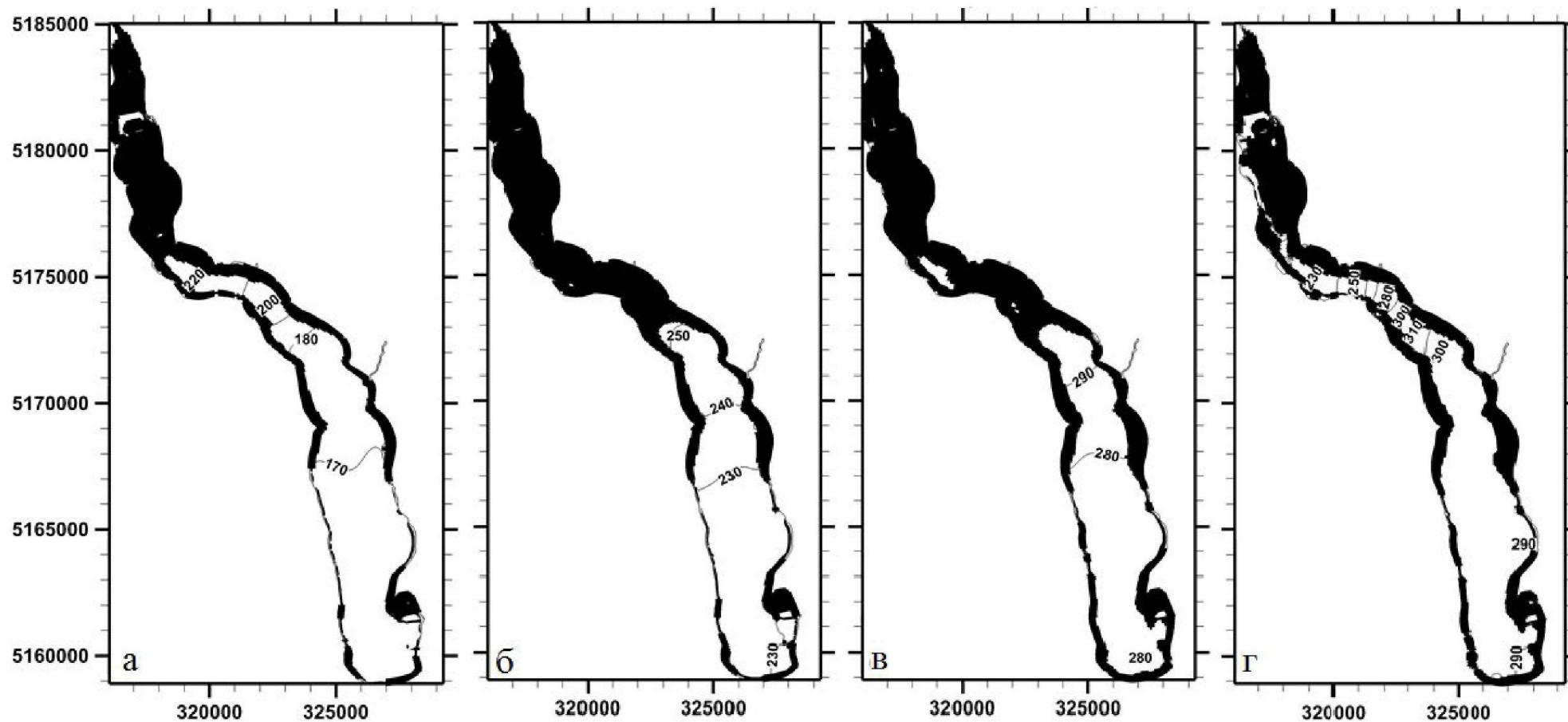


Рисунок 11.13 – Змодельована мінливість просторового розподілу солоності вод , ‰, Куяльницького лиману та меж його водного дзеркала за умов 2015 р. (базовий варіант): а - 15.06.2015 р., б – 15.08.2015 р., в - 15.09.2015 р., г – 14.10.2015 р.

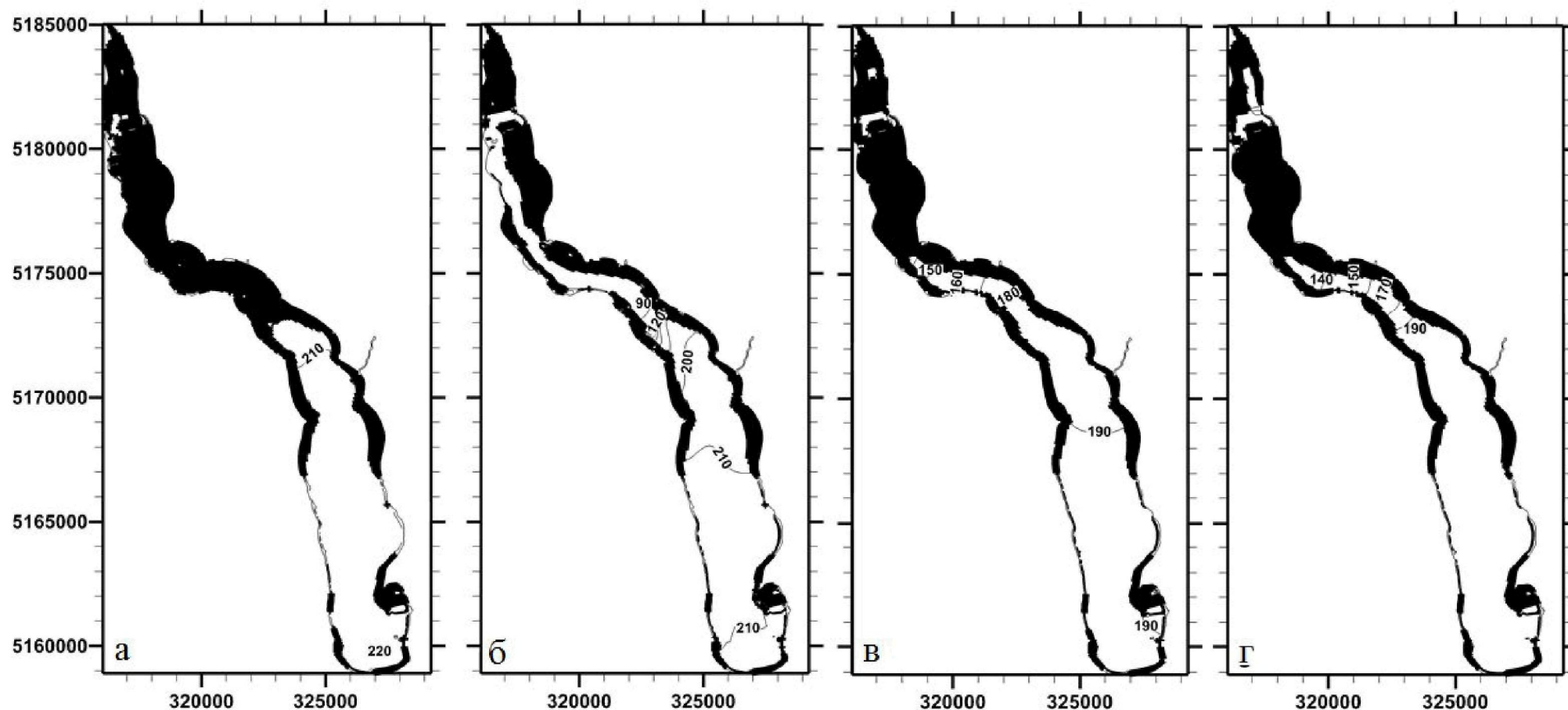


Рисунок 11.14 – Змодельована мінливість просторового розподілу солоності вод , ‰, Куяльницького лиману та меж його водного дзеркала за гідрометеорологічних умов 2015 р. та відсутності поповнення його морською водою: а - 15.02.2015 р., б – 15.03.2015 р., в - 15.04.2015 р., г – 15.05.2015 р.

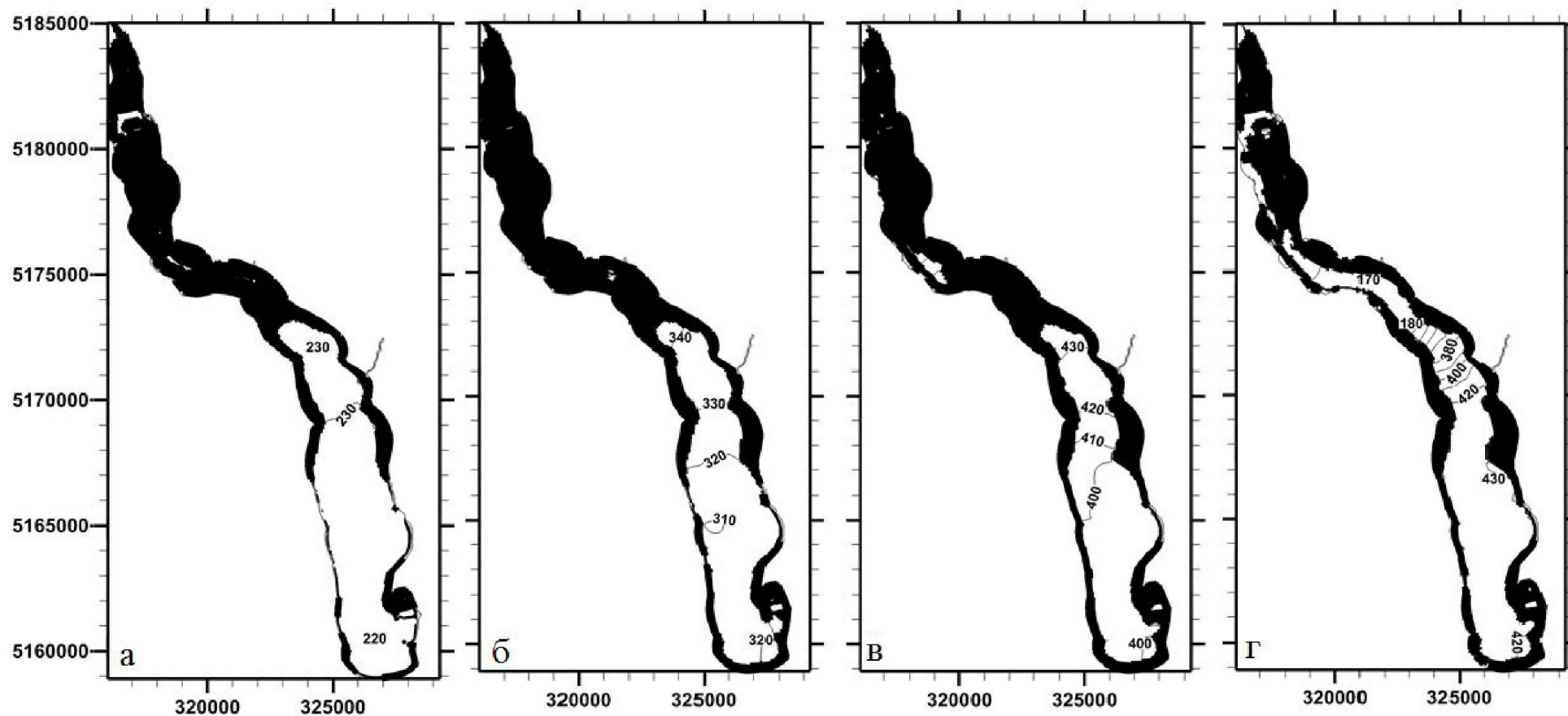


Рисунок 11.15 – Змодельована мінливість просторового розподілу солоності вод , ‰, Куяльницького лиману та меж його водного дзеркала за гідрометеорологічних умов 2015 р. та відсутності поповнення його морською водою: а - 15.06.2015 р., б – 15.08.2015 р., в - 15.09.2015 р., г – 14.10.2015 р.

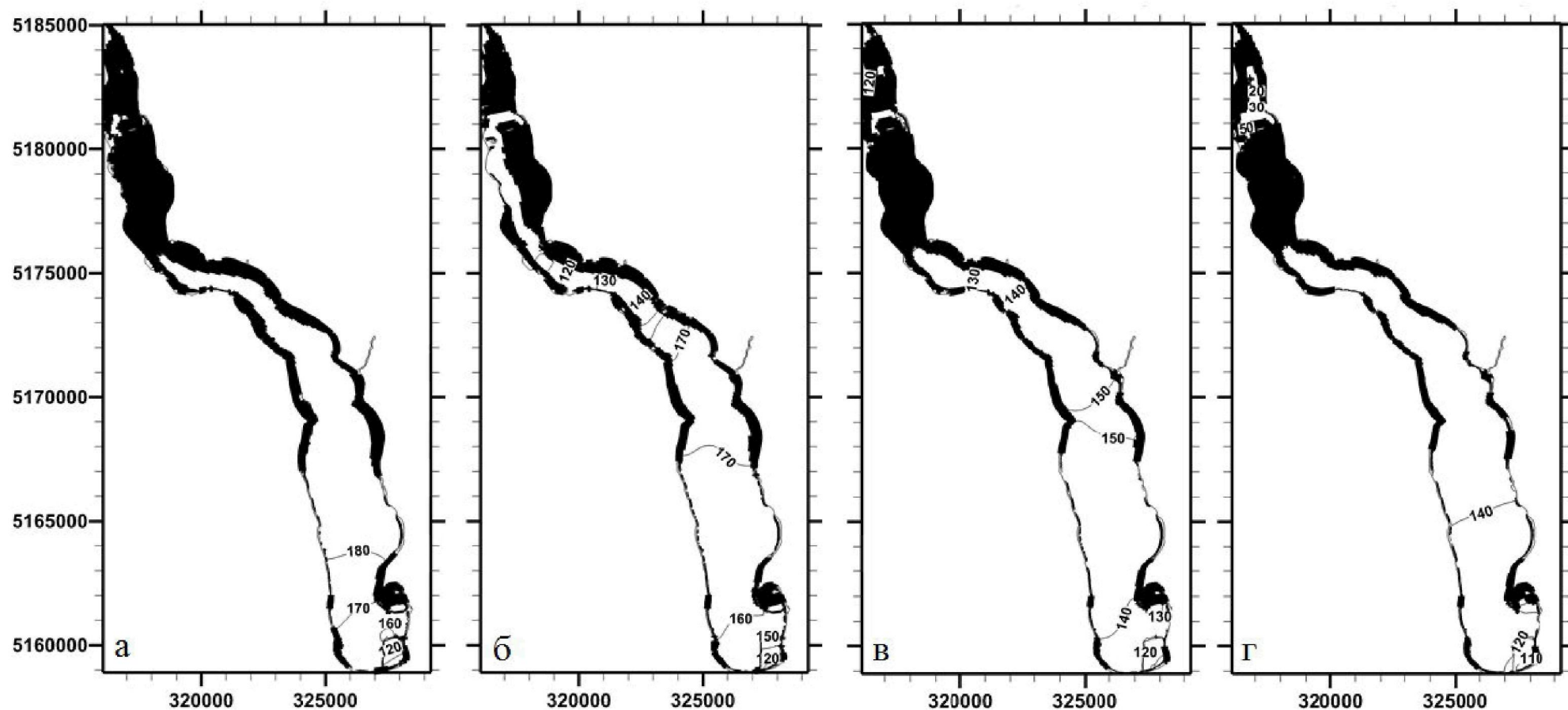


Рисунок 11.16 – Змодельована мінливість просторового розподілу солоності вод , ‰, Куяльницького лиману та меж його водного дзеркала за гідрометеорологічних умов 2015 р. та поповнення його морською водою протягом всього року: а - 15.02.2015 р., б – 15.03.2015 р., в - 15.04.2015 р., г – 15.05.2015 р.

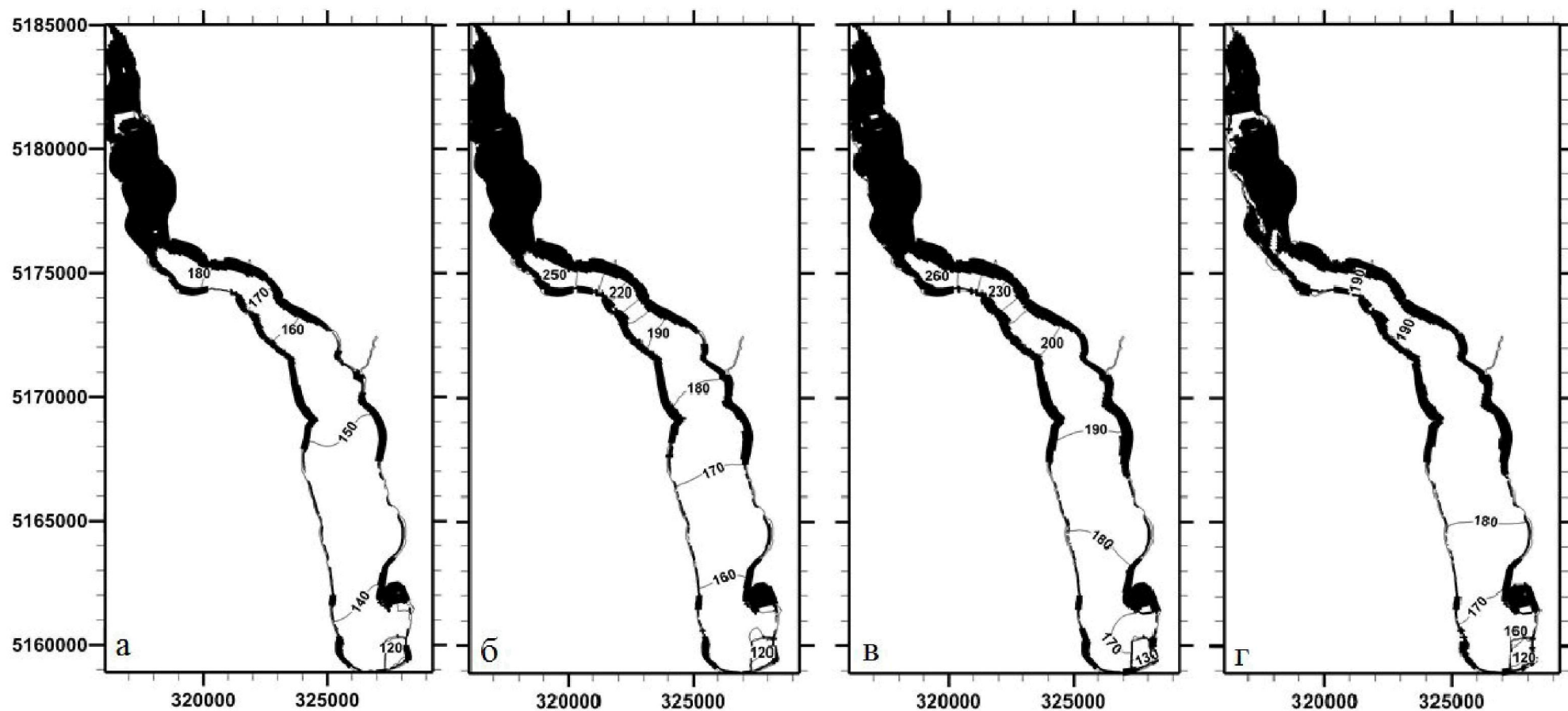


Рисунок 11.17 – Змодельована мінливість просторового розподілу солоності вод , ‰, Куяльницького лиману та меж його водного дзеркала за гідрометеорологічних умов 2015 р. та поповнення його морською водою протягом всього року: а - 15.06.2015 р., б – 15.08.2015 р., в - 15.09.2015 р., г – 14.10.2015 р.

Рівень води в лимані впливає на прогрівання його вод та поточні значення солоності, особливо на мілководних ділянках, які, в свою чергу, визначають інтенсивність випаровування з водної поверхні. Місячні шари випаровування з водної поверхні лиману на різних його ділянках, розраховані при моделюванні за різних умов наповнення його морською водою, наведені на рис. 11.18. Видно, що в південній частині лиману (рис. 11.18а), у квітні-вересні максимальне випаровування відбувається у варіанті без поповнення лиману морською водою, а мінімальне – при поповненні лиману морською водою протягом всього року. В північній частині основного ложа лиману (рис. 11.18б) варіанту поповнення лиману морською водою протягом всього року відповідає найменше випаровування у квітні-липні і найбільше – у серпні-листопаді, за виключенням жовтня.

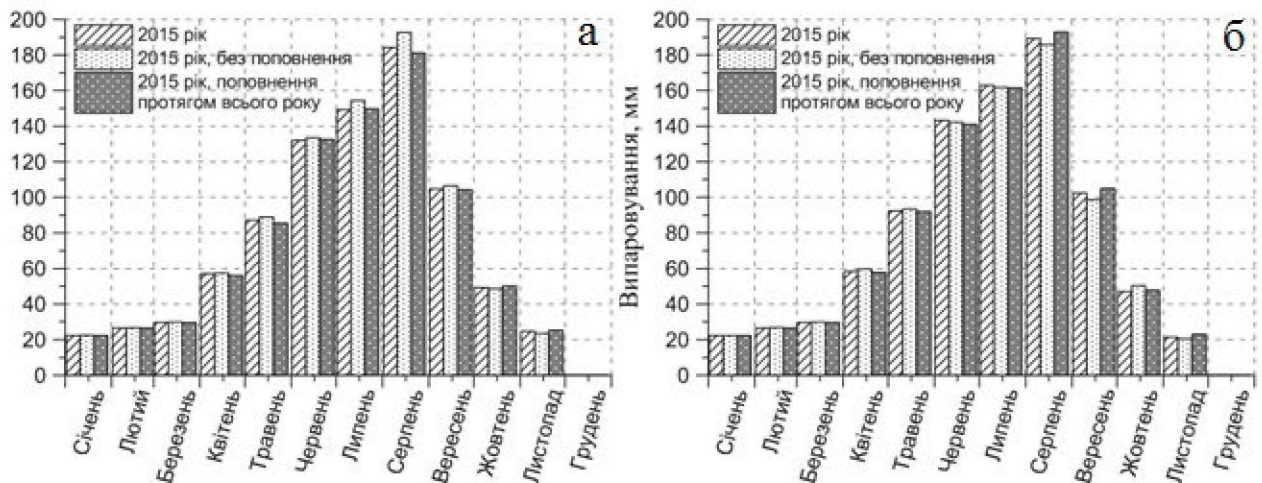


Рисунок 11.18 – Місячні шари випаровування з водної поверхні лиману, розраховані за моделлю: між точками Л1 та Л2 (а) та між точками А2 і А3 (б)

11.3 Аналіз результатів моделювання за різними сценаріями надходження стоку річки В.Куяльник в лиман

Розпочате наприкінці 2014 р. поповнення Куяльницького лиману морською водою за допомогою спеціально прокладеного трубопроводу дозволило запобігти повному висиханню лиману влітку 2015 р. (враховуючи високі температури атмосферного повітря, обумовлене цим інтенсивне випаровування з водної поверхні та надзвичайно малу кількість літніх опадів). Поповнення Куяльницького лиману морською водою в сучасних умовах є вимушеним, але необхідним і виправданим кроком, але в довгостроковій

перспективі це буде призводити до накопичення солей в лимані. Тому наступним кроком, передбаченим Регіональною програмою збереження та відновлення водних ресурсів у басейні Куяльницького лиману на 2012-2018 рр., є відновлення припливу прісних вод з водозбірною басейну лиману, насамперед, стоку річки В.Куяльник. Однак, зважаючи на зменшення стоку річки у ХХІ ст. внаслідок змін клімату, необхідно визначити доцільність запровадження цього заходу відносно можливого впливу на гідрологічний режим Куяльницького лиману.

Оскільки умови формування мінливості характеристик гідроекологічного режиму Куяльницького лиману протягом 2015 р. (обсяги надходження морських вод, стік річок малих водотоків в лиман, добові суми опадів на поверхню лиману) точно визначені за даними спостережень, то безсумнівний інтерес представляє кількісна оцінка змін, які відбулися б за умови попередньої реалізації різних водогосподарських заходів щодо збільшення стоку р. В.Куяльник.

Оцінки середньомісячних витрат природного та побутового стоку р. В.Куяльник в лиман за умов 2015 р., які були отримані із застосуванням моделі «клімат-стік», наведені в табл. 11.2. Зауважимо, що спостережені витрати річки значно менші за розраховані значення її побутового стоку (рис. 11.19), що є наслідком впливу різних перешкод для стоку у руслі річки, зокрема, заростання її русла рослинністю, розораність русла на окремих ділянках, наявність штучної дамби, створеної протиправно.

Таблиця 11.2 – Розраховані за моделлю «клімат-стік» середньомісячні витрати природного та побутового стоку р. В. Куяльник за умов 2015 р.

№ з/п	Місяць року	Витрати води Q, м ³ /с	
		Природний стік	Побутовий стік
1.	Січень	0.102	0,0131
2.	Лютий	0.247	0,0318
3.	Березень	0.742	0,0955
4.	Квітень	1.88	0,242
5.	Травень	0.247	0,0318
6.	Червень	0.24	0,0309
7.	Липень	0.113	0,0145
8.	Серпень	0	0
9.	Вересень	0	0
10.	Жовтень	0	0
11.	Листопад	0	0
12.	Грудень	0.069	0,0131
	Середні за рік:	0.303	0,039

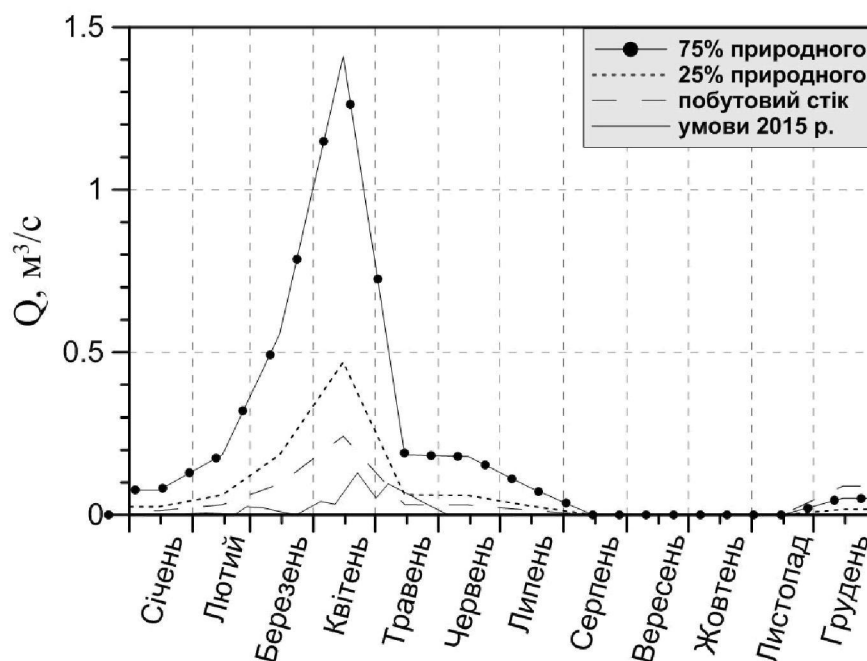


Рисунок 11.19 – Середньомісячні витрати р.В.Куяльник у 2015 р., які задавались при моделюванні

Для оцінки змін показників гідроекологічного режиму Куяльницького лиману на підставі результатів гідротермодинамічного моделювання, розглядались наступні сценарії надходження стоку р. В.Куяльник в лиман:

- спостережені у 2015 р. середньомісячні витрати річки;
- розраховані за моделлю «клімат-стік» середньомісячні витрати побутового стоку;
- середньомісячні витрати, які відповідають 25% природного стоку, розрахованого за моделлю «клімат-стік»;
- середньомісячні витрати, які відповідають 75% природного стоку, розрахованого за моделлю «клімат-стік».

Річна мінливість середньомісячних витрат стоку р. Великий Куяльник, використана при моделюванні вказаних сценаріїв, наведена на рис. 11.19. При визначенні можливих обсягів збільшення надходження до лиману стоку р. В.Куяльник приймалось, що впровадження водного менеджменту на водозборі не дозволить на 100% відновити природний стік річки.

Результати моделювання аналізувались в 4-х обраних контрольних точках на акваторії Куяльницького лиману (рис. 11.20).

На рис. 11.21-11.22 наведені результати моделювання мінливості відміток рівня води в лимані протягом 2015 р. за різними сценаріями збільшення стоку річки В.Куяльник. Видно, що лише при надходженні до лиману 75% від обсягів природного стоку річки призводить до суттєвого підвищення рівня води в ньому. Це підвищення на 0,08-0,1 м формується протягом квітня-травня і зберігається до кінця розрахункового періоду.

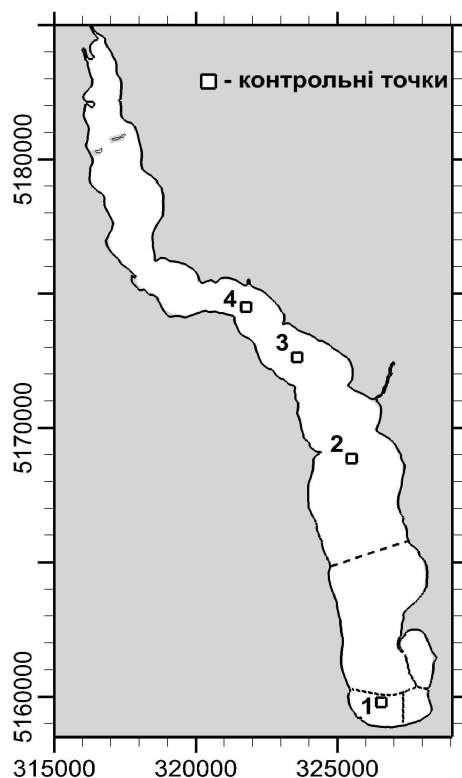


Рисунок 11.20 – Схема розташування контрольних точок для аналізу результатів моделювання на акваторії Куяльницького лиману

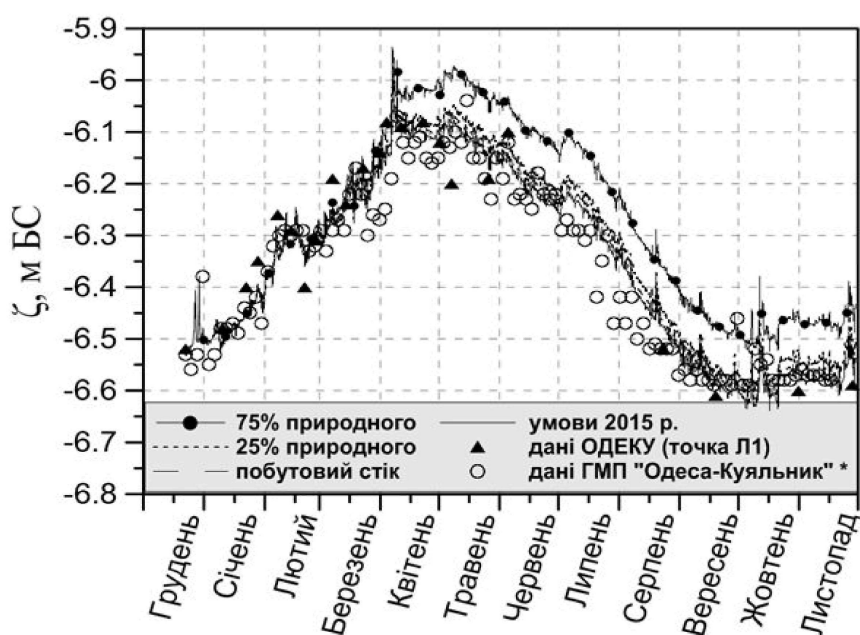


Рисунок 11.21 – Внутрішньорічна мінливість відміток рівня води, м БС, у Куяльницькому лимані за даними натурних спостережень (точки) та отримана в результаті моделювання за різними сценаріями стоку р. В. Куяльник у 2015 р. – контрольна точка №1

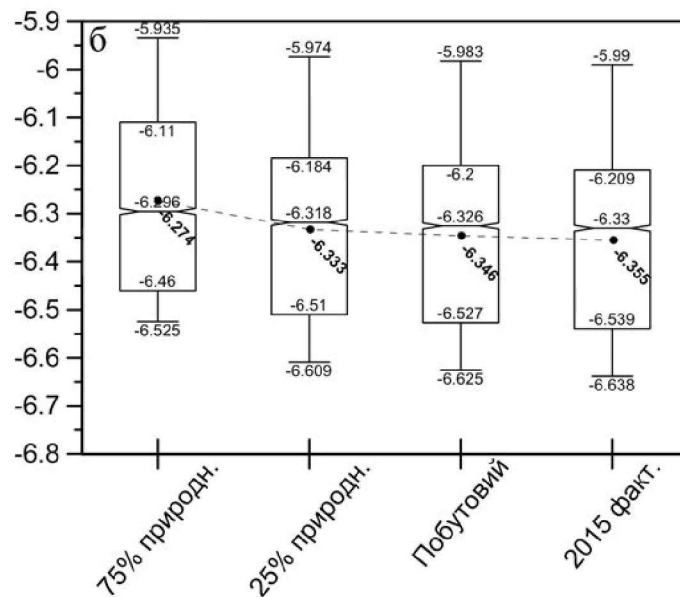


Рисунок 11.22 – Характеристики річної мінливості відмітки рівня води в лимані, м БС, за різними сценаріями стоку р. В. Куяльник у 2015 р. Приведені значення 0,25 та 0,75-квантилей; медіанні (риски) та середні (точки) значення; мінімальні (нижні вуса) та максимальні (верхні вуса) значення

Забезпечення надходження в лиман 75% від природного стоку річки В.Куяльник призведе до відповідного зменшення середньорічних значень солоності води: на 21% – в південній частині (точка 1) і 24-28 % – в центральній і північній частинах, порівняно з базовим (фактичним) сценарієм для 2015 р. (рис. 11.23-11.24). У разі забезпечення надходження в лиман лише 25% природного стоку, середньорічні значення солоності води зменшилися би лише на 7-9% – на основній глибокій частині акваторії лиману (точки 1-3) і на 2,4 % – на мілководній ділянці північної частини (точка 4).

Збільшення надходження стоку р.В.Куяльник в лиман слабо впливає на його термічний режим (рис. 11.25). Помітним є лише деяке зменшення максимальних значень температури води при забезпеченні надходження в лиман 75% обсягів природного стоку річки, внаслідок збільшення товщини водного шару. В той же час слід відзначити, що вода в північній частині лиману прогрівається більше, ніж в південній, через меншу товщину водного шару, що впливає на інтенсивність випаровування з водної поверхні. Тому зміни товщини водного шару в цій частині лиману найбільш сильно впливають на інтенсивність випаровування з її водної поверхні.

На рис. 11.26 наведені місячні шари випаровування в різних точках акваторії з поверхні лиману протягом 2015 р., отримані в результаті моделювання за різними сценаріями стоку р.В.Куяльник. Видно, що збільшення надходження до лиману прісного стоку сприяє зменшенню

інтенсивності випаровування в північній частині лиману протягом квітня-липня і, навпаки, збільшенню випаровування у серпні-жовтні.

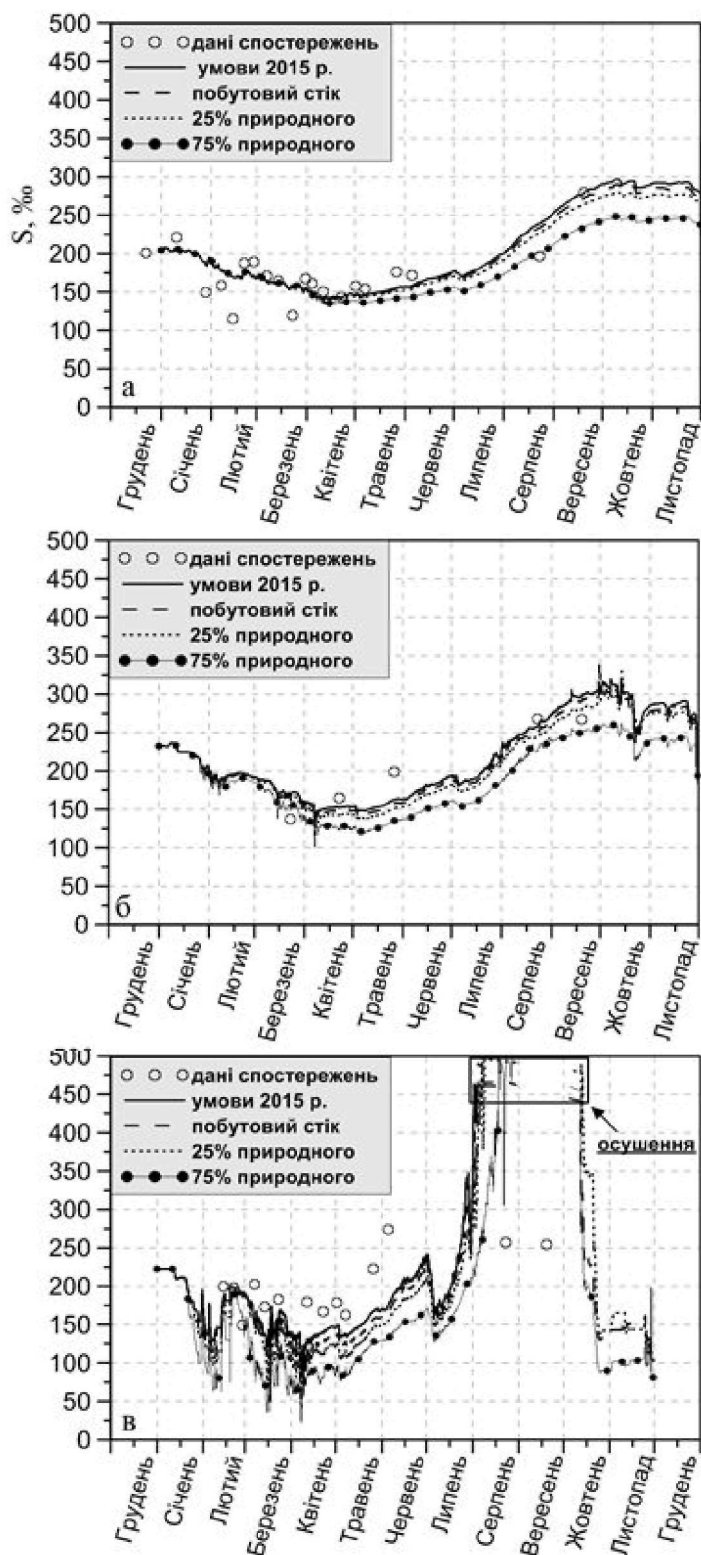


Рисунок 11.23 – Часова мінливість солоності води в Куяльницькому лимані протягом 2015 р. за даними натурних спостережень (точки) та отримана в результаті моделювання за різними сценаріями стоку р. В. Куяльник у 2015 р.: а – контрольна точка №1; б – контрольна точка №3; в – контрольна точка №4

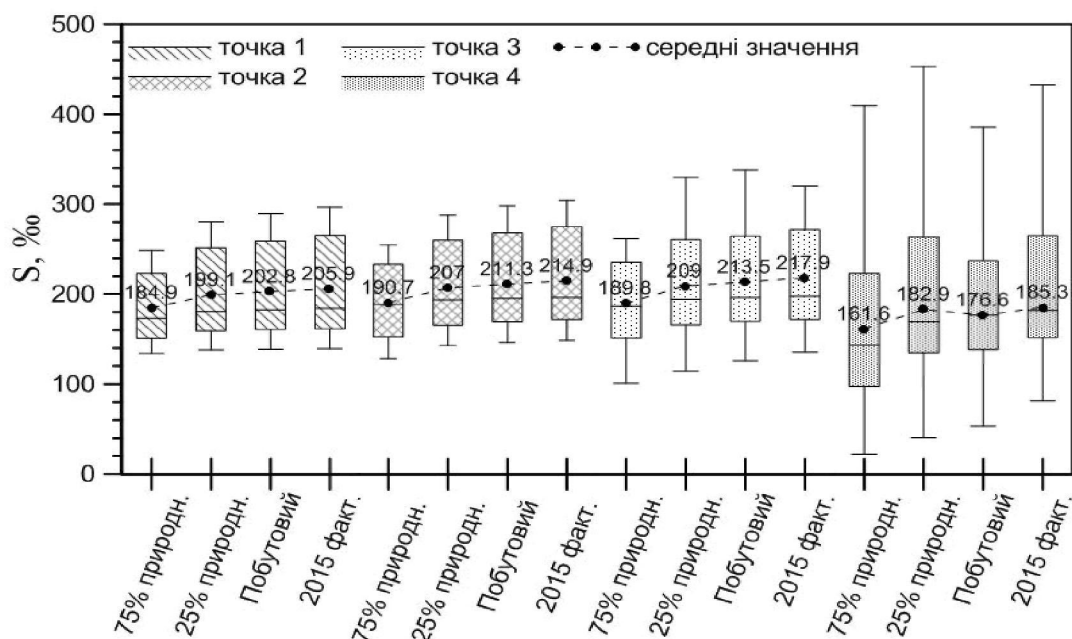


Рисунок 11.24 – Характеристики просторово-часової мінливості солоності вод лиману, ‰, отримані в результаті моделювання за різними варіантами стоку р. В. Куяльник у 2015 р. Приведені значення 0,25 та 0,75-квантилей; медіанні та середні (точки) значення; мінімальні (нижні вуса) та максимальні (верхні вуса) значення

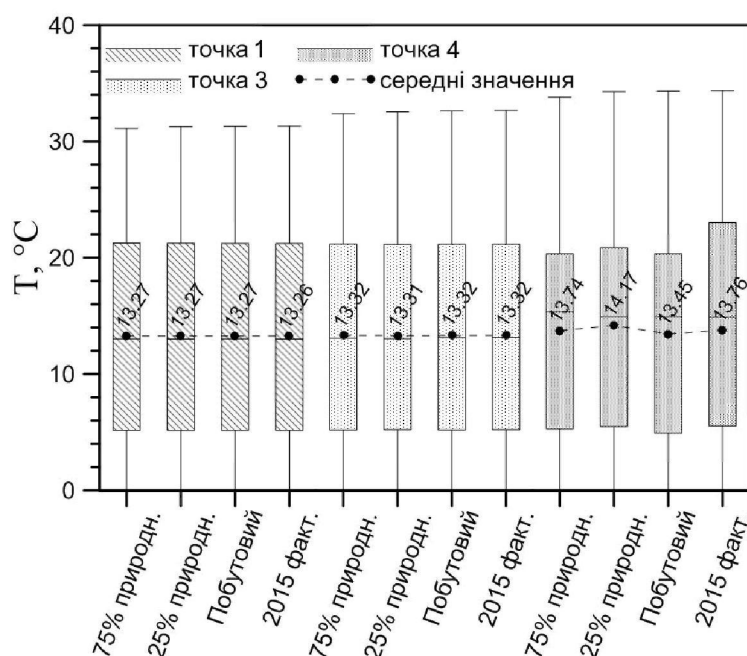


Рисунок 11.25 – Характеристики просторово-часової мінливості температури поверхневого шару вод, °C, отримані в результаті моделювання при різних варіантах стоку р. В. Куяльник у 2015 р.

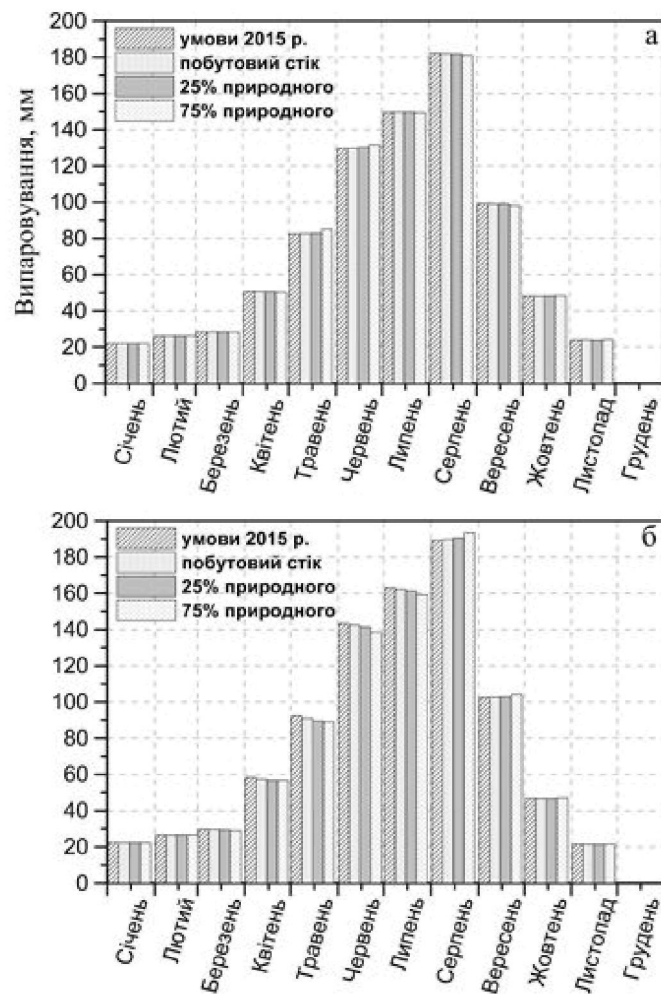


Рисунок 11.26 – Місячні шари випаровування з поверхні лиману протягом 2015 р., отримані в результаті моделювання за різними сценаріями стоку р. В. Куяльник у 2015 р.: а – контрольна точка №1; б – №3

11.4 Моделювання мінливості гідрологічних характеристик Куяльницького лиману для різних за водністю типових років сучасного кліматичного періоду

В даному розділі представлені результати моделювання внутрішньорічної мінливості гідрологічних характеристик лиману, отримані для різних за водністю типових років сучасного кліматичного періоду XXI ст. (1990-2030 рр.), визначених за найбільш виправданим для регіону Куяльницького лиману кліматичним сценарієм з бази даних ENSEMBLES, який відповідає глобальному сценарію A1B розрахованому за моделлю MPI-REMO (M10) Інститута метеорології ім. Макса Планка (Гамбург, Німеччина).

Як типові за гідрометеорологічними умовами були обрані: 2018 р. – маловодний; 2025 – середньоводний, 2021 – багатоводний рік. Ряди середньодобових значень температури, відносної вологості повітря, швидкості та напрямку вітру, балу загальної хмарності та атмосферних опадів, отримані з бази даних ENSEMBLES (сценарій A1B моделі MPI-REMO) для кожного з обраних типових років, використовувались для завдання граничних умов на верхній (з атмосферою) границі розрахункової області моделі.

Моделювання виконувалось за наступних умов: надходження до лиману морських вод та стік малих водотоків в лиман протягом року вважалися відсутніми; стік річки Великий Куяльник дорівнював 25% та 75% від щомісячних витрат при природному стоці (табл. 11.3), який був розрахований за стохастичною моделлю «клімат-стік».

Наведені на рис. 11.27-11.28 результати моделювання внутрішньорічної мінливості відміток рівня води в лимані в різні за водністю роки сучасного кліматичного періоду свідчать, що при забезпеченні надходження в лиман 25% обсягів розрахованого для них природного стоку р.В.Куяльник стабілізація рівня відбуватиметься лише за умов багатоводного року, у маловодний рік відмітка рівня води в лимані буде на 0,4 м нижча за початкову, а в середній за водністю рік – нижча на 0,25 м. У разі забезпечення надходження в лиман 75% обсягів розрахованого для років різної водності природного стоку р.В.Куяльник, у маловодний рік відмітка рівня води в лимані також буде на 0,4 м нижча за початкову, в середній за водністю рік – нижча на 0,15 м, а у багатоводний рік, навпаки підвищиться на 0,3 м порівняно з початковою.

Результати розрахунків внутрішньорічної мінливості солоності води в Куяльницькому лимані в різні за водністю роки сучасного кліматичного періоду наведені на рис. 11.29-11.34. В цілому, вони свідчать про те, що збільшення стоку р.В.Куяльник навіть до 75% від обсягів природного стоку здатне забезпечити стабілізацію річного циклу мінливості солоності води в лимані лише в багатоводні роки. У всіх інших розглянутих випадках солоність води в лимані наприкінці року буде значно більшою ніж початкова. Виникне міжрічна тенденція значного підвищення солоності вод лиману. У маловодні роки, коли навіть природний стік р.В.Куяльник майже відсутній, у вересні відбудеться розділення основного ложа лиману на дві відокремлені водойми (рис 11.33.1б).

Характеристики річної мінливості температури води в різних точках на акваторії Куяльницького лиману наведені на рис. 11.35-11.36. Звертає на себе увагу те, що в багатоводні роки температура води завжди нижча, ніж в середньоводні та маловодні. Води мілководної північної ділянки лиману (точка 4 на рис. 11.20) завжди прогрівються більше, ніж на більш глибоких ділянках

лиману. Збільшення стоку р.В.Куяльник впливає на температурний режим лиману, хоча і незначно.

Отримані результати моделювання мінливості рівня і солоності води в Куяльницькому лимані для різних за водністю типових років сучасного кліматичного періоду свідчать про те, що збільшення природного стоку р.В.Куяльник не здатне самотійно забезпечити стабілізацію гідроекологічного режиму лиману без періодичного поповнення його морською водою Одеської затоки та здійснення заходів щодо стабілізації та збільшення надходження вод від інших водотоків, які впадають в лиман: малих річок Довбока, Кубанка, балок Гільдендорфська та Корсунцівська.

Таблиця 11.3 – Середньомісячні витрати річки В. Куяльник при забезпеченні надходження до Куяльницького лиману 25% та 75% від обсягів її природного стоку, розрахованого за моделлю «клімат-стік» для різних за водністю типових років сучасного кліматичного періоду

№ з/п	Місяць року	Витрати води Q , м ³ /с, у відсотках розрахованого природного стоку в роки різної водності					
		Маловодний		Середньоводний		Багатоводний	
		75%	25%	75%	25%	75%	25%
1.	Січень	0	0	0.119	0.040	0.371	0.124
2.	Лютий	0.001	0	0.289	0.096	0.626	0.209
3.	Березень	0.002	0.001	0.866	0.289	2.834	0.945
4.	Квітень	0.004	0.002	2.191	0.730	6.281	2.094
5.	Травень	0.002	0.001	0.289	0.096	0.676	0.226
6.	Червень	0.001	0	0.280	0.094	0.626	0.208
7.	Липень	0	0	0.131	0.044	0.511	0.170
8.	Серпень	0	0	0	0	0.371	0.124
9.	Вересень	0	0	0	0	0	0
10.	Жовтень	0	0	0	0	0	0
11.	Листопад	0	0	0	0	0.013	0.004
12.	Грудень	0	0	0.081	0.027	0.460	0.153
	За рік:	0.001	0	0.354	0.118	1.064	0.354

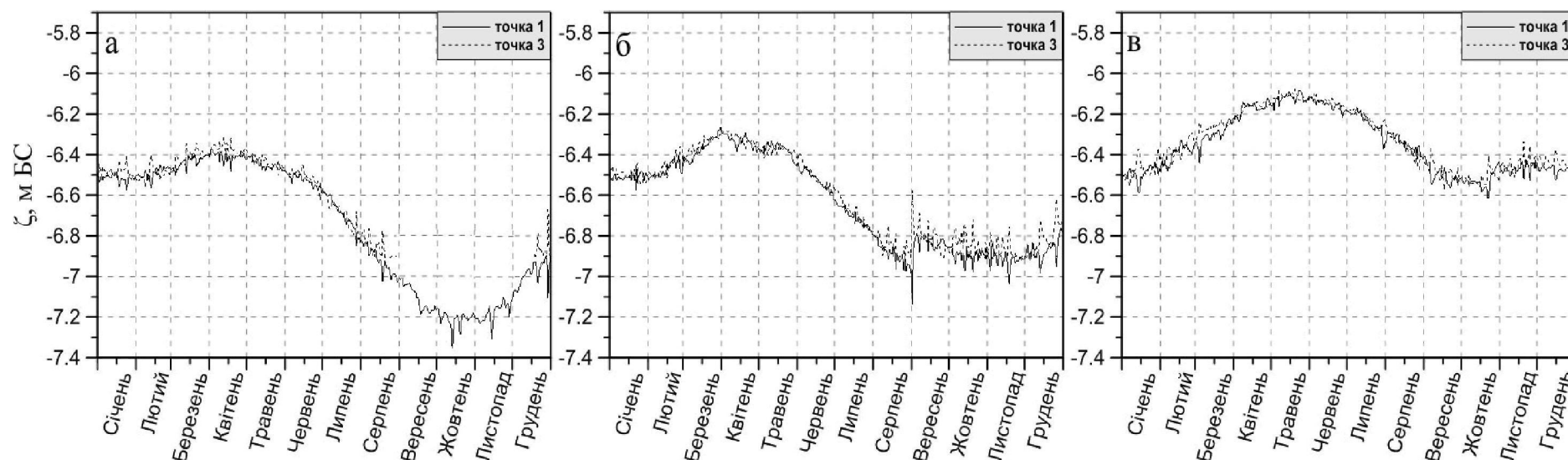


Рисунок 11.27 – Змодельована внутрішньорічна мінливість відмітки рівня води, м БС, у Куяльницькому лимані в контрольних точках 1 та 3 для маловодного (2018) (а), середнього за водністю (2025) (б) та багатоводного (2021) (в) типового року сучасного кліматичного періоду XXI ст. (1990-2030 рр.) за умови надходження до лиману 25% від обсягів природного річкового стоку

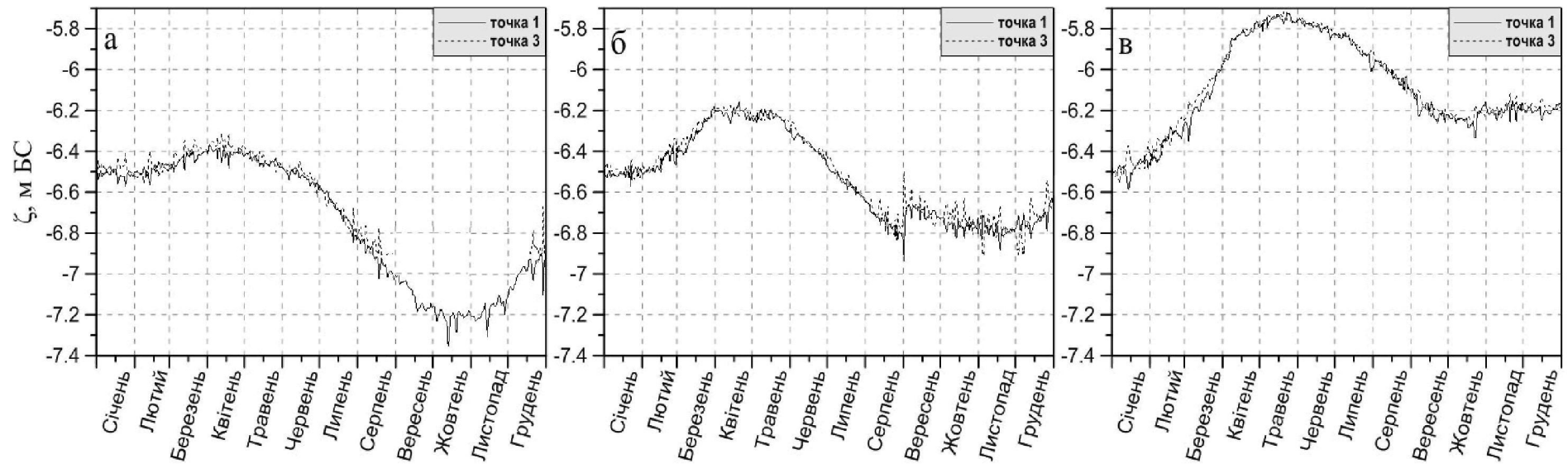


Рисунок 11.28 – Змодельована внутрішньорічна мінливість відмітки рівня води, м БС, у Куяльницькому лимані в контрольних точках 1 та 3 для маловодного (2018) (а), середнього за водністю (2025) (б) та багатоводного (2021) (в) типового року сучасного кліматичного періоду ХХІ ст. (1990-2030 рр.) за умови надходження до лиману 75% від обсягів природного річкового стоку

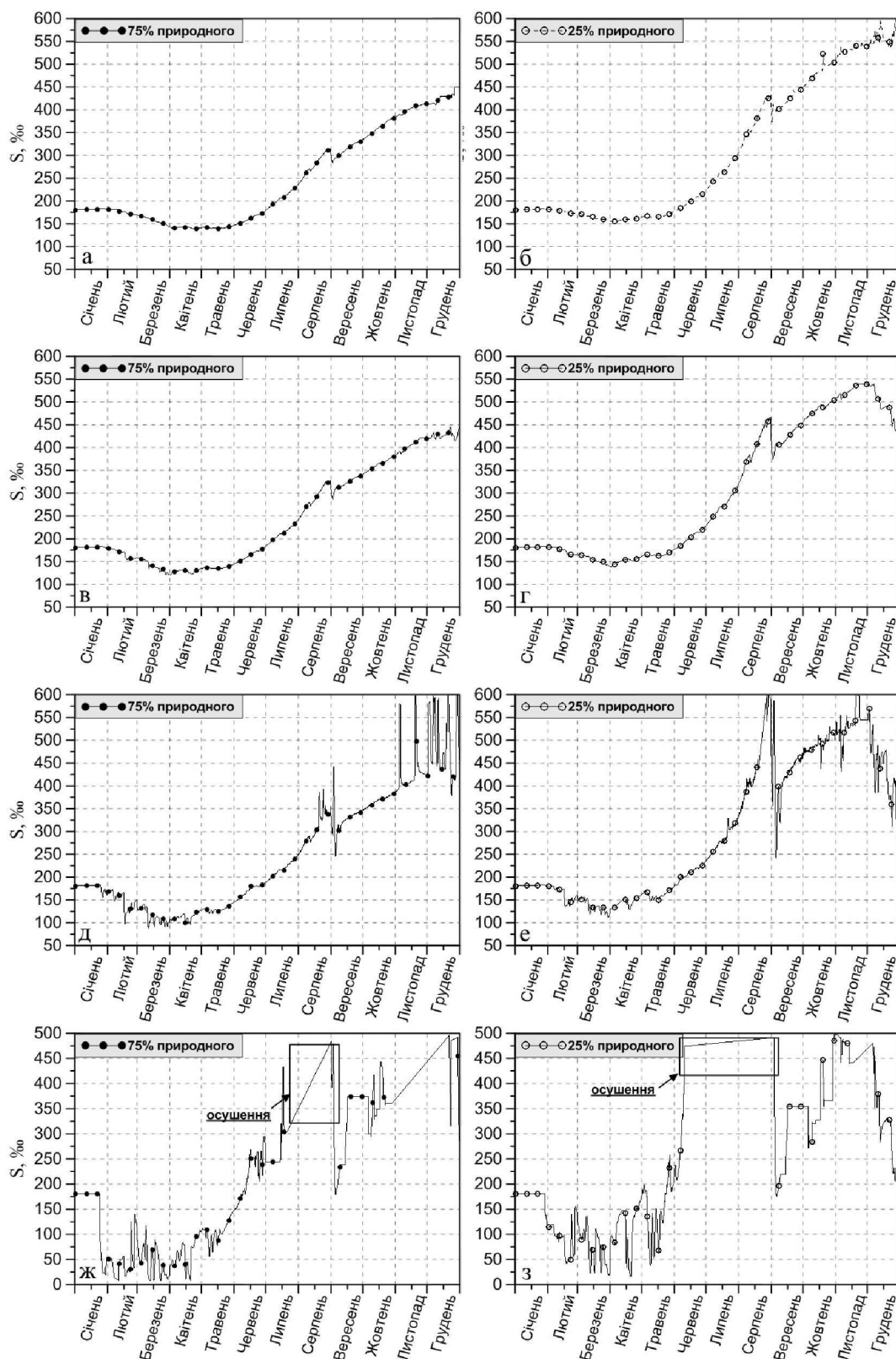


Рисунок 11.29 – Отримана в результаті моделювання часова мінливість солоності поверхневого шару вод Куяльницького лиману протягом середнього за водністю 2025 року (75% та 25% природного стоку): а, б– контрольна точка №1; в, г– контрольна точка №2; д, е – контрольна точка №3; ж, з – контрольна точка №4.

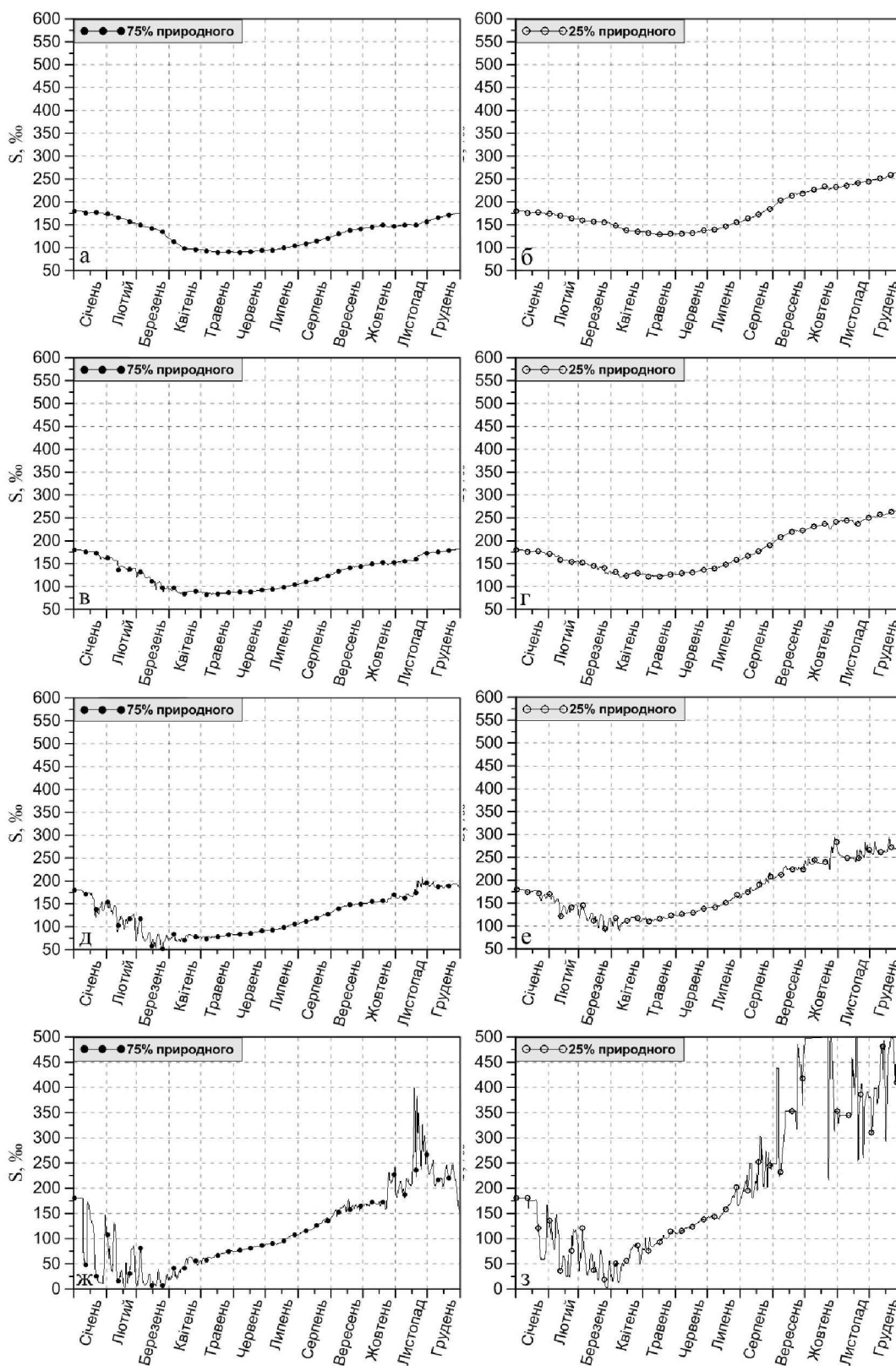


Рисунок 11.30 – Отримана в результаті моделювання часова мінливість солоності поверхневого шару вод Куяльницького лиману протягом багатоводного 2021 року (75% та 25% природного стоку): а, б– контрольна точка №1; в, г – контрольна точка №2; д, е – контрольна точка №3; ж, з – контрольна точка №4.

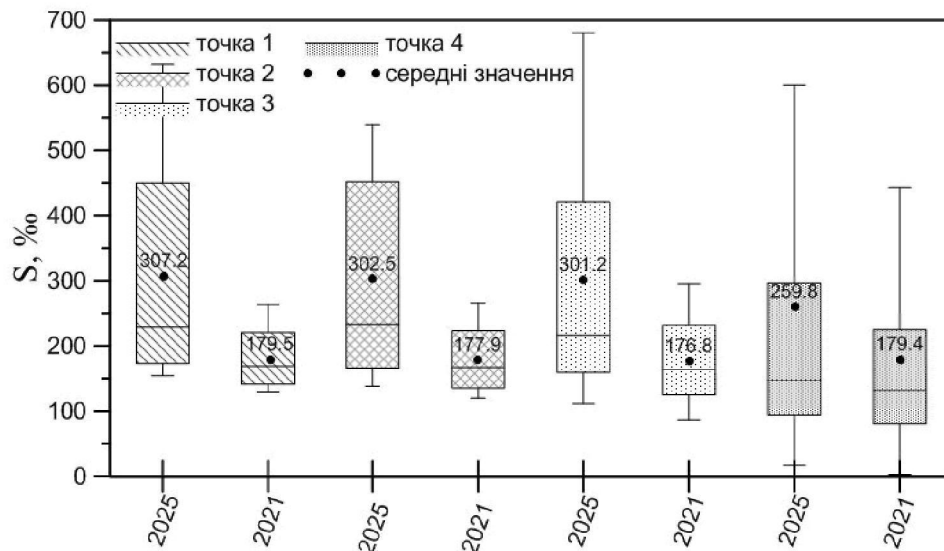


Рисунок 11.31 – Характеристики мінливості солоності вод, ‰, в різних контрольних точках на акваторії Куяльницького лиману для середнього за водністю (2025) та багатоводного (2021) типового року сучасного кліматичного періоду XXI ст. за умови надходження до нього 25% обсягів розрахованого природного стоку р.В.Куяльник. Приведені значення 0,25 та 0,75-квантилей; медіанні (риски) та середні (точки) значення; мінімальні (нижні вуса) та максимальні (верхні вуса) значення

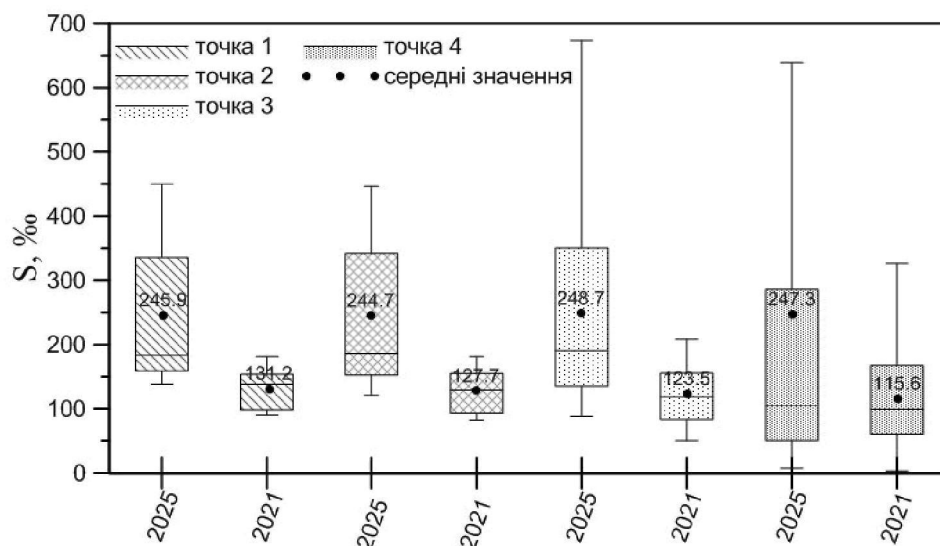


Рисунок 11.32 – Характеристики мінливості солоності вод, ‰, в різних контрольних точках на акваторії Куяльницького лиману для середнього за водністю (2025) та багатоводного (2021) типового року сучасного кліматичного періоду XXI ст. за умови надходження до нього 75% обсягів розрахованого природного стоку р.В.Куяльник.

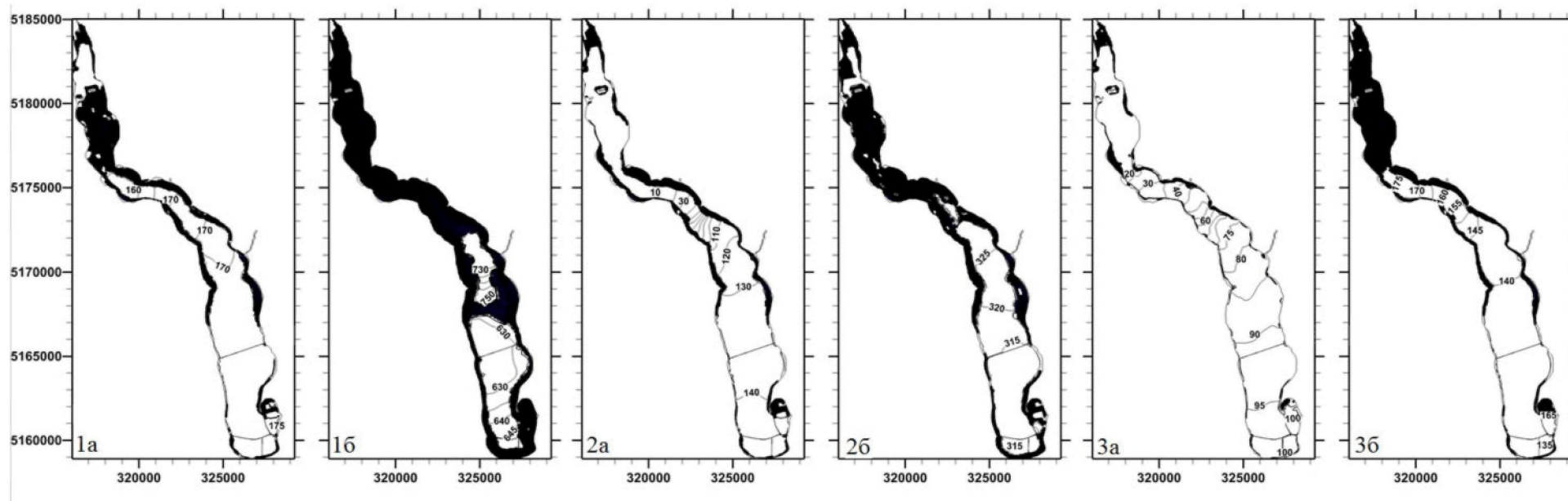


Рисунок 11.33 – Змодельована мінливість просторового розподілу солоності вод , ‰, Куяльницького лиману та меж його водного дзеркала за умов надходження до лиману 75% обсягів розрахованого природного стоку річки Великий Куяльник у різні за водністю типові роки сучасного кліматичного періоду XXI ст.: 1 – маловодний 2018 р.; 2 – середній за водністю 2025 р.; 3 – багатоводний 2021 р.; а) 15 квітня; б) 15 вересня

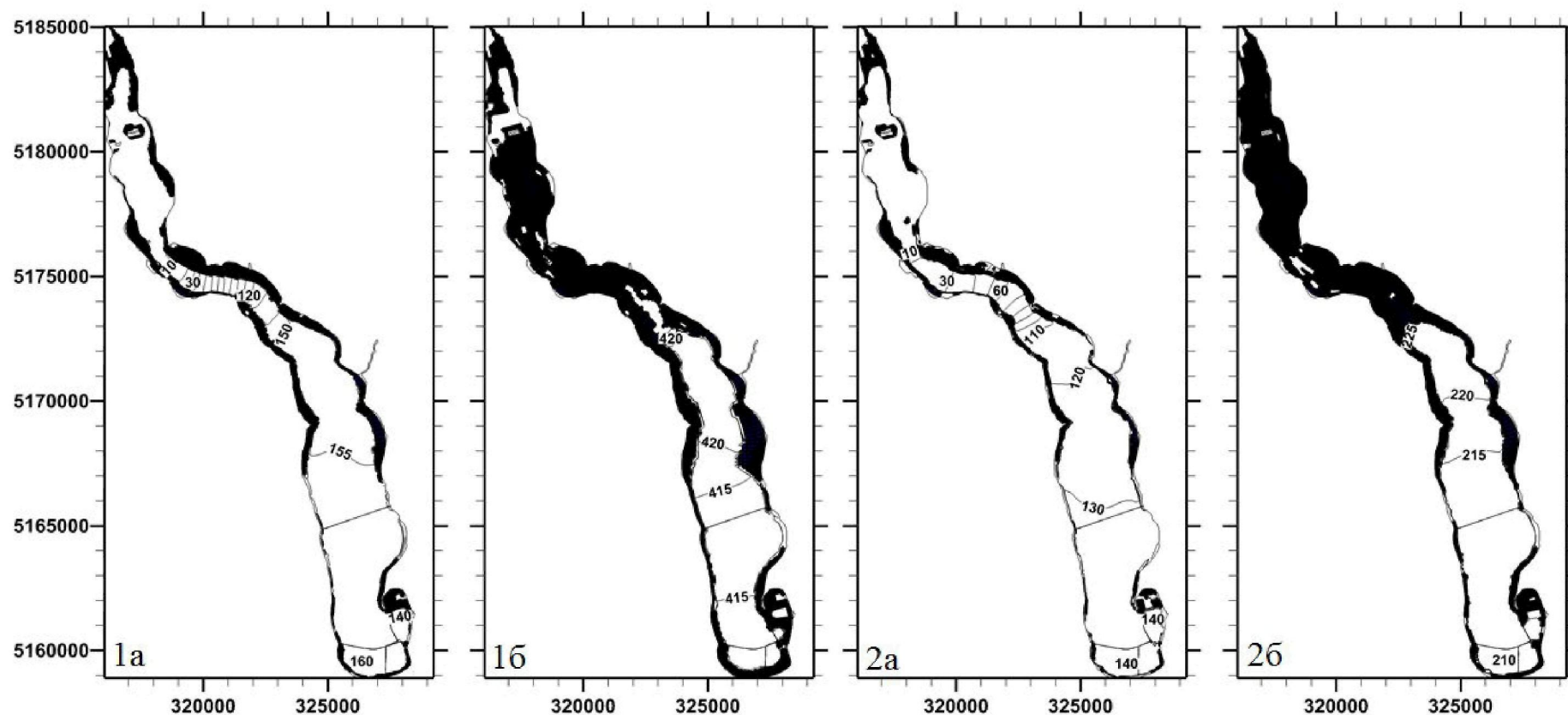


Рисунок 11.34 – Змодельована мінливість просторового розподілу солоності вод, ‰, Куяльницького лиману та меж його водного дзеркала за умов надходження до лиману 25% обсягів розрахованого природного стоку річки Великий Куяльник у різні за водністю типові роки сучасного кліматичного періоду XXI ст.: 1 – середній за водністю 2025 р.; 2 – багатоводний 2021 р.; а) 15 квітня; б) 15 вересня

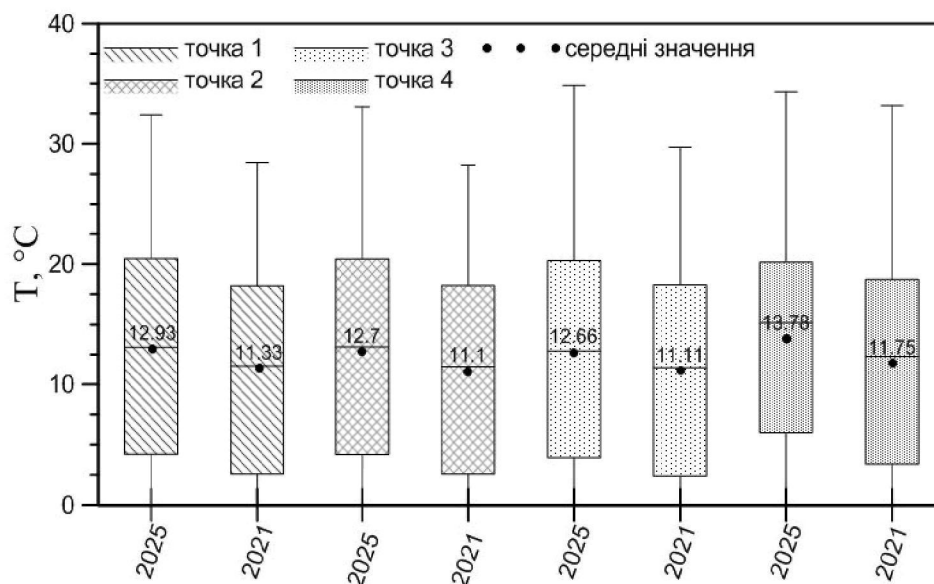


Рисунок 11.35 – Характеристики мінливості температури поверхневого шару вод, °C, в різних контрольних точках на акваторії Куяльницького лиману для середнього за водністю (2025) та багатоводного (2021) типового року сучасного кліматичного періоду XXI ст. за умови надходження до нього 25% обсягів розрахованого природного стоку р.В.Куяльник

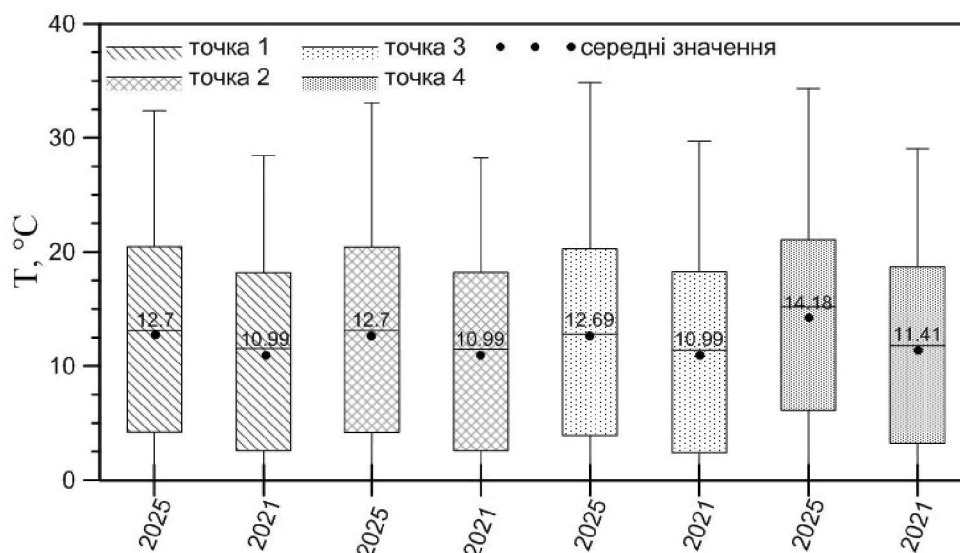


Рисунок 11.36 – Характеристики мінливості температури поверхневого шару вод, °C, в різних контрольних точках на акваторії Куяльницького лиману для середнього за водністю (2025) та багатоводного (2021) типового року сучасного кліматичного періоду XXI ст. за умови надходження до нього 75% обсягів розрахованого природного стоку р.В.Куяльник

12 РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПЛАНУ УПРАВЛІННЯ ВОДНИМ РЕЖИМОМ ТА ЙОГО ГІДРОЕКОЛОГІЧНИМ СТАНОМ

12.1 Економіко-екологічні підходи до розробки інтегрованого управління водними ресурсами в басейні Куяльницького лиману

Побудова схеми інтегрованого управління водними ресурсами якої-небудь території ґрунтується на ряді ключових принципах, які визначають їх суть [241, 242].

По-перше, необхідний аналіз діючої нормативно-правової бази, який може стати основою подальшого розвитку досліджуваної території. Необхідно відзначити, що окрім базисних законів держави, таких як Земельний і Водний кодекси України, Закони України «Про курорти», «Про охорону навколишнього природного середовища» та ін., в різні періоди були прийняті та діють сьогодні спеціальні нормативні акти, які приурочені до використання й охорони курортно-оздоровчих і рекреаційних територій Одеської області. До таких нормативно-правових документів можна віднести: Постанову Ради Міністрів Української РСР «Про межі округу і зон санітарної охорони курорту Куяльник в Одеській області» № 102 від 7 березня 1985 року, Постанову Кабінету Міністрів України «Про заходи щодо поліпшення роботи по використанню і охороні територій курортно-оздоровчого і рекреаційного призначення в Одеській області» № 1900 від 10 грудня 2003 року, Регіональну програму збереження і відновлення водних ресурсів в басейні Куяльницького лиману на 2012-2016 роки, затверджену рішенням Одеської обласної ради від 28 жовтня 2011 року № 270-VI й ін. [243].

З урахуванням особливостей території, яка досліджується, специфіки розвитку її соціально-господарського комплексу, рекреаційного значення водного об'єкта, одним з основних сценаріїв комплексного розвитку водного басейну Куяльницького лиману повинна бути:

- розробка регіональної стратегії забезпечення збереження і сталого розвитку екосистеми території;

- вдосконалення системи управління територією басейну Куяльницького лиману, яка повинна бути віднесена до територій обмеженого статусу використання на національному рівні;

- удосконалення і посилення законодавчо-нормативної і регуляторної бази, реалізація всього комплексу заходів, передбачених чинними нормативно-правовими актами;

-максимальне залучення національних і міжнародних інвестиційних проектів в забезпечення процесу збереження і відновлення територіальних комплексів природно-рекреаційного і заповідного фонду в басейні Куяльницького лиману.

В цілому система інтегрованого управління водними ресурсами Куяльницького лиману, на наш погляд, має спиратися на такі вимоги.

1. Інтегроване управління повинне здійснюватися за «басейновим принципом», в межах гідрографічних меж відповідно до морфології басейну, тобто оцінка водно-ресурсного потенціалу проводиться для всієї водозбірної площі в 2250 км² без виділення в окремі зони (райони, водойми) яких-небудь складових території незалежно від їх географічного розташування в межах басейну, ландшафту, особливостей сучасного господарського освоєння, наявності гідротехнічних споруд та ін. [5, 244-246].

Басейновий принцип управління водним об'єктом і пов'язаними з ним водогосподарськими системами дозволяє забезпечити єдиний і збалансований підхід в обліку особливостей водних ресурсів території з погляду технічної, економічної, соціальної і природоохоронної складових.

Схема інтегрованого управління повинна враховувати повний комплекс чинників складових водного балансу території (можливий водообмін з морською акваторією, припливу річкових і поверхневих вод, атмосферні опади, ґрунтовий приплив, показники випаровування, скидних і стічних вод).

Басейн Куяльницького лиману бажано поділити на морфологічно однорідні ділянки, які мають приблизно однакові кількісні показники впливу окремих складових водного балансу. Для кожної з ділянок басейну з урахуванням особливостей формування їх водного балансу розробляється оцінка водно-ресурсного потенціалу, які в остаточному вигляді ув'язуються в єдину для всього басейну схему.

Загальний водозбірний басейн Куяльницького лиману можна поділити мінімум на три ділянки: басейн річки Великий Куяльник, безпосередньо Куяльницький лиман з прилеглими до нього прибережними смугами шириною 200-250 м і нижня (південна) частина басейну – озера пересипу і Корсунцівські ставки. Для кожної із цих ділянок необхідно виконати весь комплекс вказаних вище робіт, а в остаточному варіанті вони будуть пов'язані в єдиний водогосподарський баланс.

2. Ув'язка всіх видів водокористування у межах басейну Куяльницького лиману і всіх об'єктів господарської діяльності (водокористувачів) по горизонталі між окремими галузями господарського комплексу (аграрний комплекс, комунальне господарство, об'єкти промисловості, рекреаційно-курортною діяльності і таке ін.) і по вертикалі

між різними рівнями водогосподарської ієрархії (вища ієрархія – басейн в цілому, з подальшим розбиттям на системи нижчої ієрархії використання природного ресурсу аж до окремих невеликих приватних водокористувачів).

Водозбір Куяльницького лиману характеризується вкрай високою сільськогосподарською освоєністю території, яка становить 48-50%. Сільськогосподарські угіддя займають 81% (184,9 тис.га) від загальної площі басейну, з яких 74,8% припадає на орні землі. В межах прибережних смуг водних об'єктів склад угідь такий: рілля – 14%, сінокіс – 16%, пасовища – 29%, присадибні ділянки – 20%, ліси, лісосмуги і чагарникові зарості – 9%, інші угіддя – 12% [65, 111].

Об'єкти промислової інфраструктури басейну Куяльницького лиману представлені в основному підприємствами переробної промисловості аграрного комплексу і невеликою кількістю кар'єрів, які експлуатують родовища будівельних матеріалів [65].

Ув'язка основних водокористувачів в схемі інтегрованого управління водними ресурсами басейну Куяльницького лиману повинна будуватися з урахуванням активного використання водних ресурсів території, яке досягає 60-100% річного стоку річок басейну. Проведені дослідження [65, 11, 247] показують, що щорічні сумарні потреби ресурсу в басейні Куяльницького лиману дорівнюють 12,5 млн.м³, безповоротне споживання – становить 9,32 млн.м³. При цьому щорічний забір води різними споживачами становить: безпосередньо з річки Великий Куяльник – 5,84 млн.м³, з водосховищ і ставків – 0,46 млн.м³; з підземних джерел – 6,19 млн.м³. Об'єм скидання зворотних вод оцінено в 3,16 млн.м³. Періодично через б. Корозея відбуваються залпові, ненормовані скидання комунально-побутових стоків м. Котовська.

3. Розрахункові показники складових водного балансу басейну Куяльницького лиману в схемі інтегрованого управління водними ресурсами території з урахуванням значної їх трансформації водогосподарською діяльністю, а також з урахуванням достатньо коротких рядів спостережень за гідрометеорологічними характеристиками, визначаються на основі розрахункових характеристик моделі «клімат-стік» [142, 195, 248].

4. Громадська участь не тільки в управлінні, але і у фінансуванні, плануванні і розвитку водогосподарської інфраструктури.

Під «громадською участю» розуміється участь не тільки виключно громадських організацій і об'єднань, але й обов'язкова участь місцевих органів влади, самоврядування, муніципальних водокористувачів в здійсненні басейнової водної політики на всіх етапах її реалізації, а також інформування громадськості про стан і якість водних ресурсів. Участь громадськості повинна забезпечити, в першу чергу, атмосферу прозорості і

відвертості, при якій вірогідність ухвалення рішення, що не відповідає інтересам місцевих громад, значно знижується.

5. Пріоритет природоохоронних вимог в діяльності органів управління під час практичного застосування схеми інтегрованого управління водними ресурсами басейну Куяльницького лиману.

Екосистемний підхід передбачає один найважливіший постулат – «природа – рівноправний партнер». Така вимога ґрунтується на необхідності визначення максимально можливого рівня антропогенного впливу на водні ресурси з метою забезпечення рівня їх сталого відновлення, мінімізації в кількісному відношенні негативних наслідків взаємодії джерел води і економічно використовуваних територій [65, 249].

За даними [8, 250] в Україні на сьогодні відсутні регіони, в межах яких фактичне використання водно-ресурсного потенціалу менше від екологічно допустимого рівня. Тільки для восьми областей країни цей показник знаходиться на рівні його критичних значень (0,30), а для Житомирської, Харківської, Луганської і Донецької областей зазначені показники становлять, відповідно, 1,0; 1,60; 1,40 і 1,20. Це означає, що вказані адміністративно-територіальні одиниці України здійснюють свою водогосподарську діяльність за рахунок водних ресурсів, які формуються на інших територіях. Для Одеської області, в межах якої розташований водозбір Куяльницького лиману, показник використання водно-ресурсного потенціалу перевищує його критичне значення і становить 0,50.

Безумовне і першочергове застосування екосистемного підходу при розробці схеми інтегрованого управління водними ресурсами в басейні Куяльницького лиману обумовлене унікальністю природно-ландшафтних комплексів території, зосередженням різноманітних степових, петрофітних, чагарникових, прибережно-водних лугових біоценозів, доцільністю створення найближчими роками в межах водного басейну лиману національного природного парку.

Необхідно також відзначити, що використання Куяльницького лиману і прилеглої території повинне здійснюватися на основах збалансованого розвитку, тобто з урахуванням екологічної, економічної і соціальної складових [242]. Після підписання Угоди про асоціацію з ЄС Україна взяла на себе зобов'язання імплементувати в природоохоронне законодавство декілька директив, шість з яких стосуються якості води і управління водними ресурсами. Саме тому раціональне використання водних ресурсів лиману і збереження його екосистем повинні лягти в основу схеми управління цим об'єктом.

6. Вода повинна бути визначена як товар, який з урахуванням його важливості має відповідну економічну і соціальну вартість.

Управління водними ресурсами Куяльницького лиману як соціально-економічним товаром – спосіб досягнення не тільки виключно фінансово-економічних цілей сталого розвитку окремих регіонів і країни в цілому, але й найважливіший спосіб досягнення соціальних цілей, пов'язаних із забезпеченням ефективного і рівноправного водокористування, заохочення економіки і охорони водних ресурсів.

Підхід «забруднювач платить» є основним принципом всієї європейської екологічної політики. Забезпечення адекватного відшкодування витрат на послуги водоспоживання і водокористування, в т.ч. екологічних і ресурсних витрат, знаходиться на рівні загальнодержавного правового забезпечення. Проте, допускається зниження вартості на відновлення водних ресурсів, виходячи з економічних, екологічних і соціальних міркувань, а також з урахуванням географічних або кліматичних умов.

7. Інформаційне забезпечення системи управління, економічна і фінансова стабільність забезпечення схеми інтегрованого управління водними ресурсами басейну.

Таким чином, еколого-економічна система водного басейну може розглядатися як частина земної поверхні, обмеженої гідрографічними межами водозбору конкретного водного об'єкту або групи водних об'єктів, в межах яких існуючі соціальні, економіко-виробничі відносини розглядаються з точки зору не тільки експансії техносфери, але й з позиції створення регіональних збалансованих, взаємопідтримуючих і рівноважних природно-господарських комплексів [251].

12.2 Рекомендації щодо заходів з оптимізації водогосподарської діяльності для підвищення водності річок і балок басейну Куяльницького лиману у майбутньому

Оптимізація водогосподарської діяльності необхідна для підвищення водності у гирлах річок і балок басейну Куяльницького лиману, що має призвести до гальмування процесу всихання лиману та відновлення його гідроекологічного стану. Відновлювальні заходи спрямовані на підвищення водності річок, насамперед, за рахунок оптимізації роботи штучних водойм, очищення русел від донних відкладень, посилення водообміну та покращення умов для інтенсифікації процесів самоочищення, реконструкції планових форм русел річок на ділянках, з штучно зміненими, наприклад спрямленими, формами русел.

Виконана робота спрямована, головним чином, на обґрунтування доцільності проведення таких робіт як розчистка русел річок від штучних водойм та використання трубопроводу море-лиман для наповнення його морськими водами.

Важливу роль при розробці рекомендацій по оптимізації роботи штучних водойм мали прогнози впливу змін клімату на природний стан водних ресурсів річок водозбору Куяльницького лиману з використанням даних кліматичних сценаріїв. Результати виконаних оцінок та прогнозів стоку річок на майбутнє показали, що за розглянутими сценаріями змін клімату (A1B, A2, RCP4.5, RCP8.5) у нових кліматичних умовах буде спостерігатися тенденція до статистично значущого зменшення водних ресурсів річок водозбору Куяльницького лиману. Після 2030р. згідно із сценарієм A1B, відбудеться інтенсивне зростання температури повітря, що призведе до інтенсифікації процесів зростання посушливості клімату, що обумовить зменшення водності річок. Наприклад, зменшення середньої багаторічної величини природного річного стоку р.Великий Куяльник за кліматичний період 1990-2030рр. становитиме лише 6.8%, а у період 2031-2070рр. вже досягне 25%. При розгляді маловодної фази коливань опадів (2021-2050 рр.) зменшення стоку може досягати 40%. Як було показано у вище наведених розділах, зменшення водності річок посилює наслідки негативного впливу штучних водойм. Для кліматичних умов минулого (до 1989р.) штучні водойми зменшували водні ресурси на 37% (при 40% наповненні штучних водойм). При тих самих характеристиках штучних водойм на р.Великий Куяльник ($W_3 = 15,6$ млн.м³ та $F_B = 6,26$ км²) стік зменшиться у кліматичний період 1990-2030рр. з 19млн.м³ (природний стік) до 9,69 млн.м³ (побутовий стік), що становитиме 49% (сценарій A1B). Наведений приклад показує, наскільки значущим може бути зменшення стоку за рахунок наповнення штучних водойм та втрат на випаровування з водної поверхні. У той же час встановлені цифри дозволяють зробити висновок щодо можливості збільшення притоку води від річок до лиману саме за рахунок оптимізації штучних водойм. Дії по розчищенню можуть бути ефективними до 2030р., починаючи з якого (за сценарієм A1B) почнеться нова гілка збільшення температури повітря. У цілому слід зазначити, що у майбутньому кліматичні умови будуть сприяти зменшенню природного стоку річок через зростання посушливості клімату. Проте відновлення їх стоку можливе і може дати економічний ефект, якщо обмежити допустимий об'єм заповнення ставків 10% від середньої багаторічної величини природного стоку, визначеного для розглядуваного кліматичного періоду. Річки та балки водозбору Куяльницького лиману характеризуються невиправдано високими характеристиками об'ємів

заповнення ставків. Більшість із них стоїть пересохлими на протязі декількох сезонів та навіть років. У роки із сніжними зимами та опадами навесні, коли формується добре виражене весняне водопілля, у верхів'ях ставки наповнюються водою, але через відсутність регулювання стоку (шлюзи не працюють і за минулі 10 років замість них створені глухі дамби) поверхневий стік затримується у водоймах, вода втрачається на інфільтрацію та на випаровування з водної поверхні. За даними Облводресурсів в басейні річки Великий Куяльник станом на 2012 рік знаходилося 59 штучних водойм, а 66 виявлено додатково за допомогою супутникових знімків (Google Earth, Google Maps) та експедиційних досліджень ОДЕКУ. Фактично р.В.Куяльник перетворена на каскад ставків, з незадовільним “хімічним та екологічним статусом” [252] і згідно із Водною Рамковою Директивою підлягає відновленню. Середній багаторічний річний стік балок, які впадають до Куяльницького лиману, менший загального об'єму наповнення ставків. Отже, ці ставки здатні повністю перехоплювати поверхневий природний стік балок. Часто ставки наповнюються скидними та стічними водами (балки Гіндендорфська, Корсунцівська), що створює враження їх повноводності. Перевірка якості води за гідрохімічними показниками показала їх непридатність до рибогосподарського та питного споживання. Недостатньою для питного споживання якістю характеризується навіть вода в колодязях. Більше половини ставків не мають реєстраційних документів, тобто створені стихійно. Потреби у питній воді та для зрошення задовольняються використанням підземних вод потужних водоносних горизонтів, глибоко розташованих у сарматських відкладеннях. По суті, більшість створених штучних водойм не відіграє значущої ролі у господарстві і може бути ліквідованою.

Імітаційні розрахунки можливого сольового режиму лиману, виконані за моделлю водно-сольового балансу (розділи 8-10), показали, що навіть при повному відтворенні природного стоку р.Великий Куяльник, рівні води в лимані у маловодні періоди (наприклад, 2018-2020, 2031-2034 рр. й інші) будуть нижчими за позначку НІР (мінус 5,5 м БС), а мінералізація води буде вище гранично допустимого значення (200 г/дм^3), з чого було зроблено висновок про необхідність поповнення об'єму лиману морською водою з Одеської затоки згідно з обраним варіантом роботи трубопроводу (рекомендований варіант 3). З урахуванням цього, пропонується внести відповідні зміни у вимоги умов подачі морської води до лиману, які зазначені в *«Правилах експлуатації гідротехнічної споруди зі з'єднання Куяльницького лиману та Одеської затоки»*.

За результатами розрахунків з використанням нестационарної тривимірної гідротермодинамічної моделі Delft3D-FLOW отримані оцінки

змін внутрішньорічної просторово-часової мінливості гідрологічних характеристик лиману, зокрема, відміток рівня, температури та солоності води в лимані, інтенсивності випаровування з водної поверхні лиману за різних умов поповнення його морськими водами з Одеської затоки та прісною водою р.В.Куяльник (розділ 11). Встановлено, що за сценарними кліматичними умовами впровадження водного менеджменту на водозборі річки Великий Куяльник, реалізація різних інженерно-технічних заходів, спрямованих на збільшення стоку річки в Куяльницький лиман будуть суттєво впливати на його гідроекологічний режим лише у разі забезпечення надходження до лиману не менш 75% від обсягів природного стоку річки, у протилежному випадку відтворення природного стоку цієї річки не має сенсу.

Здійснення заходів для оптимізації водогосподарської діяльності з підвищення водності в гирлах річок (Великий Куяльник, Довбока, Кубанка й інших) і балок (Гільдендорфська – в районі с. Красносілка, Корсунцівська – в районі с. Корсунці, без назви – в районі с. Ільїнка й інших), що живлять Куяльницький лиман, рекомендується провести в декілька етапів за черговістю (послідовністю), які представлені нижче.

І етап. Інвентаризація в руслах і заплавах водотоків (річках і балках) штучних водойм (водосховищ, ставків, копанок, затоплених кар'єрів), гідротехнічних і підпірних споруд (гребель, дамб, шлюзів, загат, автомобільних переїздів, пішохідних переходів, мостів) або їх залишків, якщо вони можуть затримувати стік. Цей етап реалізується в такій послідовності.

1. Складання переліку, визначення місцеположення в руслах і заплавах водотоків та опису сучасного стану штучних водойм, гідротехнічних і підпірних споруд (їх залишків, якщо вони можуть затримувати стік), типу та матеріалу їх конструкції (з використанням топографічних і тематичних карт, схем і планів місцевості; супутникових знімків поверхні Землі; довідникової літератури; даних натурних обстежень).

2. Визначення об'ємів води (на час обстеження та найбільших можливих), що накопичуються штучними водоймами та затримуються гідротехнічними і підпірними спорудами (їх залишками, якщо вони можуть затримувати стік), а також розрахунок площ водної поверхні (або площ додаткового випаровування) при різних об'ємах води (з використанням топографічних і тематичних карт, схем і планів місцевості; супутникових знімків поверхні Землі; довідникової літератури; даних натурних обстежень).

3. Оцінка хімічного складу води та вмісту у ній забруднювальних речовин алохтонного й автохтонного походження та просторово-часової мінливості показників якості води (гідрофізичних, гідрохімічних,

гідробіологічних, санітарно-бактеріологічних, специфічних речовин токсичної дії тощо), які накопичуються у штучних водоймах і затримуються гідротехнічними та підпірними спорудами або їх залишками (з використанням довідникової літератури; наукових звітів; даних натурних обстежень).

II етап. Обґрунтування (наукове, економічне, юридичне) рекомендацій щодо ліквідації/реконструкції штучних водойм, гідротехнічних і підпірних споруд (їх залишків, якщо вони можуть затримувати стік) або їх розмірів (головним чином, найбільших можливих об'ємів води та/чи площ водної поверхні). Цей етап виконується за такою послідовністю.

1. Оцінка об'ємів природного (непорушеного господарською діяльністю) стоку річок і балок в залежності від кліматичних умов за ретроспективний період (з використанням архівних даних) та у майбутньому (за даними кліматичних сценаріїв).

2. Визначення з урахуванням зміни клімату можливих майбутніх об'ємів побутового стоку та надлишків/дефіциту води для наповнення існуючих штучних водойм або ємностей для затримки руслового стоку, що утворені гідротехнічними та підпірними спорудами (їх залишками).

3. Оцінка відповідності показників екологічного стану води (гідрофізичних, гідрохімічних, гідробіологічних, санітарно-бактеріологічних, специфічних речовин токсичної дії тощо) існуючих штучних водойм і ємностей для затримки стоку в руслах річок і балок, що утворюються гідротехнічними та підпірними спорудами (або їх залишками), вимогам до якості вод, які використовуються для господарсько-побутового споживання, зрошування, риборозведення, купання та рекреації й інших видів водокористування (за даними вимірювань або архівними даними).

4. Перевірка дотримання власниками/орендарями штучних водойм, гідротехнічних і підпірних споруд вимогам чинного законодавства, у тому числі Водного кодексу України, які стосуються збереження водності та екологічного стану малих річок, особливостей їх використання, регулювання стоку та створення штучних водойм в їх басейнах, насамперед статті 80 «Особливості користування малими річками», статті 81 «Комплекс заходів щодо збереження водності річок і охорони їх від забруднення» та статті 82 «Регулювання стоку річок, створення штучних водойм», згідно якої для будь-яких за розміром річок *«забороняється споруджувати в їх басейні водосховища і ставки загальним обсягом, що перевищує обсяг стоку даної річки в розрахунковий маловодний рік, який спостерігається один раз у двадцять років»* [253].

5. Перевірка наявності у власників (орендарів) штучних водойм, гідротехнічних і підпірних споруд необхідних дозвільних документів на їх

використання, водогосподарських паспортів тощо, а також відповідності використання цих об'єктів за цільовим призначенням.

6. Визначення економічної рентабельності (прибутковості або збитковості) від використання існуючих штучних водойм, гідротехнічних, підпірних споруд.

7. Формулювання рекомендацій щодо подальшого використання кожної штучної водойми, гідротехнічної та підпірної споруди (їх залишків, якщо вони можуть затримувати стік) та складання переліку тих, які необхідно ліквідувати.

8. Визначення ділянок старого природного русла, які можна відновити, а також ділянок сучасного спрямленого (каналізованого) русла, які необхідно буде рекультивувати після відновлення природного русла (його окремих ділянок або меандр) та обґрунтування оптимальних морфометричних характеристик нового (після розчищення чи відновлення) русла.

III етап. Ліквідація/реконструкція штучних водойм, гідротехнічних та підпірних споруд рекомендується у випадках, коли:

- її власник/орендар не дотримується вимог чинного законодавства, у тому числі Водного кодексу України;
- її використання є економічно нерентабельним (збитковим);
- показники екологічного стану води (гідрофізичні, гідрохімічні, гідробіологічні, санітарно-бактеріологічні, специфічні речовини токсичної дії тощо) існуючих штучних водойм і ємностей не відповідають вимогам до якості вод, які використовуються для господарсько-побутового споживання, зрошування, риборозведення, купання та рекреації й інших видів водокористування;
- існує, буде зберігатися чи збільшуватися в майбутніх кліматичних умовах (за даними кліматичних сценаріїв) дефіцит води для наповнення штучних водойм або інших ємностей, що виникає у результаті перевищення сумарних ємностей регулювання об'ємів природного руслового стоку.

IV етап. Відновлення природного русла річки (окремих його ділянок, меандр, джерел розвантаження підземних вод) та рекультивація ділянок сучасного спрямленого (каналізованого) русла, де відновлено природне русло (його окремі ділянки або меандри).

V етап. Виявлення ділянок розораного русла та захисних смуг та застосування штрафних санкцій до порушників законодавства. Відновлення заліснення прибережних захисних смуг нового відновленого русла та штучних водойм, які мають функціонувати. Впровадження цього заходу дозволить у майбутньому (після підростання дерев і кущів) зменшити випаровування з водної поверхні (за рахунок затінення поверхні води, зменшення температури, збільшення вологості повітря, переведення поверхневого стоку

у підземний). Дерева та кущі також сприятимуть збільшенню водності шляхом затримки та накопичення у своїх заростях додаткової кількості атмосферних опадів (насамперед, при від'ємних температурах повітря) [254].

Крім того, для зменшення втрат води на випаровування з водної поверхні штучних водойм, що залишаються, пропонується (за наявності такої можливості) змінити їх тип (конфігурацію в плані). Для цього необхідно штучним водоймам, створеним у руслах річок і балок, та ставкам-копаням переважно атмосферного живлення (у сухих балках, що наповнюються винятково водами поверхневого стоку) надати форму подібну меандру, як це показано на рис. 12.1а та на рис. 12.1б [255].

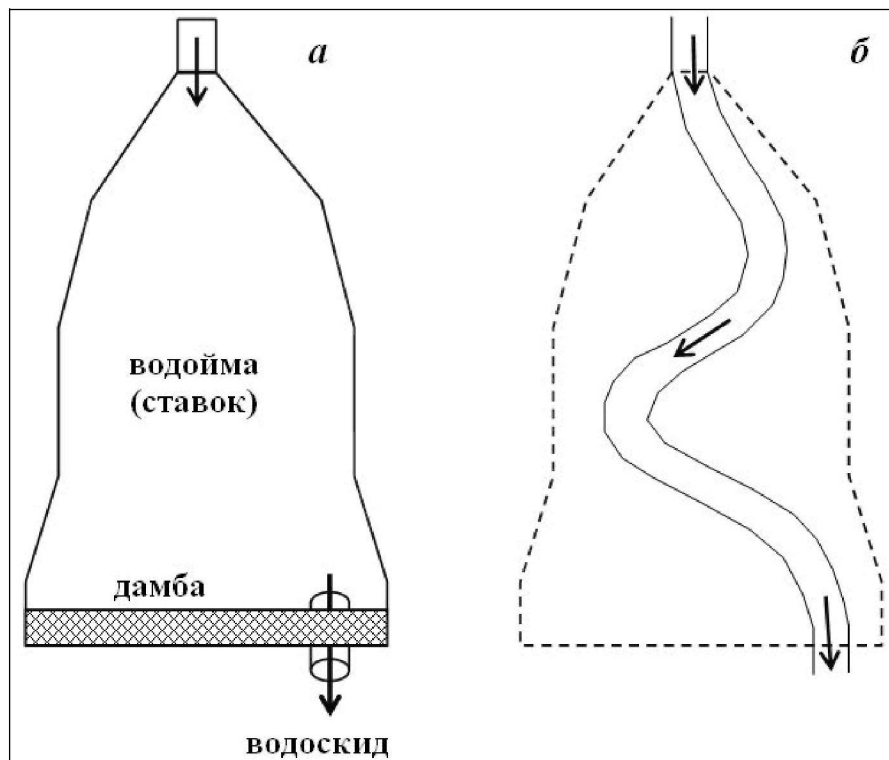


Рисунок 12.1 – Схема зміни конфігурації звичайної (традиційної) штучної водойми форми (а) на водойму (русло) у вигляді правильного слабковигнутого меандру (б)

Об'єм штучної водойми в цьому випадку може залишитись незмінним, але площа поверхні води, а відповідно й об'єм випареної води, зменшиться у три-п'ять разів. Для цього в місці існуючої штучної водойми (рис. 12.1а) споруджується копань (рис. 12.1б), наприклад, у вигляді русла за формою правильного слабковигнутого меандру з вигином рівномірної крутості. Визначення нових морфометричних характеристик штучних водойм може виконуватись таким чином.

Наприклад, є водойма з морфометричними характеристиками, які властиві багатьом ставкам басейну Куяльницького лиману [76, 111]: довжина – 250 м, середня ширина – 50 м, середня площа водної поверхні – 25000 м², середня глибина – 0,5 м, середній об'єм води – 12500 м³.

Оцінка нових морфометричних характеристик штучних водойм, які утворюються після зміни їх конфігурації (типу), визначається в такій послідовності: об'єм води не змінюється – 12500 м³, нові ширина та глибина копаної водойми (в залежності або з урахуванням можливостей екскаваторної техніки) задаються, відповідно, 12,5 м та 2,5 м (тобто площа поперечного перерізу русла копаної водойми дорівнюватиме 31,25 м²), тоді довжина водойми становитиме – 400 м, а площа поверхні води – 5000 м². Отже, площа водної поверхні ставка, а відповідно й об'єм випареної води, зменшиться у п'ять разів.

Таким чином, щороку у періоди весняного водопілля або/та дощових паводків втрати стоку на поповнення об'єму цієї водойми також будуть у п'ять разів меншими, а «зеконормлений» об'єм руслового стоку піде на поповнення Куяльницького лиману. Зауважимо, що це можливе лише за сприятливих геологічних та гідрогеологічних умов або при унеможливленні втрат води на інфільтрацію.

ВИСНОВКИ

1. Одещина відносно бідна природними ресурсами, її частка у природно-ресурсному потенціалі України становить лише 3,7%. Разом із тим вона має значні земельні ресурси та виділяється своїм рекреаційним потенціалом (клімат, море, лікувальні грязі, мінеральні джерела, ропа лиманів). Куяльницький лиман відповідає усім вимогам до курортів державного значення: наявність мінеральних вод, лікувальних грязей, ропи, кліматичних та інші природних умов, які є сприятливими для лікування, медичної реабілітації та профілактики захворювань. Кліматичні умови водозбору Куяльницького лиману є також сприятливими для розвитку зеленого туризму та рекреації.

2. Куяльницький лиман входить до агломерату м.Одеса, на його березі функціонує “Клінічний санаторій ім. Пирогова”. У межах Куяльницької балки, де розташований “Клінічний санаторій ім. Пирогова”, формується особливий мікроклімат, який відрізняється від клімату узбережжя і є більш сприятливим для адаптації та реабілітації хворих. Це пояснюється різним ступенем вентиляції в денний період доби Куяльницької балки та Приморського плато, а в темну частину доби – надходженням холодного повітря зі схилів так званої Жевахової гори. Основну цінність мінеральних ресурсів басейну Куяльницького лиману складають родовища мінеральних вод та лікувальні грязі. Переважають хлоридні води різного катіонного складу. До цього типу належить гідрокарбонатно-хлоридна вода “Куяльник” з мінералізацією 3,1 г/дм³. Родовище лужних лікувальних грязей (мулуватих відкладів лиману) є одним з найбільших в Україні. Збереження лиману та його мінеральних і рекреаційних ресурсів для наступних поколінь є важливою задачею сучасної науки та суспільства в цілому.

3. Близкість Куяльницького лиману до міста робить його уразливим до забруднення джерелами антропогенного походження. Лиман живиться водою, що надходить до його водної поверхні у вигляді опадів, та стоком води декількох річок та тимчасових водотоків. Основне місце серед них посідає р.Великий Куяльник, на водозбір якої припадає 82,6 % площі водозбору усього лиману. Найбільш цінною складовою природних ресурсів цієї річки є земельні ресурси, тому розораність водозбору посилюється з року в рік, простираючись на вододіли, прибережну зону та іноді на пересохлі русла основної річки та її приток. Довжина річки становить 150 км, з них 103 км є спрямленими. Річка В.Куяльник та інші притоки перевантажені гідротехнічними спорудами у вигляді шлюзів, більшість яких вже не працює, ставками, будівництво значної частини яких є несанкціонованим.

4. У природних умовах формування стоку сумарне надходження прісних вод до лиману (у вигляді опадів на водну поверхню та річкового стоку) перевищує витратну складову (випаровування з водної поверхні). За рахунок водогосподарської діяльності приплив прісних вод від водотоків зменшився і сформувався дефіцит водного балансу, який посилюється у минулі два десятиріччя завдяки змінам клімату. Прояв кліматичних змін полягає, насамперед, у зростанні температури повітря, що сприяє збільшенню втрат на випаровування у літній та осінній гідрологічні сезони та зменшенню запасів води у сніговому покриві. Накопичення снігу на водозборі необхідне для формування “дружного” весняного водопілля, але внаслідок зростання температур повітря у зимовий сезон сніг тане підчас відлиг, тривалість та частоти появи яких зростає. Живлення водотоків підземними водами вкрай недостатнє і не може компенсувати втрати поверхневого стоку. Глибина залягання потужних водоносних горизонтів у сарматських відкладеннях набагато більша глибини врізання русел річок у підстильну поверхню. Ближчі до поверхні водоносні горизонти інтенсивно експлуатувались і також виснажилися. Результатом зменшення водності річок є зменшення водної поверхні та об’єму опадів, що на неї випадають. На початку ХХІ сторіччя відбулося всихання лиману (зменшення рівнів води, площі водного дзеркала та загального об’єму води у лимані), яке супроводжувалося зростанням мінералізації до критичного рівня, за яким зупиняється існування повноцінного біоценозу. У таких умовах через низькі рівні води погіршуються умови для функціонування санаторію (видобуток лікувальної грязі та ропи), а через зростання мінералізації ($> 200 \text{ г/дм}^3$) порушується процес їх утворення. Зменшення водності річок та самого лиману чинять вплив на динаміку біоти, яка залежить від градієнту солоності. Останній розглядається як лімітуючий фактор: значення хорогалінних зон в умовах осолонення – розпріснення обумовлюють різний гідрохімічний режим з заміщенням складу біотичних спільнот з різними параметрами галобності. При наповненні Куяльницького лиману водами Чорного моря або при підвищенні прісноводного стоку від річок очікується поява різних галобних зон з властивою кожній з них біотою, як це було в різні історичні періоди існування Куяльницького лиману.

5. Дія антропогенних чинників на Куяльницькому лимані проявлялася ще з середини ХVІ сторіччя, коли на ньому був організований видобуток солі. Для потреб солепроміслу лиман неодноразово перегороджували дамбою, щоб виділити прісноводу північну зону від солесадкової південної. У роки поділу лиману дамбою на дві частини (у 1859-1878 рр.) рівень води в південній частині лиману регулювався впуском води з моря. На початку ХХ сторіччя Куяльницький лиман двічі поповнювали морською водою – в 1907

та 1926 рр. В 1890-1901 рр. для забезпечення потреб Корсунцівського солепроміслу в східній частині пересипу між лиманом і Одеською затокою було споруджено з'єднувальний канал довжиною 2,6 км. У 1926 р., при рівні води у лимані мінус 7,12 м БС до нього було знову подано морську воду загальним об'ємом 7,5 млн. м³, що становило 35% об'єму води в лимані. Таким чином, ще на початку ХХ сторіччя проблему нестачі води у лимані вирішували попусками до лиману морських вод. Сучасне обміління лиману та зростання солоності його вод також можливо припинити через введення в дію трубопроводу «море-лимани», який розпочав свою роботу з 24 грудня 2014р.

6. Гідрохімічний режим закритого (без водообміну із морем) Куяльницького лиману визначається природними і антропогенними чинниками: припливом прісних вод від річки Великий Куяльник, прісних вод та вод з пониженою мінералізацією (< 500 мг/дм³) із водойм і водотоків східного берегу лиману, вод з пересипу і прилеглих територій, надходженням до поверхні лиману атмосферних опадів, фільтрацією морської води через пересип.

Якість води та екологічний стан річок (еликий Куяльник, Кубанка і Довбока) та балок (Корсунцівська і Гільдендорфська), а також озер пересипу оцінювалась за «Методикою екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями») та методикою ГХІ. Для всіх розглянутих річок виявлене стійке забруднення хлоридами та сульфатами, а також азотом амонійним. Забруднення сульфатами зростає у роки добре виражених весняних водопіль. Установлено, що мінералізація води в річках зростає по мірі зменшення їх водності.

За методикою ГХІ встановлено, що води річок та балок у їх гирлах, які живлять лиман, відносяться до IV класу якості «брудні». Основними забруднюючими речовинами, що надходять від р.Великий Куяльник є хлориди, сульфати, азот амонійний, від рр. Кубанка та Довбока - азот нитритний, для балок Корсунцівська і Гільдендорфська – сульфати та азот нитритний, для ставків пересипу – сульфати.

Оцінка якості підземних вод у колодязях в басейнах річок Довбока та Кубанка згідно ДСТУ 4808:2007 «Джерела централізованого питного водопостачання. Гігієнічні та екологічні вимоги щодо якості води і правила вибирання», як потенційно можливих для питного водопостачання населених пунктів на водозборах цих річок, продемонструвала, що за найгіршими показниками вода у колодязях належала до 3 класу підкласу 3(2), тобто була «задовільна», слабо забруднена вода з ухилом до класу «доброї», чистої. Вода такої якості при її використанні для питного водопостачання потребує додаткового оброблення, а саме: кондиціонування за органолептичними

показниками та показниками хімічного складу води. Умовно захищеними від забруднення є водоносні горизонти у верхньосарматських та середньосарматських відкладеннях, які залягають на глибині до 150м і мають значну потужність. Саме такі водоносні горизонти використовуються для централізованого водопостачання.

7. Зменшення водності річок та їх значне забруднення речовинами антропогенного походження, а також всихання самого лиману потребує вживання певних заходів щодо збереження лиману та його лікувальних й рекреаційних ресурсів. У цьому сенсі була вирішена задача оцінки та прогнозування впливу змін клімату та водогосподарської діяльності на гідрологічний та гідроекологічний стан лиману у майбутньому.

Як відомо, глобальний та регіональний клімат ХХІ сторіччя змінюються під впливом зростання концентрацій парникових газів у атмосфері. Ці зміни викликають перерозподіл водних ресурсів, наслідки якого можуть стати катастрофічними для водних ресурсів зони недостатнього зволоження, де на сьогодні розташований водозбір Куяльницького лиману. У зв'язку із цим визначення тенденцій змін клімату у Північно-Західному Причорномор'ї набуває практичної значущості. У роботі були розглянуті особливості коливань кліматичних чинників формування стоку – температур повітря, які визначають процес випаровування, та опадів, які характеризують зволоження території. Було розглянуто 5 метеорологічних станцій, розташованих у межах водозбору Куяльницького лиману та на прилеглих територіях. Оцінка змін кліматичних чинників виконувалась для двох розрахункових періодів: 1953-1988рр., 1989-2012рр., причому 1989р. розглядався як переламний для температурного режиму України.

При дослідженнях зміни кліматичних чинників формування стоку на всіх розглянутих метеорологічних станціях (Любашівка, Сербка, Роздільна, Затишся, Одеса) виявлена тенденція до зростання середніх річних температур повітря від 0,8 °С до 1,1 °С. Причому після 1989 р. інтенсивність зростання збільшується. Так само збільшуються середні багаторічні температури повітря холодного (0,7 – 1,0 °С) та теплого (1,0 – 2,0 °С) періодів року.

Характерною рисою холодного періоду є перехід середніх температур повітря (після 1989 р.) від від'ємних значень до додатних. На водозборі Куяльницького лиману та прилеглих до нього територіях статистично значущих тенденцій щодо змін опадів не виявлено.

Показано, що потепління в зоні степу супроводжується (зі 1989р.) зростанням тривалості бездощових періодів та інтенсивних посух, аналіз яких виконувався за індексом SPEI. Тривалі бездощові періоди та

формування метеорологічних посух спричиняють гідрологічну посуху, яка викликає зменшення стоку річок у період літньо-осінньої межени та сприяє зростанню тривалості їх пересихання при відсутності стійкого підземного живлення.

8. Дослідження змін гідрологічного режиму річок водозбору Куяльницького лиману на початку ХХІ сторіччя можливо було виконати лише для створу р.Куяльник – с. Северинівка, де розташований єдиний на водозборі Куяльницького лиману гідрологічний пост. Спостереження розпочалися з 1986 року. У зв'язку із недостатністю довжини ряду спостережень значення річного стоку з 1953 року відновлювалися на основі даних про стік річки-аналога Тилігул у створі смт.Березівка. Показано, що статистичні параметри річного стоку як за фактичним рядом, так і за відновленим, визначаються з великими похибками, які перевищують допустимі. Це обумовлено високою багаторічною мінливістю та асиметричністю ряду річного стоку у створі р.В. Куяльник – с.Северинівка. Річка щорічно пересихає. Значення мінімального річного, середньомісячного та добового стоку річки дорівнюють нулю. Максимальний стік формується у період весняного водопілля за умови наявності стійкого переходу взимку температур повітря через 0°C у бік від'ємних значень та випадіння твердих опадів, які накопичуються на водозборі до початку танення. Випадання рідких опадів у період танення сприяє зростанню шару стоку весняного водопілля. Дослідження внутрішньорічного розподілу стоку показали, що річка В.Куяльник пересихає кожного року. У багатоводні роки стік формується у зимові та весняні місяці, у середні за водністю – тільки у весняні. Протягом маловодного року стік річки може бути відсутній в усі місяці. За матеріалами спостережень на початку ХХІ сторіччя до багатоводних можна віднести лише 2003 р., який характеризувався холодною зимою із стійким переходом температури повітря через 0°C . При від'ємних температурах повітря відбувається накопичення вологи у сніговому покриві, що створює умови для формування весняного водопілля. Саме у період весняного водопілля через замикальний ствір проходить головна частина річного стоку. Зростанню водності сприяють дощі, які випадають на спаді весняного водопілля. У теплі зими при наявності відлиг талий стік зимових місяців витрачається у значній мірі на фільтрацію талих вод у ґрунт, але через глибоке залягання водоносних горизонтів фільтраційні води не попадають у русло річки і витрачаються влітку на випаровування.

Виявлені тенденції змін кліматичних чинників на водозборі Куяльницького лиману вказують на несприятливі умови формування стоку. Перехід у область додатних значень температур повітря холодного сезону обумовлює формування відлиг та незначну глибину промерзання ґрунтів, що

призводить до зростання втрат поверхневого стоку, зменшення запасів води у сніговому покриві на початок весняного водопілля та наступного зменшення витрат і об'ємів весняного водопілля. Збільшення температур повітря теплого періоду обумовлює зростання випаровування з поверхні суші і особливо з водної поверхні водойм, серед яких більшість має штучне походження. Ці втрати стоку не компенсуються зростанням зволоження території. Навпаки, кількість опадів залишиться практично незмінною. Таким чином, можна зробити висновок, що на водозборі Куяльницького лиману на початку ХХІ сторіччя сформувалися кліматичні умови, які сприяють зменшенню водних ресурсів території.

9. Для оцінки змін водних ресурсів річок водозбору Куяльницького лиману, які відбулися у минулі два десятиріччя, та прогнозу можливих змін у майбутньому була застосована модель “клімат-стік”, розроблена в ОДЕКУ під керівництвом проф. Гопченка Є.Д. та проф. Лободи Н.С. Модель використовує на вході метеорологічні дані спостережень або дані кліматичних сценаріїв (при прогнозах) для розрахунків характеристик річного стоку у природних та побутових (перетворених водогосподарською діяльністю) умовах. Теоретичною основою розрахунків природного стоку є водно-тепловий баланс водозборів, а побутового – водогосподарський баланс. Оцінка побутового стоку та стоку річок в умовах змін глобального клімату виконується в результаті імітаційного стохастичного моделювання. Перевагою запропонованої моделі над іншими є те, що на її основі можна визначати характеристики річного стоку, спираючись лише на метеорологічну мережу, що дуже важливо для Північно-Західного Причорномор'я та водозбору Куяльницького лиману, зокрема, оскільки для них є характерною нестача даних гідрологічних спостережень та їх значна трансформація водогосподарською діяльністю.

10. В результаті досліджень отримано, що сумарний об'єм прісних вод, які б мали надходити до Куяльницького лиману у природних (непорушених водогосподарською діяльністю) умовах формування стоку минулого сторіччя, становив **22,2 млн.м³**. Об'єм прісного стоку від р.Великий Куяльник (у природних умовах) складає 91,8% від загального надходження прісних вод від водотоків Куяльницького лиману. Середній багаторічний об'єм природного річного стоку р.Великий Куяльник дорівнював **20,2 млн.м³**.

Розрахунки об'ємів природного річного стоку у роки різної забезпеченості водності показали, що навіть у природних умовах для річки В.Куяльник можлива поява нульових значень річного стоку у дуже маловодні роки (із забезпеченістю річного стоку більше або рівною 95%), на річках Довбока та Кубанка - у маловодні роки (із забезпеченістю більше або рівною

75%). Природний річний стік балок дорівнює нулю як у маловодні, так і у середні за водністю роки. Таким чином, навіть у природних умовах формування стоку приплив прісної води від річок та тимчасових водотоків до Куяльницького лиману у минулому сторіччі характеризувався значною мінливістю і залежав від водності року, пов'язаної з кліматичними умовами.

11. Виявлено, що основними чинниками водогосподарської діяльності на водозборі Куяльницького лиману є скиди забруднених вод, урбанізація, розораність, регулюваннями штучними водоймами. Оцінка коефіцієнтів антропогенного впливу, виконана за стохастичною моделлю “клімат-стік”, на стік річок за кожним із перелічених чинників показала, що найбільший вплив на водні ресурси річок чинять штучні водойми. Ставки виконують сезонне регулювання і їх вплив на водні ресурси проявляється через втрати на додаткове випаровування з водної поверхні та заповнення штучних водойм. За результатами проведених науковцями ОДЕКУ експедиційних досліджень встановлено, що сумарна площа водної поверхні штучних водойм, які створені і діють на водозборах річок Великий Куяльник, Довбока та Кубанка, дорівнює 6,23 млн.м²; 0,20 млн.м²; 0,39 млн.м², відповідно. Відносна площа, яку займає водна поверхня ставків та малих водосховищ, на річках Великий Куяльник, Довбока, Кубанка складає у середньому 0,3% від площі водозборів цих річок. Середні втрати на додаткове випаровування з водної поверхні штучних водойм за багаторічний період в умовах минулого сторіччя становили не більше 10%, але суттєво зменшували стік маловодних років. Виявлено, що значна частина втрат стоку річок обумовлена майже щорічним заповненням штучних водойм, оскільки останні часто пересихають і можуть знаходитися у такому стані декілька років. Доведено, що, у середньому за багаторічний період, на заповнення штучних водойм витрачалося близько 40% повного об'єму існуючих штучних водойм. У минулому сторіччі наслідки розбудови штучних водойм призвели до зменшення природних водних ресурсів річок водозбору Куяльницького лиману на 38% (період 1953-1988рр.). Сумарний об'єм штучних водойм у межах водозбору р.Великий Куяльник за даними експедиційних досліджень ОДЕКУ дорівнював (за даними на 2010 р.) 15,6 млн.м³, на р.Довбока - 0,37 млн.м³, на р.Кубанка – 0,628 млн. м³.

Розрахунки характеристик річного побутового стоку, виконані за моделлю “клімат-стік”, показали, що середній багаторічний приплив побутового (перетвореного водогосподарською діяльністю) стоку р.Великий Куяльник в кліматичних умовах минулого сторіччя (до 1989р.) зменшився до **12,8 млн.м³**. Установлений суттєвий вплив штучних водойм на стік річок відкриває можливості для збільшення приходної складової водного балансу Куяльницького лиману шляхом оптимізації їх роботи. Доцільність

проведення таких заходів залежить от стану природних водних ресурсів у майбутньому, у нових кліматичних умовах.

12. Прогноз змін водних ресурсів річок водозбору Куяльницького лиману, виконаний за моделлю “клімат-стік” на базі даних регіональних кліматичних сценаріїв (A1, A2, RCP4.5 та RCP8.5), показав, що за всіма розглянутими сценаріями очікується зменшення водних ресурсів річок водозбору Куяльницького лиману. Шляхом оцінки відмінностей сценарних і фактичних даних по температурах та опадах було встановлено, що сценарій M10 (модель REMO) з гілки сценаріїв A1B, найбільш точно прогнозує зміни кліматичних чинників.

13. Обчислення характеристик річного стоку у басейні Куяльницького лиману виконувались для 12 точок-вузлів із кроком 25 км, метеорологічні дані по яким наведені у розглянутих сценаріях. Для сценарію A1B розрахунки характеристик річного стоку виконувались для 30-річних періодів: 1990-2020 pp., 2021-2050 pp., 2051-2080 pp., 2081-2100 pp. Такі розрахункові інтервали часу були запропоновані міжнародним проектом FP7-ENV-2011 “Integrated water resources and coastal zone management in European lagoons in the context of climate change – LAGOONS”, що встановлювались за гідрометеорологічними коливаннями характерними для річок Європи. Базою, відносно якої виконувалось порівняння слугували характеристики природного та побутового стоку річок, визначені до 1989р. Установлено, що у цілому по водозбору Куяльницького лиману зміни річних опадів по виділених інтервалах часу не перевищуватимуть 3%. Максимально можливе випаровування з поверхні суші буде зростати від +7% у 1990-2020pp. до 23% у 2051-2100pp.

Непорушені водогосподарською діяльністю (природні) водні ресурси за період 2021-2050pp. зменшаться за рахунок кліматичних умов від 22,2 млн.м³ (за кліматичним станом до 1989р.) до 13,5 млн.м³, що становитиме близько 39%. Середній багаторічний приплив води від р.В.Куяльник за цей же період зміниться з 12,7 млн.м³ до 6.81 млн.м³. Вплив штучних водойм (втрати на додаткове випаровування з водної поверхні та заповнення штучних водойм) зменшить цю величину у середньому ще на 40%, якщо рівень водогосподарської діяльності не зміниться, а буде залишатися таким як тепер. Отримані результати свідчать, що водні ресурси річок та тимчасових водотоків водозбору Куяльницького лиману у такому випадку будуть безповоротно зруйнованими.

14. Установлено, що коливання гідрометеорологічних характеристик Західної, Центральної та Південної Європи суттєво відрізняються між собою. Тому розрахункові кліматичні періоди встановлювались на основі власного аналізу різницевих інтегральних кривих річних сум опадів та температур

повітря для території Північно-Західного Причорномор'я, побудованих за сценарними даними.

В результаті аналізу різницевих інтегральних кривих багаторічних коливань річних сум опадів та середніх річних температур повітря у XXI сторіччі за обраним регіональним кліматичним сценарієм A1B (M10), були встановлені нові, порівняно із узагальненими для Європи в цілому, розрахункові кліматичні періоди, які відповідають повним циклам коливань водності в межах водозбірного басейну Куяльницького лиману: 1990-2030 pp.; 2031-2070 pp.; 2071-2100 pp.

15. За розробленою авторською методикою визначення водності років на базі використання сценарних метеорологічних даних, були відтворені ряди багаторічної мінливості річного та середнього місячного річкового стоку р.Великий Куяльник, як головного постачальника прісних вод, протягом XXI ст. як у природних, так і перетворених господарською діяльністю умовах. Основою цієї методики є побудоване рівняння лінійної множинної регресії, предиктори якого відображають головні умови формування весняного водопілля, оскільки саме стік талих вод формує більше 70% річного припливу вод. В залежності від отриманого розрахункового показника водності та його емпіричної забезпеченості встановлювалась забезпеченість водності для кожного року. Типові (характерні за водністю) роки визначалися як такі, що мають забезпеченість 25%, 50% та 75% і класифікуються як маловодний, середній за водністю та багатоводний роки, відповідно. Розрахунки середнього місячного стоку виконувались за внутрішньорічними розподілами характерних років, отриманими для природного та побутового стоку окремо.

16. З метою розгляду найбільш типових ситуацій формування річкового стоку на водозборі лиману для кожного з кліматичних періодів XXI ст. обрані характерні за гідрометеорологічними умовами роки із 25%, 50% та 75% забезпеченістю надходження річкового стоку в лиман. При розгляді статистичних параметрів річного стоку за кожний із розрахункових періодів виявлено, що водність р.Великий Куяльник буде зменшуватись до кінця XXI сторіччя, а мінливість та асиметрія стоку зростатиме. Установлено, що кількість місяців із нульовим середнім місячним стоком р.Великий Куяльник буде збільшуватись. Середній багаторічний об'єм припливу прісних вод у природних умовах, який до 1989р. становив 20,4 млн.м³, за 1990-2030 pp.- 19.0 млн.м³; за 2031-2070 pp.-15.2 млн.м³; - за 2071-2100 pp.- 10.9 млн.м³, що складає -6,8%,-25.5%, - 46,6%, відповідно.

17. При 40% наповненні штучних водойм, які існують на сьогодні, середній багаторічний об'єм побутового (порушеного водогосподарською діяльністю) стоку буде змінюватись від 12.8 млн.м³(до 1989р.) до 9,69 млн.м³

(за період 1990-2030 рр.); до **6,11** млн.м³ (за період 2031-2070 рр.). Це означає, що у кліматичних умовах сценарію A1B, для періоду 1990-2030 рр. середня багаторічна величина річного стоку р.Великий Куяльник за рахунок впливу штучних водойм зменшиться на 50% у порівнянні із природним стоком цього кліматичного періоду, що дорівнював **19,0** млн.м³. Отримані результати показують, що до 2030р. за умови відтворення природного стоку на водозборі шляхом очищення русла від штучних водойм можливо суттєво збільшити об'єми надходження прісних річкових вод до Куяльницького лиману. Навіть у маловодну фазу коливань водності (2021-2050рр. за сценарієм A1B) від р.В.Куяльник буде надходити до Куяльницького лиману стік 12-13 млн.м³ у рік.

Розрахунки рядів річного та місячного побутового стоку від водотоків, які впадають у Куяльницький лиман, показали, що за умови збереження сучасного рівня водогосподарської діяльності буде здебільшого відсутній стік р. В.Куяльник, а ,отже, й інших річок і водотоків. Повторюваність випадків (у місяцях), коли її середній місячний (побутовий) стік буде відрізнятися від нуля становитиме 28,0% у кліматичний період 1990-2030 рр., 25,6% - у 2031-2070рр. та 20,5% у 2071-2098 рр.

18. З метою нормування водогосподарської діяльності був виконаний додатковий облік штучних водойм на водозборах річок Куяльницького лиману на основі застосування супутникових знімків Google Earth та Google Maps. На річці Великий Куяльник сумарний об'єм штучних водойм за даними Облводресурсів та експедиційних досліджень до 2012 р. становив 15,6млн. м³, а за уточненими даними - 15,89млн.м³. На окремих притоках р. В. Куяльник коректування об'ємів штучних водойм суттєво вплинуло на оцінки наслідків їх дії.

Отримані за моделлю “клімат-стік” результати розрахунків природного та побутового стоку за різними кліматичними сценаріями дозволили установити, що у XXI сторіччі збільшення стоку річок водозбору Куяльницького лиману за рахунок кліматичних умов не відбудеться, оскільки посушливість клімату буде зростати. Через зменшення водності річок наслідки створення штучних водойм посиляться, що призведе до незворотного руйнування (зменшення стоку перевищуватиме 70% наприкінці сторіччя) водних ресурсів річок. Для збереження водних ресурсів річок Куяльницького лиману допустимі об'єми заповнення штучних водойм мають не перевищувати 10% від установленого за розрахунками природного (непорушеного господарською діяльністю) середнього багаторічного річного стоку річок. Приплив води від р.В.Куяльник до лиману за рахунок розчищення русла річки від штучних водойм буде становити 12-13 млн.м³.

Виходячи із того, що повне знищення штучних водойм неможливе, рекомендується призначати допустимий об'єм наповнення ставків, який має становити не більше 10% від прогнозованого середнього багаторічного об'єму природних вод за обраний розрахунковий період.

19. З метою оцінки наслідків змін стоку р.В.Куяльник на водний, сольовий баланс Куяльницького лиману та для прогнозів змін його гідрофізичних характеристик, на базі стохастичного підходу були виконані оцінки середнього місячного побутового та природного стоку у межах кожного розрахункового кліматичного періоду в залежності від визначеної забезпеченості водності року та виділені характерні за водністю роки.

20. У зв'язку з необхідністю оцінки мінливості рівнів і мінералізації води та кількості солей в Куяльницькому лимані при різних варіантах функціонування трубопроводу «море-лиман» та відповідно до наукового обґрунтування рекомендацій з найбільш оптимального режиму експлуатації цієї гідротехнічної споруди, було виконано калібрування та верифікацію моделі водно-сольового балансу лиману з розрахунковим кроком один місяць, для чого використовувались архівні дані (у тому числі результати вимірювань, здійснених під час виконання даної науково-дослідної роботи) за період з 1986 по 2016 рр. Порівняння розрахункових (за моделлю водно-сольового балансу) та фактичних (за даними вимірювань) значень рівнів і мінералізації води в лимані, виконаних за умов відсутності надходження морських вод (1987 р.) та функціонування трубопроводу «море-лиман» (2015-2016 рр.), показало їх задовільну збіжність, а середні відносні відхилення розрахованих середньомісячних значень від виміряних не перевищували: $\pm 4\%$ – для рівнів води, $\pm 17\%$ – для мінералізації води.

21. Розроблену модель водно-сольового балансу Куяльницького лиману було використано для імітаційного математичного моделювання режимів рівнів і мінералізації води лиману за фактичними гідрометеорологічними даними минулих років в період з грудня 1992 р. по листопад 2015 р., за умови надходження до лиману морської води з Одеської затоки через трубопровід «море-лиман» з витратою $1 \text{ м}^3/\text{с}$. Саме у жовтні-грудні 1992 р. мінералізація води у лимані перевищила граничне значення 200 г/дм^3 , при якому деякі розчинені солі кристалізуються та випадають в осад на дно лиману, що супроводжується загибеллю більшості водних організмів та припиненням процесу формування пелоїдів в лимані.

22. З порівняння середньомісячних значень рівнів і мінералізації води та кількості солей в Куяльницькому лимані, отриманих при імітаційному моделюванні для різних варіантів подачі морської води з Одеської затоки через трубопровід «море-лиман» за архівними даними 1992-2015 рр., встановлено, що найбільш оптимальним з розглянутих є варіант, згідно з

яким за період з грудня 1992 р. по листопад 2015 р. поповнення лиману морською водою мало б відбуватися щорічно в періоди з температурою морської води в Одеській затоці $\leq 8^{\circ}\text{C}$. Крім того, в цьому варіанті враховано, що морська вода подається в лиман до того моменту, поки значення середньомісячної мінералізації води в лимані не зменшиться до 40 г/дм^3 (нижня межа мінералізації води для існування специфічних водних організмів лиману або так званої «бальнеологічної біоти»), а позначка рівня води в лимані перед початком водопілля менша за мінус 4,35 м БС (рівень, при якому після проходження водопілля або паводка забезпеченість $P=1\%$, а також при їх накладанні, не відбудеться затоплення розташованих на узбережжі лиману та території пересипу між лиманом і морем населених пунктів, санаторно-курортних закладів, Об'їзної дороги та інших господарських об'єктів). Вибір такого варіанту моделювання базується на певних критеріях оцінки ефективності функціонування лиману, а саме:

- мінералізація води в лимані вже з середини п'ятого циклу подачі морської води має бути меншою від гранично допустимого значення для повноцінного функціонування гідробіонтів лиману (200 г/дм^3);

- рівні води в лимані навіть у дуже багатоводний 2003 р. не перевищують максимально допустимої позначки (мінус 4,35 м БС);

- кількість солей в лимані за 23 роки за цим варіантом збільшилася б лише на 3,9 млн. т (або на 45% відносно початкової кількості солей в лимані – 8,6 млн. т). За описаним варіантом поповнення лиману морською водою з Одеської затоки трубопроводом «море-лимани» виконувалось моделювання рівнів і мінералізації води Куяльницького лиману у XXI ст. за період з 2015 по 2098 рр.

23. За результатами моделювання рівнів і мінералізації води на основі моделі водно-сольового балансу Куяльницького лиману за період з 2015 по 2098 рр. на базі спрогнозованих за даними кліматичних сценаріїв складових водного балансу лиману визначено наступне:

- середньомісячні рівні води в лимані, при відсутності припливу морської води з Одеської затоки, в умовах природного стоку з басейну лиману будуть перевищувати рівні води в лимані в умовах побутового стоку в середньому на 0,41 м (в окремі місяці на 1,44 м);

- в умовах природного стоку середнє багаторічне значення рівнів води в лимані дорівнюватиме мінус 5,41 м БС (найбільше – мінус 3,26 м БС), а в умовах побутового стоку – мінус 5,82 м БС (найбільше – мінус 4,51 м БС);

- середньомісячні значення мінералізації води в лимані, при відсутності припливу морської води з Одеської затоки та в умовах побутового стоку з басейну водойми, будуть на $4\text{--}129 \text{ г/дм}^3$ (в середньому на $52,19 \text{ г/дм}^3$) вищі ніж в умовах природного стоку;

- найбільше середньомісячне значення мінералізації води в лимані буде становити в умовах побутового стоку майже 425 г/дм^3 , а найменше – в умовах природного стоку (лише 51 г/дм^3).

24. З урахуванням того, що в умовах як побутового стоку з басейну лиману, так і в умовах природного стоку, рівні води в лимані у маловодні періоди (наприклад, 2018-2020, 2031-2034 рр. й інші) будуть нижчими за позначку НПР (мінус 5,5 м БС), а мінералізація води буде вище гранично допустимого значення (200 г/дм^3), зроблено висновок про необхідність поповнення об'єму лиману морською водою з Одеської затоки згідно з обраним варіантом роботи трубопроводу.

На основі порівняння значень рівнів і мінералізації води в лимані за період з 2015 по 2098 рр., розрахованих для умов, коли трубопровід працює і коли не працює, встановлено, що в умовах побутового стоку та при роботі трубопроводу «море-лиман» середньомісячні рівні води у лимані в середньому майже на 0,8 м перевищуватимуть їх значення, визначені за умов відсутності припливу морської води, а мінералізація води в лимані – зменшиться в середньому на $52,4 \text{ г/дм}^3$. Крім того, визначено, що в умовах природного стоку з басейну лиману та при роботі трубопроводу «море-лиман», середньомісячні рівні води в лимані будуть вищими ніж в умовах побутового стоку (в середньому на 0,5 м, в окремі місяці – на 1,3 м), а мінералізація води стане зменшиться (в середньому на 40 г/дм^3 , в окремі місяці – майже на 100 г/дм^3).

25. Рекомендується для управління в майбутньому режимами рівнів і мінералізації води в Куяльницькому лимані та гідроекологічним режимом водойми в цілому, як в умовах побутового стоку з басейну лиману, так і в умовах природного стоку, включити до плану водного менеджменту водойми періодичне поповнення лиману морською водою з Одеської затоки трубопроводом «море-лиман».

26. За результатами розрахунків з використанням нестационарної тривимірної гідротермодинамічної моделі Delft3D-FLOW отримані оцінки змін внутрішньорічної просторово-часової мінливості гідрологічних характеристик лиману, зокрема, відміток рівня, температури та солоності води в лимані, інтенсивності випаровування з водної поверхні лиману за різних умов поповнення його морськими водами з Одеської затоки та прісною водою р.В.Куяльник. Встановлено, що:

- без поповнення Куяльницького лиману морською водою протягом січня-квітня 2015 р., рівень води в ньому був би на 0,2 м нижчим за той, що спостерігався; максимальні значення солоності води в південній частині лиману підвищились би на 100 ‰ (вище 400 ‰), а в північній – на 150 ‰ (до 450 ‰), порівняно зі спостереженими у 2015 р.;

- у разі подачі морської води в лиман протягом всього 2015 р., рівень води в ньому був би наприкінці розрахункового року на 0,4-0,5 м вищим за той, що спостерігався; солоність води в південній та північній частинах основного ложа лиману протягом року не перевищувала би 200 ‰ і знизилася би у другому півріччі на 100-140 ‰ порівняно зі спостереженою у 2015 р.;

- провадження водного менеджменту на водозборі річки Великий Куяльник, реалізація різних інженерно-технічних заходів спрямованих на збільшення стоку річки в Куяльницький лиман будуть суттєво впливати на його гідроекологічний режим лише у разі забезпечення надходження до лиману не менш 75% від обсягів природного стоку річки;

- за гідрометеорологічних умов 2015 р., збільшення стоку річки В.Куяльник до 75% від обсягів її природного стоку призвело б до підвищення рівня води в лимані на 0,08-0,1 м, зменшення середньорічних значень солоності води: на 21‰ – в південній частині (точка 1) і 24-28 ‰ – в центральній і північній частинах, порівняно з фактично спостереженими у 2015 р. значеннями;

- збільшення природного стоку річки Великий Куяльник не здатне самотійно забезпечити стабілізацію гідроекологічного режиму Куяльницького лиману без періодичного поповнення його морською водою Одеської затоки та здійснення заходів щодо стабілізації та збільшення надходження вод від інших водотоків, які впадають в лиман: малих річок Довбока, Кубанка, балок Гільдендорфська та Корсунцівська;

- за відсутності поповнення лиману морськими водами та стоком інших малих водотоків, які впадають лиман, збільшення стоку р.В.Куяльник навіть до 75% від обсягів природного стоку здатне забезпечити стабілізацію річного циклу мінливості рівня та солоності води в лимані лише в багатоводні роки;

- в багатоводні роки температура води в лимані завжди нижча, ніж в середньоводні та маловодні; води мілководної північної ділянки лиману завжди прогріваються сильніше, ніж на більш глибоких ділянках лиману; збільшення стоку р.В.Куяльник впливає на температурний режим лиману, хоча і незначно;

- збільшення надходження до лиману прісного стоку р. В.Куяльник сприяє зменшенню інтенсивності випаровування в північній частині лиману протягом квітня-липня і, навпаки, збільшенню випаровування у серпні-жовтні.27. Результатом проведених досліджень стали рекомендації щодо створення плану управління водним режимом та гідроекологічним станом Куяльницького лиману до 2030 р.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Степаненко С.Н. Причины обмеления Куяльницкого лимана и пути его спасения / Одес. держ. екол. ун-т. Одеса: Экология, 2013. 35 с.
2. Шихалеева Г.Н., Будняк А.К., Кирюшкина А.Н. К вопросу о биологической активности донных отложений Куяльницкого лимана: матеріали Всеукр. науч.-практ. конф. «Природно-ресурсный потенциал Куяльницкого и Хаджибейского лиманов, территории межлиманья: современное состояние, перспективы развития», 18-20 лист. 2015, Одеса / Одес. держ. екол. ун-т. Одеса: ТЭС, 2015. С.134-137.
3. Оцінка впливу кліматичних змін на галузі економіки України: моногр. / під ред. С.М. Степаненко, А.М. Польового. Одес. держ. екол. ун-т. Одеса: Екологія, 2011. 605 с.
4. Лобода Н.С., Сербова З.Ф., Божок Ю.В. Вплив змін клімату на водні ресурси України у сучасних та майбутніх умовах (за сценарієм глобального потепління A1B) // Український гідрометеорологічний журнал / головн. ред. д. фіз.-мат. н. С.М. Степаненко. Одес. держ. екол. ун-т. Одеса: ТЕС, 2014. №15. С. 149-159.
5. Кліматичні зміни та їх вплив на сфери економіки України: моногр. / С. М. Степаненко, А. М. Польовий, Н. С. Лобода; ред.: С. М. Степаненко, А. М. Польовий ; М-во освіти і науки, Одес. держ. екол. ун-т. Одеса: ТЕС, 2015. 520 с.
6. Оценка состояния трансграничных вод в регионе ЕЭК ООН: оценка трансграничных рек, озер и подземных вод в Восточной и Северной Европе. VI. Изменение климата и его воздействия на водные ресурсы // Экономический и Социальный Совет ООН. Европ. Экон. Комис. ООН. Женева, 2011. 24 с.
7. Лобода Н.С., Гриб О.Н., Гопченко Е.Д., Килимник А.Н., Тучковенко Ю.С., Белов В.В. Современное состояние и рекомендации по реабилитации водной экосистемы Куяльницкого лимана на основе интегрированного управления природопользованием в его бассейне: материалы третьей междунауч. конф. “Современные проблемы гидроэкологии, перспективы, пути и методы решений”, 17-19 мая 2012, Херсон / Херсонс. гидробиол. станция НАН Украины. Херсон ПП Вишемирский В.С., 2012. С.354-357.
8. Регіональна програма збереження та відновлення водних ресурсів у басейні Куяльницького лиману на 2012-2016 роки: рішення Одеської

обласної ради від 28 жовтня 2011 року № 270-УІ.
URL: <http://oblrada.odessa.gov.ua>. (дата звернення: 19.12.2014).

9. Гребінь В.В. Сучасний водний режим річок України (ландшафтно-гідрологічний аналіз): моногр. Київ: Ніка-центр, 2010. 316 с.

10. Loboda N., Bozhok Y. Impact of Climate Change on Water Resources of North-Western Black Sea Region // International Journal of Research In Earth and Environmental Sciences / Islamabad: K.A.J Printing Islamabad, Pakistan, 2015. Vol 02. No. 9. P. 1-6.

11. Directory of Azov-Black Sea coastal wetlands: revised and updated / Ed. by G. Marushevsky. Kyiv: Wetlands International, 2003. 235 pp.

12. Зайцев Ю.П., Александров Б.Г., Демченко В.А., Адобовский В.В., Дятлов С.Е., Соколов Е.В. Решение проблемы борьбы с опустыниванием на примере Куяльницкого лимана и других приморских водоемов Украины: матеріали Всеукр. науч.-практ. конф. «Природно-ресурсный потенциал Куяльницкого и Хаджибейского лиманов, территории межлиманья: современное состояние, перспективы развития», 18-20 лист. 2015, Одеса / Одес. держ. екол. ун-т. Одеса: ТЭС, 2015. С.146-150.

13. Лобода Н.С., Божок Ю.В. Шляхи визначення можливої гідрологічної посухи за метеорологічними даними в умовах змін клімату для річок північно-західного Причорномор'я // Геополітика та екогеодинаміка регіонів: наук. журнал. Тавр. национ. ун-т ім. В.І.Вернадського. м.Сімферополь, 2014р. Т.10. Вип.1. С. 281-289.

14. Гоголев И.Н., Биланчин Я.М. Использование земельных ресурсов. Лиманно-устьевые комплексы Причерноморья: географические основы хозяйственного освоения / под ред. Г.И. Швевса. Ленинград: Наука, 1988. С. 87-94.

15. Биланчин Я.М., Буяновский А.А., Жанталай П.И., Тортик Н.И., Шихалеева Г.Н., Адобовская М.В., Гошуренко Л.М., Кирюшкина А.Н., Кузьмина И.С., Задорожний И.В., Решетов В.В. Современное состояние почв и почвенного покрова побережья Куяльницкого лимана, территорий Куяльницко-Хаджибейской пересыпи и межлиманья: матеріали Всеукр. науч.-практ. конф. «Природно-ресурсный потенциал Куяльницкого и Хаджибейского лиманов, территории межлиманья: современное состояние, перспективы развития», 18-20 лист. 2015, Одеса / Одес. держ. екол. ун-т. Одеса: ТЭС, 2015. С.17-19.

16. Эннан А.А., Шихалеева Г.Н., Кирюшкина А.Н. Экологическое состояние Куяльницкого лимана: матеріали Всеукр. науч.-практ. «Природно-ресурсный потенциал Куяльницкого и Хаджибейского лиманов, территории межлиманья: современное состояние, перспективы развития», 18-20 лист. 2015, Одеса / Одес. держ. екол. ун-т. Одеса: ТЭС, 2015. С.143-145.

17. Эннан А.А., Шихалеева Г.Н., Адобовский В.В., Герасимюк В.П., Шихалеев И.И., Кирюшкина А.Н. Деградация водной экосистемы Куяльницкого лимана и пути ее восстановления // Причорноморський екологічний бюлетень / за ред. В.О. Примака. Одес. інновац.-інформ. центр "ІНВАЦ". Одеса, 2012. Вип. 1 (43). С.75-85.

18. Эннан А.А., Шихалеев И.И., Шихалеева Г.Н., Адобовский В.В., Кирюшкина А.Н. Причины и последствия деградации Куяльницкого лимана (Северо-Западное Причерноморье, Украина) // Вісн. Одеськ. нац. ун-ту. Хімія. 2014. Т.19. Вип. 3 (51). С. 60-69.

19. Журнал записи ежедневной информации ГП-25 (лиман Куяльницкий-Одесса, лиман Хаджибейский-Усатово, 01.01.1989-15.12.2015 гг.). Одесса: ГМЦ ЧАМ, 1989-2015.

20. Таблица прибрежных гидрометеорологических наблюдений ТГМ-1 (с 01.01.1980 г. по 31.12.2012 г.). Пост Южный (код поста: 98091). Одесса: ГМЦ ЧАМ, 1980-2012.

21. Таблиці метеорологічних даних (середньодобова температура повітря, добова сума атмосферних опадів, середньодобова пружність водяної пари, середньодобові напрямки і швидкість вітру) по метеостанціям «Южне», «Сербка» та «Одеса» за період з січня 1976 по грудень 2011 рр. Київ: ЦГО, 2013.

22. Архів погоди в Одесі (01.02.2005-22.12.2015). Метеостанція № 33837 (WMO ID). URL: <http://rp5.ua>. (Дата звернення 25.12.2015).

23. Архів погоди в Одесі (аеропорт), METAR (26.09.2012-22.12.2015). Аеропорт (ICAO) UKOO. URL: <http://rp5.ua>. (Дата звернення 25.12.2015).

24. Архів погоди в Сербці (26.10.2005-10.12.2013). Метеостанція № 33833 (WMO ID). URL: <http://rp5.ua>. (Дата звернення 27.12.2015).

25. Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши, 1936-2011 гг. Ч. 1 и 2. Том 2. Вип. 1. 1938-2012.

26. Державний водний кадастр. Щорічні дані про якість поверхневих вод суші. 2009-2011 рр. Частина 1. Річки. Частина 2. Озера, водосховища, лиман. Україна. Випуск 1. Басейни Західного Бугу, Дунаю, Дністра, Південного Бугу / Центральна геофізична обсерваторія Держгідрометслужби України. Київ, 2010-2012. 447 с.

27. Програма державного моніторингу довкілля в частині здійснення Держводгоспом України контролю якості поверхневих вод, затверджена головою Державного комітету України по водному господарству, наказ № 111 від 14.06.2010 р.

28. Щоквартальні звіти по гідрохімічним спостереженням річки Великий Куяльник (електронна форма) за період з 2000 по 2012 рр. Одеса: ОГГМЕ, 2000-2012.

29. Отчёты о работе гидрогеологической режимно-эксплуатационной станции за 1953, 1959-1972, 1974, 1975, 1977-1984, 1986-1988, 1991-1996, 1954, 1960-1973, 1975, 1976, 1978-1985, 1987-1989, 1992-1997 годы. Одесса.

30. Журналы режимных гидрогеологических наблюдений по скважинам № 6, 8, 10 (неогеновый верхнесарматский водоносный горизонт) и 15, 16 (палеогеновый водоносный горизонт) Куяльницкого месторождения за 1995-2012 гг. Одесса: Гидрогеологическая служба ДП «Клинический санаторий им. Пирогова» ЗАО «Укрпрофздравница» (курорт «Куяльник»), 1995-2012.

31. Програма робіт по гідрогеологічним спостереженням на Куяльницькому лимані на 2015 рік / затверджена заступником голови Правління – начальником управління організації медичного забезпечення ПрАТ «Укрпрофоздоровниця» у 2015 р. Одеса, 2015. 12 с.

32. Регіональна програма розвитку водного господарства Одеської області на період до 2021 року, затверджена рішенням Одеської обласної ради № 882-VI від 18 вересня 2013 року.

33. Комплексна програма охорони довкілля, раціонального використання природних ресурсів та забезпечення екологічної безпеки в Одеській області на 2014-2019 роки, затверджена рішенням Одеської обласної ради № 1021-VI від 21 лютого 2014 року.

34. Програма моніторингу стану Куяльницького лиману у 2015 році, затверджена наказом директора Департаменту екології та природних ресурсів Одеської обласної державної адміністрації № 17 від 25.02.2015 р.

35. Природно-ресурсний потенціал Куяльницького та Хаджибейського лиманів, території міжлимання: сучасний стан, перспективи розвитку: матеріали Всеукр. науч.-практ. конф., 18-20 лист. 2015, Одеса / Одес. держ. екол. ун-т. Одеса: ТЭС, 2015, 152 с.

36. Адобовский В.В. Регулируемый водообмен лиманов с морем и возникающие при этом проблемы: матеріали Всеукр. науч.-практ. конф. «Природно-ресурсный потенциал Куяльницкого и Хаджибейского лиманов, территории межлимання: современное состояние, перспективы развития», 18-20 лист. 2015, Одеса / Одес. держ. екол. ун-т. Одеса: ТЭС, 2015. С. 8-10.

37. Черкез Е.А., Кадурын В.Н., Чепижко А.В., Мединец С.В., Светличный С.В. Особенности минералогии донных осадков Куяльницкого лимана после пополнения морской водой: матеріали Всеукр. науч.-практ. конф. «Природно-ресурсный потенциал Куяльницкого и Хаджибейского лиманов, территории межлимання: современное состояние, перспективы

развития», 18-20 лист. 2015, Одеса / Одес. держ. екол. ун-т. Одеса: ТЭС, 2015. 126-130.

38. Обоснование безопасности наполнения обмелевшего Куяльницкого лимана морской водой. Химические аспекты (заключительный): отчет по НИР. Фіз.-хім. ін-т ім. О.В. Богатського НАН України. Одеса, 44 С.

39. Актуальные проблемы лиманов северо-западного Причерноморья: моногр. / за ред. Ю.С.Тучковенко, Є.Д. Гопченко. Одес. держ. еколог. ун-т. Одеса: ТЭС, 2012. 224 с.

40. Tuchkovenko Y., Loboda N., Khokhlov V. The physio-geographical background and ecology of Tyligulskyi Liman Lagoon. In: Lillebø, Stålnacke and Gooch (Eds), Coastal Lagoons in Europe: Integrated Water Resource Strategies. ISBN: 9781780406282. London: IWA Publishing. 2015. P.77-86.

41. Водні ресурси та гідроекологічний стан Тилігульського лиману: Монографія / за ред. Ю.С. Тучковенко, Н.С. Лободи. Одес. держ. еколог. ун-т. Одеса: ТЕС, 2014. 278 с.

42. Гопченко Е.Д., Лобода Н.С. Водные ресурсы северо-западного Причерноморья (в естественных и нарушенных хозяйственной деятельностью условиях) / Київ: КНТ, 2005. 188 с.

43. Лобода Н.С. Расчеты и обобщения характеристик годового стока рек Украины в условиях антропогенного влияния: моногр. / Одес. держ. еколог. ун-т. Одеса: Екологія, 2005. 208 с.

44. Гопченко Е.Д., Романчук М.Е. Нормирование характеристик максимального стока весеннего половодья на реках Причерноморской низменности / Київ: КНТ, 2005. 148 с.

45. Deltares, 2014. Delft3D-FLOW, вихідний код // Співка користувачів відкритого програмного забезпечення Delft3D. URL: <http://oss.deltares.nl/web/delft3d/> (дата звернення: 1.12.2014).

46. Deltares, 2013. Delft3D-FLOW Simulation of multi-dimensional hydrodynamic flows and transport phenomena, including sediments / User Manual, version 3.15. Deltares systems, Delft, the Netherlands, 2014. 702 p.

47. Богатова Ю.И. Гидрохимический режим Куяльницкого лимана в современный период // Вісник Одеського державного екологічного університету. 2015. Вип. 19. С. 61-68.

48. Національний атлас України. Київ: ДНВП «Картографія», 2007. 440 с.

49. Коротун І.М., Коротун Л.К., Коротун С.І. Природні ресурси України: навч. посібн. для студ. еколог. спеціальн. вищ. навч. заклад. Рівненськ. держ. техн. ун-т. Рівне, 2000. 192 с.

50. Природа Одесской области: Ресурсы, их рациональное использование и охрана. / под ред. Швебса Г.И., Амброза Ю.А. Киев: Вища школа, 1979. 144с.
51. Розенгурт М.Ш. Гидрология и перспективы реконструкции природных ресурсов Одесских лиманов. Київ: Наукова думка, 1974. 225 с.
52. Актуальні проблеми лиманів північно-західного Причорномор'я: моногр. / За ред. Ю.С. Тучковенко, Є.Д. Гопченка. Одеса: ТЕС, 2012. 224 с.
53. Астахова Т.В., Горак С.В., Краева Е.Я. Геология шельфа УССР. Лиманы: моногр. / под ред. Ю.В. Тесленко. Киев: Наукова думка, 1984. 176 с.
54. Осмоловський-Ярошенко А.Р. Історія наших лиманів за теорією і спостереженнями // Зап. Од. наук. при ВУАН Тар. Одеса, 1929. Ч. 3. С. 39-74.
55. Лобода Н.С., Гопченко Е.Д., Тучковенко Ю.С., Гриб О.Н., Килимник А.Н., Белов В.В., Божок Ю.В. Современное гидроэкологическое состояние и проблемы управления водно-солевым режимом Хаджибейского лимана-водохранилища при разных условиях его функционирования / мат. IV Межд. науч.-прак. конф. «Современные проблемы водохранилищ и их водосборов», 28-30 мая, 2013, Пермь / Пермск. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь: Престайм, 2013. С.61-65.
56. Геоэкологический анализ ситуации и разработка схем мероприятий по улучшению водно-солевого режима Куяльницкого лимана: отчёт о НИР / Од. гос. ун-т им. И.И. Мечникова. науч. руков. Г.И. Швебс. Одесса, 1995. 190 с.
57. Швебс Г.И., Игошин М.И. Каталог річок і водойм України: Навчально-довідковий посібник / за ред. докт. геогр. наук Є.Д. Гопченка. Одесь. нац. ун-т ім. І.І. Мечникова. Одеса: Астропринт, 2003. 392 с.
58. Паспорт реки Большой Куяльник / Гос. комит. водн. хоз. Украины. Одесса, 1992. 130 с.
59. Атлас Одеської області: До 70-річчя заснування / О. Е. Орлова та ін. Одеса: Хорс, 2002. 80 с.
60. Одеський регіон: передумови формування, структура та територіальна організація господарства: навч. посібник / за заг. ред. О.Г.Топчієва. Одеса: Астропринт, 2012. 184 с.
61. Фізико-географічне районування Української РСР / під ред. В.П. Попова, О.М.Маринича, А.М.Ланько. Київ: Київський ун-т, 1968. 683 с.
62. Одеський регіон: природа, населення, господарство: навч. посібник / за заг. ред. О.Г.Топчієва. Одеса: Астропринт, 2003. 184 с.
63. Горун В.В. Оцінка рекреаційно-ресурсного потенціалу території Одеської області // Вісник Львівського національного університету імені Івана Франка. Серія: географія. Львів: ЛНУ, 2013. Вип. 43. Ч.1. С. 24–31.

64. Полетаєва Л.М. Рекреаційно-туристичний потенціал території Куяльницько-Хаджибейського міжлимання: матеріали Всеукр. науч.-практ. конф. «Природно-ресурсный потенциал Куяльницкого и Хаджибейского лиманов, территории межлимання: современное состояние, перспективы развития», 18-20 лист. 2015, Одеса / Одес. держ. екол. ун-т. Одеса: ТЭС, 2015. С.92-95.
65. Оцінка багаторічних змін складових водного балансу Куяльницького лиману для розробки рекомендацій по збереженню його природних ресурсів: з НДР (заключний) / Одес. держ. екол. ун-т; наук.керів. Є.Д. Гопченко. № держреєстрації 0110U008222, Одеса, 2009. 90 с.
66. Ресурсы поверхностных вод СССР. Украина и Молдавия. Крым: моногр. / под ред. М. Айзенберг; Глав. управ. гидрометеор. служ. при сов. мин. СССР. Ленинград: Гидрометеиздат, 1966. Т.6. вып.2. 347 с.
67. Бобров С.Н. К вопросу об испарении морской воды в зависимости от её солёности / Труды института океанологии АН СССР. Москва, 1960. Т. XXXVII. С.161-163.
68. Гопченко Є.Д., Гриб О.М. Оцінка складових водного балансу Куяльницького лиману та визначення причин сучасного обміління водойми // Метеорологія, кліматологія та гідрологія; Одес. держ. екол. ун-т. Одеса, 2010. Вип. 51. С. 200-215.
69. Руденко В.П. Географія природно-ресурсного потенціалу України: у 3 ч: підр. для студ. вищ. навч. закл. / Київ. М. Академія. Чернівці: Зелена Буковина., 1999. 568с.
70. Тютюнник Г. О. Теоретико-концептуальні основи охорони природних ресурсів Куяльницького та Хаджибейського лиманів: матеріали Всеукр. науч.-практ. конф. «Природно-ресурсный потенциал Куяльницкого и Хаджибейского лиманов, территории межлимання: современное состояние, перспективы развития», 18-20 лист. 2015, Одеса / Одес. держ. екол. ун-т. Одеса: ТЭС, 2015. С. 120-123.
71. Бунякова Ю.Я., Примаченко І.О. Актуальні проблеми функціонування та розвитку рекреаційного потенціалу Куяльницького лиману: матеріали Всеукр. науч.-практ. конф. «Природно-ресурсный потенциал Куяльницкого и Хаджибейского лиманов, территории межлимання: современное состояние, перспективы развития», 18-20 лист. 2015, Одеса / Одес. держ. екол. ун-т. Одеса: ТЭС, 2015. С.25-28.
72. Камзіст Ж.С., Шевченко О.Л. Гідрогеологія України: навч. посібник. Київ. Фірма “Інкос”, 2009. 612 с.
73. Баер Р.А., Зелинин И.В., Лютаев Б.В, Подражанский В.А. Мелиоративно-гидрогеологические условия западного Причерноморья СССР: моногр. Кишинёв: ШТИИИЦА, 1979. 183 с.

74. Оцінка можливого альтернативного наповнення Куяльницького лиману водами Чорного моря, річки Дністер й інших лиманів і водних об'єктів: звіт з НДР (заключний) / Одес. держ. екол. ун-т; наук.керів. Ю.С. Тучковенко. № держреєстрації 0112U007605, Одеса, 2012. 238 с.
75. Эксплуатационные запасы лечебно-столовых подземных вод «Куяльник» г. Одессы по состоянию на 01.01.1999 г. Отчёт в 3- книгах. Одесса, 1999.
76. Проведення гідроекологічної оцінки та розробка науково-обґрунтованих заходів щодо регулювання стоку та розчистки русел річок Довбока та Кубанка: звіт з НДР (заключний) / Одес. держ. екол. ун-т; наук.керів. Н.С. Лобода. № держреєстрації 0112U007607, Одеса, 2012. 205 с.
77. Чеботарев А.И. Гидрологический словарь. 3-е изд., перераб. и доп. Ленинград: Гидрометеиздат, 1978. 308с.
78. Лобода Н.С., Гриб О.М., Сіренко А.М. Оцінка припливу прісних вод до Куяльницького лиману // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія / за ред. докт. геогр. наук В.К. Хільчевського. Київ. нац. ун-т ім. Т.Шевченка. Київ, 2011. Т.1(22). С. 51-59.
79. Тимченко В.М. Экологическая гидрология водоемов Украины. Киев: Наукова думка, 2006. 384с.
80. Бефани А.Н. Пути генетического определения нормы стока. Научный ежегодник ОГУ. Одесса, 1957. 125 с.
81. Сорокин В.Г. Средний многолетний сток орошаемых районов юга Европейской территории Советского Союза / Метеорология, климатология и гидрология // Межвед. научн. сб. Одесса, 1974. Вып.10. С.121-129.
82. Адобовский В.В., Шихалеева Г.Н. Трансформация параметров руслового стока в бассейне Куяльницкого лимана: матеріали Всеукр. науч.-практ. конф. «Природно-ресурсный потенциал Куяльницкого и Хаджибейского лиманов, территории межлиманья: современное состояние, перспективы развития», 18-20 лист. 2015, Одеса / Одес. держ. екол. ун-т. Одеса: ТЭС, 2015. С. 11-13.
83. Закон України «Про курорти» від 5 жовтня 2000 року № 2026-III // ВВР України. 2000. № 50. С. 1026-1036.
84. Мусієнко М.М., Серебряков В.В., Брайон О.В. Екологія. Охорона природи: словник-довідник. Київ: Т-во «Знання», КОО, 2002. 550 с.
85. Нефедова Н.Є. Територіальна організація санаторно-курортного господарства Одеси: матеріали наук.-практ. конф. з міжнарод. участю «Регіон-2013: стратегія оптимального розвитку», 7-8 лист., 2013, Харків / ХНУ ім. В.Н. Каразіна. Харків, 2013. С. 317-319.

86. Обоснование создания природоохранной территории «Куяльник» (Justification for developing a protected area «Kuialnik»). Региональная программа ТАСИС Европейского Союза. Технический отчет, 2004. 70 с.

87. Доповідна записка щодо природних лікувальних ресурсів природної території Куяльницького лиману для обґрунтування необхідності оголошення її курортом державного значення «Куяльник» директора ДУ «Український науково-дослідний інститут медичної реабілітації та курортології МОЗ України», д. мед. н., проф. Бабова К.Д. директору Департаменту екології та природних ресурсів Одеської обласної державної адміністрації (лист № 931 від 04.12.2014 р.).

88. Антонович В.П., Андронати С.А. Результаты химико-аналитического изучения рапы и пелоидов Куяльницкого лимана в начальный период его заполнения морской водой: матеріали Всеукр. науч.-практ. конф. «Природно-ресурсный потенциал Куяльницкого и Хаджибейского лиманов, территории межлиманья: современное состояние, перспективы развития», 18-20 лист. 2015, Одеса / Одес. держ. екол. ун-т. Одеса: ТЭС, 2015. С. 14-16.

89. Золотов В.І., Поліщук Т.М. Проблеми та перспективи використання рекреаційного потенціалу Куяльницького лиману: матеріали Всеукр. науч.-практ. конф. «Природно-ресурсный потенциал Куяльницкого и Хаджибейского лиманов, территории межлиманья: современное состояние, перспективы развития», 18-20 лист. 2015, Одеса / Одес. держ. екол. ун-т. Одеса: ТЭС, 2015. С. 51-54.

90. Полякова І.В. Теоретико-методологічні основи екологізації управління територіями обмеженого статусу використання (на прикладі курортно-рекреаційної зони Куяльник) // Економічні інновації: зб. наук. праць Одеса, 2012. Вип. № 48. С. 185-191.

91. Полякова І.В., Дем'яненко С.Г. Екологізація управління територіями курорту Куяльник: матеріали Всеукр. науч.-практ. конф. «Природно-ресурсный потенциал Куяльницкого и Хаджибейского лиманов, территории межлиманья: современное состояние, перспективы развития», 18-20 лист. 2015, Одеса / Одес. держ. екол. ун-т. Одеса: ТЭС, 2015. С. 96-98.

92. Екомережа степової зони України: принципи створення, структура, елементи / ред. д-р біол. наук, проф. Д.В. Дубина, д-р біол. наук, проф. Я.І. Мовчан. Київ, 2013. 409 с.

93. Эннан А.А., Шихалеева Г.Н., Бабинец С.К., Кирюшкина А.Н. Экологическое состояние природной среды лиманно-морского курортного комплекса «Куяльник-Лузановка» и водной экосистемы Куяльницкого лимана // мат. науч.-практ. конф. «Мониторинг окружающей среды», 18-22

верес., 2006, Коктебель, АР Крим. Київ: НПЦ «Екологія, наука, техніка», 2006. С. 35-38.

94. Эннан А.А., Шихалеева Г.Н., Бабинец С.К., Чурсина О.Д. Экологическое состояние Куяльницкого лимана // мат. Всеукр. наук.-практ. конф. Одеса: Інноваційно-інформ. центр. 2009. С. 216-221.

95. Хлебович В. В. Физиология эвригалинности: критическая соленость внешней и внутренней среды // Вопросы гидробиологии. Москва: Наука, 1965. Т. I. С. 440-441.

96. Хлебович В. В. Критическая соленость биологических процессов. Ленинград: Наука, 1974. Т. 1. 230 с.

97. Khlebovich V. V. Aspects of animal evolution related to critical salinity and internal state // Marine Biol. 1969. Vol. 2. N. 4. P. 338-345.

98. Kinne O. Salinity - Animals - Invertebrates // Marine Ecology.- London: Wiley-Interscience. 1971. Vol. 1. Pt. 2. P. 821-995.

99. Зайцев Ю.П. Экотоны Черного моря // Экотоны в биосфере. Москва: РАСХН, 1997. С. 242-258.

100. Хлебович В.В., Аладин Н.В. Фактор солёности в жизни животных // Вестник РАН. 2010. Т. 80. № 5–6. С. 527-532.

101. Литвиненко Л.И. Жаброногие рачки рода *Artemia* Leach, 1819 в гипергалинных водоемах Западной Сибири: (география, биоразнообразие, экология, биология и практ. использование): Автореф. дис. ... доктора биол. наук: 03.00.16 / Пермский государственный университет. Пермь, 2009. 46 с.

102. Радченко Л.А. Влияние температуры и солености на развитие и выживаемость артемии в экспериментальных условиях: Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского АН УССР; поступила в редколлегия 22.12.1980 г. электрон. версія. URL: <http://10.0.0.194:8080/dspace/handle/99011/2383> (дата звернення: 12.10.2010).

103. Одесские лиманы: соляные промыслы: электрон. сайт «Одессика: Энциклопедия об Одессе». URL: <http://odessa.club.com.ua> (дата звернення: 17.11 2010 р.)

104. История одной плотины – как Куяльницкий лиман разделили на две части: электрон. вид. «LiveJournal» від 13.11.2012 р. URL: <http://kaiser-w.livejournal.com> (дата звернення: 09.12 2012 р.).

105. Спутникові знімки та карти поверхні Землі: электрон. версія. URL: <http://maps.google.com> (дата звернення: 24.07.2011 р.).

106. Куяльницкая плотина: скрытое стало явным: электрон. версія. URL: <http://davaupoedem.blogspot.com> (дата звернення: 09.12 2012 р.).

107. Санаторий Куяльник – история возникновения курорта: электрон. сайт «Санаторій Куяльник». URL: <http://www.kuyalnik.com.ua> (дата звернення: 04.09 2012 р.).

108. Муха Б.Б. О причинах обмеления рек и некоторых природных явлений на юге Украины по оценкам исследователей XIX-XX веков // Известия Музейного Фонда им. А.А. Браунера. 2011. Т. VIII. № 1. С. 19-26.
109. Шмаков Г. Одесские лиманы // Труды Одесского статистического комитета. Одесса, 1867. Вып. II. С. 61.
110. Правила експлуатації гідротехнічної споруди зі з'єднання Куяльницького лиману та Одеської затоки. Одеса: Укрпівдендінпроводгосп, 2015. 36 с.
111. Стан гідрографічної мережі річки Великий Куяльник в умовах водогосподарських перетворень на її водозбірному басейні: звіт з НДР (заключний) / Одес. держ. екол. ун-т; наук.керів. Є.Д. Гопченко. № держреєстрації № 0110U008222, Одеса, 2011. 165 с.
112. Васильев А.С. Исследования Куяльницкого лимана // Записки Новорос. общ. естествоиспытателей. Екатеринбург, 1898. Т. XXII. Вып. 2. С. 1609.
113. Колодєєв Є.І. Визначення максимальних витрат води з допомогою позначок рівнів високих вод: метод. вказ. для студ. вищ. навч. закладів. Одеса: ОДЕКУ, 2007. 31 с.
114. Грязелечебница санатория Куяльник – история создания: електрон. сайт «Санаторій Куяльник». URL: <http://www.kuyalnik.com.ua> (дата звернення: 02.10. 2012 р.).
115. Бицилли М.В. Годовой сток бассейна Куяльницкого лимана // Труды Одесского гидромет. ин-та. Одесса, 1958. Т. XII. С. 235-243.
116. Бурксер Є.С. Солоні озера та лимани України (гідрохімічний нарис) – Le lacs et les liman sales de l'Ukraine (un apescu hudrochinique) // Труды фіз.-мат. відділу Всеукр. Акад. наук. Київ, 1928. Т. 8. Вип. 1. 341 с.
117. Вельможко А. Куяльник: Мертвое море Одессы может превратиться в соляную пустыню: електрон. версія. URL: <http://realityinua.com> (дата звернення: 26.11.2012 р.).
118. Водний режим та гідроекологічні характеристики Куяльницького лиману: моногр. / За ред. Лободи Н.С., Гопченка Є.Д. Одес. держ. еколог. ун-т. Одеса: ТЕС, 2016. 332 с.
119. Справочник по гидрохимии / под ред. д. геол.-мінер. н. А.М. Никанорова. Ленинград: Гидрометеиздат, 1988 391с.
120. Эннан А.А., Шихалеева Г.Н., Бабинец С.К., Мариняко Л.А., Чурсіна О.Д., Сизо А.В., Гордеева Л.В. Особенности ионно-солевого состава воды Куяльницкого лимана // Вісн. Одес. нац. ун-ту ім. І.І. Мечнікова. 2006. Т. 11. Вип. 2. С. 67-74.
121. Шихалеева Г.Н., Редько Т.Д., Бабинец С.К., Каребин А.В., Гордеева Л.В. Изучение динамики содержания биогенных компонентов в

акватории Куяльницького лимана// Метеорологія, кліматологія та гідрологія / Одес. держ. еколог. ун-т. Одеса, 2004. № 48. С. 313-321.

122. Адобовский В.В., Богатова Ю.И., Большаков В.Н. и др. Куяльницкий лиман // В кн. Северо-западная часть Черного моря: Биология и экология / под ред. Ю.П.Зайцева, Б.Г.Александрова, Г.Г. Миничевой. Киев: Наукова думка. 2006. С. 407-411.

123. Воскобойников В.М., Конигов Е.Г. Гидрогеохимия поверхностных вод лиманов. Гидрохимия поровых вод донных отложений Причерноморских лиманов // Геология шельфа СССР. Киев: Наукова думка, 1984. С. 81-95.

124. Адобовский В.В., Шихалеева Г.Н., Шурова Н.М. Современное состояние и экологические проблемы Куяльницького лимана // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. Севастополь, 2002. Вып. 1, №6. С. 71-81.

125. Шихалеева Г.Н., Эннан А.А., Бабинец С.К., Чурсина О.Д. Миграция и аккумуляция свинца в водной экосистеме Куяльницького лимана // Вісн. Одес. нац. ун-ту ім. І.І. Мечнікова. 2009. Т. 14. Вып. 11. С. 79-88.

126. Андрианова О.Р., Белевич Р.Р., Скипа М.И. Об особенностях изменчивости основных характеристик Одессы в XX столетии // Морской гидрофизический журнал. 2005. № 5. С. 19-29.

127. Оцінка можливих змін гідроекологічного режиму Куяльницького лиману під впливом глобальних кліматичних змін: звіт з НДР (заключний) / Одес. держ. екол. ун-т; наук.керів. Н.С. Лобода. № Держреєстрації 0112U007607. Одеса, 2012. 147 с.

128. Осадчий В.І., Набиванець Б.Й., Осадча Н.П., Набиванець Ю.Б. Гідрохімічний довідник. Поверхневі води України. Гідрохімічні розрахунки. Методи аналізу / Укр.наук.-дослід. гідрометеорол. ін-т. Київ: Ніка-Центр, 2008, 656 с.

129. Гриб О. М., Гриб К. О. Характеристика хімічного складу атмосферних опадів в районі Куяльницького лиману (м. Одеса) / Екологічні проблеми природокористування та охорона навколишнього середовища: Зб. наук. пр. Другої Всеукр. наук.-практ. конф. за міжнар. уч., 21-23 жовт., 2015, Рівне / Рівненський держ. гуманітарний ун-т; за ред. проф. Д.Л. Лико та ін. Рівне: РДГУ, 2015. С.38-39.

130. Горев Л.Н., Пелешенко В.И., Кирничный В.В. Методика оптимизации природной среды обитания: моногр. Київ: Либідь, 1992. 528 с.

131. Горев Л.М., Пелешенко В.І., Хільчевський В.К. Гідрохімія України: підруч. для вищ. навч. закл. з гідролог., гідрохіміч. та гідроекол. проф. фах. / Київ. нац. ун-т ім. Т.Шевченка. Київ: Вища школа, 1995. 307 с.

132. Хільчевський В.К., Осадчий В.І., Курило С.М. Основи гідрохімії: Підручник. Київ. нац. ун-т ім. Т.Шевченка, Україн. наук.-дослід. гідрометеорол. ін-т МНС України та НАН України. Київ: Ніка-Центр, 2012. 312 с.
133. Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями / В. Д. Романенко та ін.; за ред. докт. екон. наук В.Я. Шевчука. Київ: Символ-Т, 1998. 28 с.
134. Емельянова В.П., Данилова Г.Н., Колесникова Т.Х. Оценка качества поверхностных вод суши по гидрохимическим показателям // Гидрохимические материалы. 1983. Т.LXXXVIII. С.119-129.
135. Лобода Н.С., Клименко І.В., Романова Є.О. Оцінка якості вод річки Великий Куяльник за гідрохімічними показниками: матеріали Всеукр. науч.-практ. конф. «Природно-ресурсний потенціал Куяльницького и Хаджибейского лиманов, территории межлиманья: современное состояние, перспективы развития», 18-20 лист. 2015, Одеса. Одес. держ. екол. ун-т. Одеса: ТЭС, 2015. С. 71-74.
136. Державні санітарні норми та правила. «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною»: ДСанПіН 2.2.4-171-10. – [Чинний від 2010-05-12]. Київ, 2010. 36 с.
137. Джерела централізованого водопостачання. «Гігієнічні та екологічні вимоги щодо якості води і правила вибирання»: ДСТУ 4808:2007. – [Чинний від 2007-07-05]. Держспоживстандарт України. Київ, 2007. 36 с.
138. Воскресенский К.П. Норма и изменчивость годового стока рек СССР. Ленинград: Гидрометеиздат, 1967. 546 с.
139. Гопченко Е.Д., Гушля А.В. Гидрология с основами мелиорации: учеб. для вузов по спец. "Метеорология". Ленинград: Гидрометеиздат, 1988. 303 с.
140. Будыко М.И. Тепловой баланс земной поверхности: моногр. Ленинград: Гидрометеиздат, 1956. 255 с.
141. Гопченко Є.Д., Лобода Н.С., Овчарук В.А. Гідрологічні розрахунки: підручник. Одеса: ТЕС, 2014. 484с.
142. Лобода Н.С. Закономірності коливань річного стоку річок України при змінах клімату на початку ХХІ сторіччя // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія / за ред. докт. геогр. наук В.К. Хільчевського. Київ. нац. ун-т ім. Т.Шевченка. Київ: Обрії. 2010. Т.18. С. 62-70 .
143. Гребінь В.В. Регіональний ландшафтно-гідрологічний аналіз сучасного водного режиму річок України: Дис...доктора геогр.наук. 11.00.07 / Київський національний університет імені Тараса Шевченка. Київ. 2010. 440с.

144. Даус М.Є., Лобода Н.С. Основні тенденції змін кліматичних чинників у межах водозбору Куяльницького лиману // Український гідрометеорологічний журнал / головн. ред. д.фіз.-мат.н. С.М. Степаненко. Одес. держ. еколог. ун-т. Одеса, 2015. №16. С. 149-155.
145. McKee T.B. The relationship of drought frequency and duration to time scales / T.B. McKee, N.J. Doesken, J. Kleist // Proceedings of Eighth Conference on Applied Climatology. Anaheim (USA). 1993. P. 179–184.
146. Vicente-Serrano Sergio M. A Multiscalar Drought Index Sensitive to Global Warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index / Sergio M. Vicente-Serrano, Santiago Begueri´A, Juan I. Lo´Pez-Moreno // Journal of climate. 2010. P. 1698-1718.
147. Разии Т., Сагафьян Б., Шокухи А. Мониторинг засухи с использованием показателя SPI в провинции Ядз, Иран // Публикации Тренингового центра МКВК. Ташкент, 2005. Вып.12. С. 27-37.
148. Лобода Н.С., Божок Ю.В. Влияние засушливости климата на минимальный сток рек (на примере реки Тилигул) // Сборник трудов Северо-Кавказского института по проектированию водохозяйственного и мелиоративного строительства. Пятигорск: ОАО «Севкавгипроводхоз», 2014. Випуск 20. С. 163-172.
149. Вишневський В.І., Косовець О.О. Гідрологічні характеристики річок України / Держ. гідрометеорол. служба. Київ: Ніка-Центр, 2003. С. 136-137.
150. Шерешевский А.И., Вишневский П.Ф. Норма и изменчивость годового стока рек Украины / міжнарод наук. період. вид. «Гидробиологический журнал», відпов. ред. В.Д. Романенко. Інститут гідробіології НАН України. Київ, 1997. Т.3. С. 81- 91.
151. Справочник по водным ресурсам / под ред. Б.И. Стрельца. Киев: Урожай, 1987. С. 102-103.
152. Гопченко Е.Д., Романчук М.Е. Нормирование характеристик максимального стока весеннего половодья на реках Причерноморской низменности: монография. К.: КНТ, 2005. 149 с.
153. Гопченко Є.Д., Овчарук В.А., Кічук Н.С., Романчук М.Є. Удосконалення нормативної бази для визначення розрахункових характеристик максимального стоку річок у межах Причорноморської низовини // Український гідрометеорологічний журнал / головн. ред. д. фіз.-мат. н. С.М. Степаненко. Одес. держ. еколог. ун-т. Одеса. 2014. Вип. 14. С. 193-203.
154. Лобода Н.С. Проблемы гидрологических расчетов в условиях антропогенного воздействия и модель "климат -сток"// Метеорологія,

кліматологія та гідрологія; Одес. держ. екол. ун-т. Одеса, 2007. Вип. 50. Част. друга. С. 4-19.

155. Гопченко Є.Д., Лобода Н.С. Оцінювання природних водних ресурсів України за методом водно-теплогового балансу // Наук. пр. укр. наук.-досл. гідромет. ін-ту. Київ, 2001. Вип.249. С.106-120.

156. Лобода Н.С. Системный подход и функции отклика гидрологической системы на антропогенные воздействия при математическом моделировании бытового стока // Метеорологія, кліматологія та гідрологія; Одес. держ. еколог. ун-т. Одеса, 2004. Вип. 48. С. 416–424.

157. ДБН України. Визначення розрахункових гідрологічних характеристик. ДБН В.2.4 / Держ. наук.-дослід.ін-т будів. конструкцій» (НДІБК). Київ, 2014. 137с.

158. Определение гидрологических характеристик для условий республики Молдова. СР D.01.05-2012. (Н.С. Лобода у співавторстві) / Ministerul Dezvoltării Regionale și Construcțiilor al Republicii Moldova. Chișinău, Молдова, 2012. 180с.

159. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик / под ред. А.В. Рождественского, А.Г. Лобанова. Ленинград: Гидрометеиздат, 1984. Ч. I. 447 с.

160. Ресурсы поверхностных вод СССР. Украина и Молдавия: моногр. / под ред. К. Михайловой; Глав. управ. гидрометеор. служ. при сов. мин. СССР. Ленинград: Гидрометеиздат, 1966. Т.6. вып.2. 884 с.

161. Шерешевський А.І., Синицька Л.К. Оцінка змін випаровування з водної поверхні території України // Наук. Праці Укр НДГМІ. 2000. Вип.248. С.67-76.

162. Лобода Н.С., Гопченко Е.Д. Нормування характеристик природного річного стоку України / Н.С. Лобода, Е.Д. Гопченко // Наук. пр. укр. наук.-досл. гідромет. ін-ту. Київ, 2003. Вип.252. С. 5-10.

163. Мезенцев В.С., Карнацевич И.В. Увлажненность Западно-Сибирской равнины. Ленинград: Гидрометеиздат, 1969. 75с.

164. Мезенцев В.С. Расчеты водного баланса: Учебное пособие. Омск. сель.-хоз. ин-т. Омск, 1976. 76 с.

165. Режимы влагообеспеченности и условия гидромелиораций степного края / под. ред. проф. В.С. Мезенцева. Москва: Колос, 1974. 240 с.

166. Гопченко Є., Лобода Н. Динаміко-стохастична модель стоку зрошуваних річок Північно-Західного Причорномор'я в умовах глобального потепління // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія / за ред. докт. геогр. наук В.К. Хільчевського. Київ. нац. ун-т ім. Т.Шевченка. Київ, 2000. С.154-158.

167. 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 ім. Володимира Гнатюка. Серія:біологія. Спеціальний випуск: гідроекологія / ред. М.М. Барна. Тернопіль, 2010. №3(44). С. 143-145.
168. Справочник по климату СССР. Украинская ССР / Глав. управ. гидрометеор. служ. при сов. мин. СССР. Ленинград: Гидрометеиздат, 1967. Вып.10.,ч.II. 607 с.
169. Справочник по климату СССР. Молдавская ССР / Глав. управ. гидрометеор. служ. при сов. мин. СССР. Ленинград: Гидрометеиздат, 1968. Вып.11.,ч.IV. 127 с.
170. Справочник по климату СССР. Украинская ССР / Глав. управ. гидрометеор. служ. при сов. мин. СССР. Ленинград: Гидрометеиздат, 1969. Вып.10.,ч.IV. 696 с.
171. Коваленко В.В. Динамические и стохастические модели гидрологического цикла. Ленингр. политех. ин-т. Ленинград: ЛПИ, 1988. 34 с.
172. Лобода Н.С. Формализм функций памяти и мультифрактальный подход в задачах моделирования годового стока рек и его изменения под влиянием факторов антропогенной деятельности // Метеорологія, кліматологія та гідрологія; Одес. держ. екол. ун-т. Одеса, 2002. Вип. 45. С.140-146.
173. Лобода Н.С., Гопченко Є.Д. Стохастичні моделі у гідрологічних розрахунках: навч. посібник для студ. вищих навч. закл. / Одес. держ. еколог. ун-т. Одеса: Екологія, 2006. 200 с.
174. Loboda N.S., Phan Van Chinnh. Statistical modelling and estimating the irrigation and man-made effect on annual runoff and water resources // GIS and Remote Sensing in Hydrology, Water Resources and Environment. (proceedings of ICGRHWE held Tree Gerges Dam). Chine, 2004. IAHS Publication 289 in the IAHS Series of Proceedings and Reports. P.215-218.
175. Болгов М.В., Сарманов И.О., Сарманов О.В. Марковские процессы в гидрологии. Москва: Институт водних проблем РАН, 2009. 210 с.
176. Loboda N.S., Gopchenko E.D. Stochastic model of long-term annual flow fluctuations under anthropogenic influences (in Ukraine)// Special Issue "Stochastic models of hydro-logical processes and their applications to problems of environmental preservation". ARW Series. 1998. Vol.1. P.110-118.
177. Лобода Н.С. Оцінка припливу прісних вод до північно-західної частини Чорного моря. Постановка проблеми та шляхи вирішення. //

Причорноморський екологічний бюлетень. / за ред. В.О. Примака. Одес. інновац.-інформ. центр "ІНВАЦ". Одеса, 2010. №2 (36). С.63-67.

178. Лобода Н.С. Оценка притока пресных вод в Тилигульский лиман (розділ колективної монографії під ред.Ю.С. Тучковенко, Е.Д. Гопченко) // Актуальные проблемы лиманов северо-западного Причерноморья. Одесса:ТЭС, 2012. С.140-148.

179. Лобода Н.С., Гопченко Є.Д. Водні ресурси України у зв'язку з кліматичними умовами // Україна: географічні проблеми сталого розвитку. Зб. наук. пр. Україн. географ. товариство, 2004. С.144-146.

180. Екологічний паспорт Одеської області за 2015 рік: Водні ресурси / Затверджено Т.в.о. Директора Департаменту екології та природних ресурсів Одеської ОДА І.М. Петрів. Одеса, 2016. С. 17-25.

181. П'яте національне повідомлення України з питань зміни клімату. Київ Мінприроди України, 2009. 282 с.

182. Васильченко В.В., Рапцун М.В., Трофімова І.В. Україна та глобальний парниковий ефект. Книга 2. Вразливість і адаптація екологічних та економічних систем до зміни клімату. Київ, 1998. С. 5-29.

183. IPCC, 2000. Special Report In Emissions Scenarios (SRES) / Nebojsa Nakicenovic and Rob Swart (Eds.) University Press. Cambridge, United Kingdom, 2000. 570 p.

184. IPCC, 2007. Climate Change 2007: The Physical Science Basis - Summary for Policymakers. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. University Press. Cambridge, United Kingdom, 2007. 996 p

185. Pfeifer S. Modeling cold cloud processes with the regional climate model REMO / PhD Thesis. Hamburg: University of Hamburg, 2006. 120 p.

186. Roeckner E., Arpe K., Bengtsson, L., Cristoph 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 // Max-Planck-Institute fur Meteorologie, Report. 1996. No.218

187. The Rossby centre regional climate model RCA3: Model description and performance / P. Samuelsson, C.G. Jones, U. Willén, A. Ullerstig, S. Gollvik and co-authors. // Tellus. Published by the International Meteorological Institute. Stockholm, 2011. 63A, P. 4-23.

188. Project Home RT0: Project Integration, management and promotion (John Mitchell: Co-ordinator, Paul van der Linden: Director): електрон.версія. URL: <http://ensemblesrt3.dmi.dk> (Дата звернення: 15.09.2012).

189. IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / Stocker, T.F., D. Qin, G.-K.

Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (Eds.). Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.

190. Степаненко С.М. Динаміка моделювання клімату: піручник для студентів ВНЗ / Одеськ. держ. еколог. ун-т. Одеса: Екологія, 2013. 204с.

191. Wörner V., Hesse C., Stefanova A., Krysanova V. Evaluation of climate scenarios for the lagoons. Potsdam: PIK, 2012. 40 p

192. Отченаш Н. Д. Обґрунтування вибору регіональної кліматичної моделі для аналізу кліматичних змін та водних ресурсів в межах водозбору Куяльницького лиману // Вісник Одеського державного екологічного університету. 2015. Вип. 19. С. 120-125.

193. Гопченко Е.Д. , Лобода Н.С. Оценка возможных изменений водных ресурсов Украины в условиях глобального потепления // Гидробиологический журнал. 2000. Т.36, №3. С. 67-78.

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

195. Лобода Н.С. Влияние изменений климата на водные ресурсы Украины (моделирование и прогнозы по данным климатических сценариев) // Глобальные и региональные изменения климата под ред. Шестопалова В.М., Логинова В.Ф.,Осадчего В.И. и др. Київ: Ніка-Центр, 2011. С. 340-352.

196. Лобода Н.С., Сербова З.Ф., Божок Ю.В. Вплив змін клімату на водні ресурси України у сучасних та майбутніх умовах (за сценарієм глобального потепління A1B // Український гідрометеорологічний журнал / головн. ред. д. фіз.-мат. н. С.М. Степаненко. Одес. держ. еколог. ун-т. Одеса: ТЕС, 2014. №15. С. 149-159.

197. Лобода Н.С., Сербова З.Ф., Божок Ю.В. Оцінка впливу змін клімату на водні ресурси України на основі моделі “клімат-стік” за сценарієм глобального потепління // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія / за ред. докт. геогр. наук В.К. Хільчевського. Київ. нац. ун-т ім. Т.Шевченка. Київ: ВГЛ «Обрії», 2015. Т.1(36). С. 32-40.

198. Лобода Н.С., Божок Ю.В. Водні ресурси України ХХІ сторіччя за сценаріями змін клімату (RCP8.5 та RCP4.5) // Український гідрометеорологічний журнал / головн. ред. д. фіз.-мат. н. С.М. Степаненко. Одес. держ. еколог. ун-т. Одеса: ТЕС, 2016. № 17. С. 114-122.

199. Снижко С., Куприков И., Шевченко О. Оценка изменения водного стока рек Украины на основе водно-балансовых моделей // Фізична географія та геоморфологія. 2012. Вип.2 (66). С. 157-161.

200. Сніжко С., Яцюк М., Купріков І., Шевченко О., Струтинська В. Зміна клімату і ресурси місцевого стоку в Україні у ХХІ столітті // Україна:

географія цілей та можливостей. Зб. наук.праць. Київ: ФОП «Лисенко М.М.», 2012. Т.1 С.77-80.

201. Лобода Н.С., Божок Ю.В. Вплив кліматичних змін на водні ресурси Північно-Західного Причорномор'я у сценарних умовах (RCP8.5 та RCP4.5) // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія / за ред. докт. геогр. наук В.К. Хільчевського. Київ. нац. ун-т ім. Т.Шевченка. Київ: ВГЛ «Обрії», 2016. Т.2 (41). С.48-58.

202. Лобода Н., Божок Ю. Зміни клімату та водних ресурсів України за сценаріями глобального потепління RCP4.5 та RCP8.5 // Українська географія: сучасні виклики. Зб.наук. праць. Київ: Прінт-Сервіс, 2016. Т.ІІІ. С.89-91.

203. Лобода Н.С., Божок Ю.В. Вплив змін клімату на водні ресурси водозбору Куяльницького лиману у сценарних кліматичних умовах // Український гідрометеорологічний журнал / головн. ред. д. фіз.-мат. н. С.М. Степаненко. Одес. держ. еколог. ун-т. Одеса, 2015. №16. С.189-195.

204. Божок Ю.В., Лобода Н.С. Роль кліматичних чинників у формуванні стоку річок Північно-Західного Причорномор'я в умовах глобального потепління // мат. Всеукр. конф. молодих вчених «Метеорологія, гідрологія, моніторинг довкілля в контексті екологічних викликів сьогодення», 16-17 лист.2016, Київ / Укр. гідрометеорол. ін-т. Київ: Ніка-Центр, 2016. С.10-12. С.10-12.

205. Лобода Н.С., Божок Ю.В. Изменение климата и водных ресурсов Северо-Западного Причерноморья (Украина) по сценариям глобального потепления // Труды Межд. конф. памяти выдающегося гидролога Ю.Б. Виноградова «Вторые Виноградовские чтения. Искусство гидрологии». 18-21 ноября 2015, Санкт-Петербург, Россия. Санкт-Петербург, 2015. С. 56-59.

206. Каган Р.Л. Осреднение метеорологичеких полей. Ленинград: Гидрометеиздат, 1979. 213 с.

207. Лобода Н.С. Методи статистичного аналізу у гідрологічних розрахунках і прогнозах: навч.посіб. / Одес. держ. еколог. ун-т. Одеса: Екологія. 2010. 184 с.

208. Loboda N., Bozhok Y. Impact of Climate Change on Water Resources of North-Western Black Sea Region // International Journal of Research In Earth and Enviornmental Sciences. 2015. Vol 02. No. 9. P. 1-6.

209. Лобода Н.С., Божок Ю.В. Оцінка впливу глобального потепління на зміни припливу середніх багаторічних величин річного стоку до Тилігульського лиману у роки різної водності за сценарієм M10: матеріали Всеукр. наук.-практ. конф. “Лимани Північно-західного Причорномор'я: сучасний гідро екологічний стан; проблеми водного та екологічного

менеджменту, рекомендації щодо їх вирішення”, 1-3 жовт. 2014, Одеса / Одес. держ. екол. ун-т. Одеса., ТЕС, 2014. С.25-27.

210. Лобода Н.С., Божок Ю.В., Даус М.Є., Отченаш Н.Д. Можливі зміни водних ресурсів Північно-Західного Причорномор'я у ХХІ сторіччі, установлені на основі даних кліматичних сценаріїв: матеріали Всеукр. наук.-практ. конф. «Природно-ресурсний потенціал Куяльницького та Хаджибейського лиманів, території міжлимання: сучасний стан, перспективи розвитку», 18-20 лист. 2015. Одеса / Одес. держ. екол. ун-т. Одеса., ТЕС, 2015. С.68-71.

211. Божок Ю.В., Лобода Н.С. Оцінка впливу посух на характеристики меженного стоку річки Савранка // Вісник Одеського державного екологічного університету. Одеса: Екологія, 2014. Вип. 18. С. 119-126.

212. Лобода Н.С. Зміни кліматичних чинників та характеристик стоку р. Тилигул під впливом глобального потепління // Вісник Одеського державного екологічного університету. Одеса: Екологія, 2014. Вип. 17. С. 124-133.

213. Моделювання зміни гідроекологічних умов в лиманах Північно-Західного Причорномор'я в контексті змін клімату у ХХІ столітті на прикладі Тилигульського лиману: звіт з НДР (заключний) / Одес. держ. екол. ун-т; наук.керів. Ю.С. Тучковенко. № держреєстрації 0116U002607, Одеса, 2016. 151с.

214. Лобода Н.С., Божок Ю.В. Влияние засушливости климата на минимальный сток рек (на примере реки Тилигул) // Сборник трудов Северо-Кавказского ин-та по проектированию водохозяйственного и мелиоративного строительства. Пятигорск: ОАО «Севкавгипроводхоз», 2014. Вип. 20. С. 163-172.

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

216. Карты Google: електрон. версія. URL: <https://www.google.com.ua/maps> (дата звернення: 11.10.2015 р.).

217. Google Планета Земля: електрон. версія. URL: <http://www.google.com.ua/earth> (дата звернення: 22.10.2015 р.).

218. Молдованов А.И. Постулаты инвариантности в морфологии водоемов и их практическое применение. // Метеорология, климатология и гидрология. Киев, 1965. Вип. I. С. 164-190.

219. Молдаванов А.И. Заиление прудов и водохранилищ в степных районах: науч. Издание / ред. О.Н. Потапов. Ленинград: Гидрометеиздат, 1978, 128с.

220. Гопченко Е.Д., Лобода Н.С. Влияние прудов и водохранилищ на характеристики годового стока рек зоны неостаточного увлажнения // Метеорология и гидрология. Москва: Гидрометеиздат, 1984, вып.4, с.83-88.
221. Степаненко С.М. Причини обміління Куяльницького лиману та шляхи його спасіння: науково-популярне видання. Одеса: Екологія, 2013. 36 с.
222. Гриб О.М. Оцінка рівнів та мінералізації води Куяльницького лиману при його поповненні водами Чорного моря // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія / за ред. докт. геогр. наук В.К. Хільчевського. Київ. нац. ун-т ім. Т.Шевченка. Київ, 2015. Т. 1(36). С. 93-101.
223. Гриб О. М., Нікітін П. С., Сімон Г. М., Гриб К. О. Оцінка хімічного складу атмосферних опадів в районі Сухого лиману в 2014-2015 роках / Сучасні соціально-екологічні проблеми Сухого лиману та шляхи їх вирішення: зб. наук. ст. за матер. Всеукр. наук.-практ. конф., 17 жовт. 2015, смт Таїрове за заг. ред. М.Г. Сербова, О.М. Гриба / Одес. держ. екол. ун-т. Одеса: Букаєв Вадим Вікторович, 2015. С. 81-84.
224. Гриб О.М. Оцінка випаровування з водної поверхні в районі Тилігульського лиману // Вісник Одеського державного екологічного університету. 2014. № 17. С. 173-184.
225. Каганер М.С., Дюкель Н.Г. Испарение с водной поверхности на территории Украины и Молдавии // Труды УкрНИИГМИ. 1966. Вып. 64. С. 155-180.
226. Иванов Н.Н. Ландшафтно-климатические зоны земного шара // Записки Всесоюз. географ. общ-ва: нов. сер. Москва: Изд-во АН СССР 1948. Т. 1. 223 с.
227. Константинов А.Р. Испарение в природе: моногр. Ленинград: Гидрометеиздат, 1968. 532 с.
228. Гопченко Є.Д., Гриб О.М. Обґрунтування вибору нормального підпертого рівня води в Куяльницькому лимані: Матеріали Всеукр. наук.-практ. конф. «Лимани Північно-Західного Причорномор'я: сучасний гідроекологічний стан, проблеми водного та екологічного менеджменту та шляхи їх вирішення», 1-3 жов. 2014, Одеса / Одес. держ. екол. ун-т. Одеса: ТЕС, 2014. С. 73-74.
229. Комплексне управління водними ресурсами басейну Куяльницького лиману та його гідроекологічним станом в умовах господарської діяльності і кліматичних змін: звіт про НДР (проміжний) / Одес. держ. екол. ун-т; керівник роботи Н.С. Лобода. – Одеса, 2015. – ДР № 0115U000631 – 394 с.

230. Burchard H., Baumert H. On the performance of a mixed layer model based on the $k-\epsilon$ turbulence closure. *Journal of Geophysical Research (C5)*, United States: American Geophysical Union. 1995, no. 100, P. 8523-8540.
231. Millero Frank J., Poisson Alain, Chen Chen Tung, Bradshaw Alvin L., Schleicher K. Background papers and supporting data on the International Equation of State of Seawater. *Unesco technical papers in marine science*, 38, 1980, Publ: 1981; 192 p.
232. Окубо А., Озмидов Р.В. Эмпирическая зависимость коэффициента горизонтальной диффузии в океане от масштаба явления // Изв. АН СССР, Физика атмосферы и океана. 1970, т. VI, №5. С. 534-536.
233. Gill, A.E. *Atmosphere-Ocean Dynamics*. International Geophysics Series. Academic Press. New York, London, 1982, vol.30. 680 p.
234. Lane, A., 1989. The heat balance of the North Sea. Tech. Rep. 8, Proudman Oceanographic Laboratory. 243, 254.
235. Panin, G.N., Brezgunov, V.S. Influence of the salinity of water on its evaporation. *Izvestiya. Atmospheric and Oceanic Physics*, 2007. Vol. 43. No.5. P. 663–665.
236. Тучковенко Ю.С., Кушнір Д.В. Результати чисельного моделювання внутрішньорічної мінливості характеристик гідрологічного режиму Куяльницького лиману // Український гідрометеорологічний журнал / головн. ред. д. фіз.-мат. н. С.М. Степаненко. Одес. держ. екол. ун-т. Одеса: № 17, 2016. С.137-139.
237. Адобовский В.В., Богатова Ю.И. Особенности современного гидролого-гидрохимического режима Куяльницького лимана и прогнозная оценка его составляющих в условиях возможного пополнения водоема морскими и пресными водами // Український гідрометеорологічний журнал / головн. ред. д. фіз.-мат. н. С.М. Степаненко. Одес. держ. екол. ун-т. Одеса: № 13, 2013. С.127-137.
238. Wu, Jin. The sea surface is aerodynamically rough even under light winds. *Boundary layer Meteorology*. 1994. № 69. P. 149-58.
239. Chow, Ven Te *Open-Channel Hydraulics*. McGraw-Hill College, U.S.A: New York, 1959. 680p.
240. Simon, A.J., Kent, E.C., Taylor, P.K. The Southampton Oceanography Centre (SOC) Ocean-Atmosphere Heat, Momentum and Freshwater Flux Atlas. Tech. rept. Southampton Oceanography Centre. Southampton, U.K, 1999. 59 p.
241. Сташук В.А. Еколого-економічні основи басейнового управління водними ресурсами. Дніпропетровськ: Зоря, 2006. 480 с
242. Сташук В.А., Ромащенко М.И., Михайлов Ю.О. Особенности интегрированного управления водными ресурсами Украины по бассейновому

принципу. Сборник материалов МКБК № 15(2013). 2012. 9 с.: электр. видання. URL: www.eesa-water.net (дата звернення: 30.09.2015 р.)

243. Тучковенко Ю.С., Иванов В.А., Сапко О.Ю. Оценка влияния береговых антропогенных источников на качество вод Одесского района северо-западной части Черного моря. Одесса-Севастополь: Одес. держ. екол. ун-т, 2011. 169с.

244. Сербов Н.Г. Влияние природоохранной деятельности на расходование первичных природных ресурсов в водном бассейне // Вестник Днепропетровского университета, серия «Экономика». 2012. Вып. 6(2). Т. 20. № 10/1. С. 44-49.

245. Ромашенко В.И., Михайлов Ю.О., Сташук В.А. и др. Территориальная организация управления использованием водных ресурсов/ Мелиорация и водное хозяйство. Вып. 90. 2004. С. 22-23.

246. Планы интегрированного управления водными ресурсами: Учебное пособие и руководство к применению. CapNet, 2005. 104 с.

247. The Dublin Principles for Water as Reflected in a Comparative Assessment of Institutional and Legal Arrangements for Integrated Water Resources Management. By Miguel Solanes and Fernando Gonzales-Villareal. TEC Background Paper № 3, Global Water Partnership, Stockholm, Sweden, 1999. P. 43.

248. Лобода Н.С., Гопченко Є.Д., Куза А.М., Божок Ю.В. Оцінка припливу прісних вод до лиманів Північно-Західного Причорномор'я: Матеріали Всеукр. наук.-практ. конф. «Лимани Північно-Західного Причорномор'я: сучасний гідроекологічний стан, проблеми водного та екологічного менеджменту та шляхи їх вирішення», 1-3 жов. 2014, Одеса / Одес. держ. екол. ун-т. Одеса: ТЕС, 2014. С. 22–24.

249. Берлинский Н.А., Гаркавая Г.П., Богатова Ю.И. Проблемы антропогенного эвтрофирования и развития гипоксии в северо-западной части Черного моря // Экология моря. 2003. Вып. 6. С. 17-22.

250. Научные основы охраны и рационального использования орошаемых земель Украины: моногр. / под ред. С.А. Балюка, М.И. Ромашенко, В.А. Сташука. Киев: Аграрная наука, 2009. 624 с.

251. Мельник Л.Г., Сабаль С.А., Шкарупа Е.В. К вопросу об интегрированном управлении устойчивым развитием региона // Механизмы регулирования экономики. 2013. №4. С. 27-40.

252. WFD CIS Guidance № 10 (April 2003). Rivers and Lakes – Typology, Reference Conditions and Classification Systems. ISBN №92-894-5614-0, ISSN №1725-1087 Published by Directorate General Environment of European Commission, Brussels. 107 p.

253. Водний кодекс України: (Відомості Верховної Ради України, 1995, № 24, ст. 189). Введений в дію Постановою Верховної Ради України № 214/95-ВР від 6 червня 1995 року (Відомості Верховної Ради України, 1995, № 24, ст. 190). Із змінами.

254. Использование водных ресурсов: моногр. / под ред. Г.В. Васильченко и др. Минск: Наука и техника, 1969. 228 с.

255. Игошин Н.И. Проблемы восстановления и охраны малых рек и водоёмов. Гидроэкологические аспекты: учебное пособие / науч. консультант Г.И. Швебс ; рец. Е.Д. Гопченко, А.Г. Иваненко, Л.А. Миченко; М-во образования и науки Украины, Одес. нац. ун-т им. И.И. Мечникова. Харьков: Бурун Книга, 2009. 240 с.

Додаток А

Таблиця А.1 – Природний стік у роки різної водності, визначений у період 1990-2098 рр. за сценарієм А1В, р.В.Куяльник

Період	Водність	Рік	$Q_{\text{річн}}, \text{м}^3/\text{с}$	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II
1990-2030 рр.	Багатоводний	2021	1,418	3,779	8,375	0,902	0,834	0,681	0,494	0,000	0,000	0,017	0,613	0,494	0,834
	Середній	2025	0,472	1,155	2,921	0,385	0,374	0,175	0,000	0,000	0,000	0,000	0,108	0,159	0,385
	Маловодний	2018	0,001	0,003	0,006	0,002	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
2031-2070 рр.	Багатоводний	2047	0,757	2,016	4,467	0,481	0,445	0,363	0,263	0,000	0,000	0,009	0,327	0,263	0,445
	Середній	2036	0,177	0,434	1,098	0,145	0,140	0,066	0,000	0,000	0,000	0,000	0,040	0,060	0,145
	Маловодний	2031	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2071-2098 рр.	Багатоводний	2093	0,464	1,235	2,738	0,295	0,273	0,223	0,161	0,000	0,000	0,006	0,200	0,161	0,273
	Середній	2078	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	Маловодний	2086	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Таблиця А.2 – Побутовий стік у роки різної водності, визначений у період 1990-2098 рр. за сценарієм А1В, р.В.Куяльник

Період	Водність	Рік	$Q_{\text{річн}}, \text{м}^3/\text{с}$	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II
1990-2030 рр.	Багатоводний	2021	0,769	3,590	2,861	0,489	0,009	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,489	1,790
	Середній	2025	0,096	0,465	0,525	0,140	0,008	0,016	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	Маловодний	2018	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2031-2070 рр.	Багатоводний	2047	0,189	0,882	0,703	0,120	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,120	0,440
	Середній	2036	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	Маловодний	2031	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2071-2098 рр.	Багатоводний	2093	0,017	0,078	0,062	0,011	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,011	0,039
	Середній	2078	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	Маловодний	2086	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Додаток Б

Таблиця Б.1– Внутрішньорічний розподіл природного стоку, визначений за даними сценарію А1В (модель REMO),
р.В.Куяльник

Рік	Q _{річн} , м ³ /с	Місяць											
		III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2015	1,258	3,351	7,426	0,800	0,740	0,604	0,438	0,000	0,000	0,015	0,543	0,438	0,740
2016	0,408	1,000	2,529	0,333	0,323	0,152	0,000	0,000	0,000	0,000	0,093	0,137	0,333
2017	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2018	0,001	0,003	0,006	0,002	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
2019	0,064	0,156	0,394	0,052	0,050	0,024	0,000	0,000	0,000	0,000	0,015	0,021	0,052
2020	0,279	0,683	1,727	0,228	0,221	0,104	0,000	0,000	0,000	0,000	0,064	0,094	0,228
2021	1,418	3,779	8,375	0,902	0,834	0,681	0,494	0,000	0,000	0,017	0,613	0,494	0,834
2022	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2023	0,086	0,256	0,503	0,129	0,082	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,058
2024	1,103	2,939	6,514	0,702	0,649	0,530	0,384	0,000	0,000	0,013	0,477	0,384	0,649
2025	0,472	1,155	2,921	0,385	0,374	0,175	0,000	0,000	0,000	0,000	0,108	0,159	0,385
2026	0,021	0,051	0,130	0,017	0,017	0,008	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005	0,007	0,017
2027	0,667	1,777	3,937	0,424	0,392	0,320	0,232	0,000	0,000	0,008	0,288	0,232	0,392
2028	0,248	0,606	1,533	0,202	0,196	0,092	0,000	0,000	0,000	0,000	0,056	0,083	0,202
2029	0,731	1,948	4,316	0,465	0,430	0,351	0,254	0,000	0,000	0,009	0,316	0,254	0,430
2030	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2031	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2032	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2033	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2034	0,672	1,791	3,969	0,428	0,395	0,323	0,234	0,000	0,000	0,008	0,290	0,234	0,395
2035	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Продовження табл. Б.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2036	0,177	0,434	1,098	0,145	0,140	0,066	0,000	0,000	0,000	0,000	0,040	0,060	0,145
2037	1,002	2,668	5,913	0,637	0,589	0,481	0,349	0,000	0,000	0,012	0,433	0,349	0,589
2038	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2039	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2040	0,854	2,274	5,040	0,543	0,502	0,410	0,297	0,000	0,000	0,010	0,369	0,297	0,502
2041	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2042	0,057	0,140	0,355	0,047	0,045	0,021	0,000	0,000	0,000	0,000	0,013	0,019	0,047
2043	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2044	0,432	1,057	2,674	0,352	0,342	0,161	0,000	0,000	0,000	0,000	0,098	0,145	0,352
2045	0,288	0,706	1,786	0,235	0,228	0,107	0,000	0,000	0,000	0,000	0,066	0,097	0,235
2046	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2047	0,757	2,016	4,467	0,481	0,445	0,363	0,263	0,000	0,000	0,009	0,327	0,263	0,445
2048	0,023	0,057	0,143	0,019	0,018	0,009	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005	0,008	0,019
2049	0,101	0,247	0,626	0,082	0,080	0,038	0,000	0,000	0,000	0,000	0,023	0,034	0,082
2050	1,149	3,062	6,786	0,731	0,676	0,552	0,400	0,000	0,000	0,014	0,497	0,400	0,676
2051	0,537	1,431	3,171	0,342	0,316	0,258	0,187	0,000	0,000	0,006	0,232	0,187	0,316
2052	0,147	0,360	0,911	0,120	0,117	0,055	0,000	0,000	0,000	0,000	0,034	0,049	0,120
2053	0,006	0,018	0,035	0,009	0,006	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004
2054	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2055	0,602	1,605	3,556	0,383	0,354	0,289	0,210	0,000	0,000	0,007	0,260	0,210	0,354
2056	0,078	0,191	0,483	0,064	0,062	0,029	0,000	0,000	0,000	0,000	0,018	0,026	0,064
2057	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2058	0,251	0,615	1,557	0,205	0,199	0,094	0,000	0,000	0,000	0,000	0,057	0,084	0,205
2059	0,482	1,285	2,847	0,307	0,284	0,231	0,168	0,000	0,000	0,006	0,208	0,168	0,284
2060	2,966	7,902	17,513	1,887	1,744	1,424	1,032	0,000	0,000	0,036	1,281	1,032	1,744
2061	0,214	0,525	1,327	0,175	0,170	0,080	0,000	0,000	0,000	0,000	0,049	0,072	0,175

Продовження табл. Б.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2062	0,040	0,098	0,249	0,033	0,032	0,015	0,000	0,000	0,000	0,000	0,009	0,013	0,033
2063	1,795	4,781	10,597	1,142	1,055	0,862	0,625	0,000	0,000	0,022	0,775	0,625	1,055
2064	1,297	3,456	7,659	0,825	0,763	0,623	0,451	0,000	0,000	0,016	0,560	0,451	0,763
2065	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2066	0,331	0,810	2,049	0,270	0,262	0,123	0,000	0,000	0,000	0,000	0,075	0,111	0,270
2067	0,381	0,934	2,361	0,311	0,302	0,142	0,000	0,000	0,000	0,000	0,087	0,128	0,311
2068	2,143	5,709	12,652	1,363	1,260	1,029	0,746	0,000	0,000	0,026	0,926	0,746	1,260
2069	1,464	3,899	8,641	0,931	0,861	0,702	0,509	0,000	0,000	0,018	0,632	0,509	0,861
2070	0,124	0,304	0,768	0,101	0,098	0,046	0,000	0,000	0,000	0,000	0,028	0,042	0,101
2071	0,373	0,994	2,204	0,237	0,219	0,179	0,130	0,000	0,000	0,004	0,161	0,130	0,219
2072	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2073	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2074	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2075	0,056	0,137	0,345	0,046	0,044	0,021	0,000	0,000	0,000	0,000	0,013	0,019	0,046
2076	0,088	0,216	0,546	0,072	0,070	0,033	0,000	0,000	0,000	0,000	0,020	0,030	0,072
2077	0,208	0,510	1,289	0,170	0,165	0,077	0,000	0,000	0,000	0,000	0,047	0,070	0,170
2078	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2079	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2080	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2081	0,926	2,466	5,464	0,589	0,544	0,444	0,322	0,000	0,000	0,011	0,400	0,322	0,544
2082	1,540	4,102	9,091	0,979	0,905	0,739	0,536	0,000	0,000	0,018	0,665	0,536	0,905
2083	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2084	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2085	0,031	0,077	0,194	0,026	0,025	0,012	0,000	0,000	0,000	0,000	0,007	0,011	0,026
2086	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2087	0,160	0,391	0,988	0,130	0,126	0,059	0,000	0,000	0,000	0,000	0,036	0,054	0,130

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2088	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2089	1,124	2,993	6,633	0,715	0,661	0,539	0,391	0,000	0,000	0,013	0,485	0,391	0,661
2090	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2091	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2092	0,015	0,036	0,091	0,012	0,012	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,005	0,012
2093	0,464	1,235	2,738	0,295	0,273	0,223	0,161	0,000	0,000	0,006	0,200	0,161	0,273
2094	2,192	5,838	12,939	1,394	1,289	1,052	0,763	0,000	0,000	0,026	0,947	0,763	1,289
2095	0,578	1,540	3,413	0,368	0,340	0,277	0,201	0,000	0,000	0,007	0,250	0,201	0,340
2096	0,121	0,295	0,747	0,098	0,096	0,045	0,000	0,000	0,000	0,000	0,028	0,041	0,098
2097	0,310	0,826	1,830	0,197	0,182	0,149	0,108	0,000	0,000	0,004	0,134	0,108	0,182
2098	0,752	2,003	4,439	0,478	0,442	0,361	0,262	0,000	0,000	0,009	0,325	0,262	0,442

Таблиця Б.2 – Внутрішньорічний розподіл побутового стоку, визначений за даними сценарію А1В (модель REMO),
р.В.Куяльник

Рік	Q _{річн} , м ³ /с	Місяць											
		III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2015	0,645	3,010	2,399	0,410	0,008	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,410	1,501
2016	0,076	0,366	0,413	0,110	0,006	0,013	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2017	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2018	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2019	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2020	0,018	0,085	0,096	0,025	0,001	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2021	0,769	3,590	2,861	0,489	0,009	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,489	1,790
2022	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2023	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2024	0,520	2,428	1,935	0,331	0,006	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,331	1,211
2025	0,096	0,465	0,525	0,140	0,008	0,016	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2026	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2027	0,226	1,055	0,841	0,144	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,144	0,526
2028	0,008	0,038	0,043	0,011	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2029	0,265	1,235	0,984	0,168	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,168	0,616
2030	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2031	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2032	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2033	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2034	0,143	0,667	0,532	0,091	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,091	0,333
2035	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2036	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2037	0,346	1,613	1,285	0,220	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,220	0,804

Продовження табл. Б.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2038	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2039	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2040	0,246	1,146	0,913	0,156	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,156	0,572
2041	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2042	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2043	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2044	0,045	0,219	0,248	0,066	0,004	0,008	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2045	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2046	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2047	0,189	0,882	0,703	0,120	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,120	0,440
2048	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2049	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2050	0,446	2,080	1,657	0,283	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,283	1,037
2051	0,084	0,391	0,312	0,053	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,053	0,195
2052	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2053	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2054	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2055	0,111	0,518	0,413	0,071	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,071	0,259
2056	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2057	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2058	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2059	0,063	0,295	0,235	0,040	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,040	0,147
2060	2,028	9,467	7,544	1,290	0,024	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,290	4,721
2061	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2062	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2063	0,949	4,431	3,531	0,604	0,011	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,604	2,210

Продовження табл. Б.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2064	0,545	2,546	2,029	0,347	0,007	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,347	1,270
2065	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2066	0,010	0,047	0,053	0,014	0,001	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2067	0,028	0,133	0,150	0,040	0,002	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2068	1,250	5,834	4,649	0,795	0,015	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,795	2,909
2069	0,664	3,099	2,470	0,422	0,008	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,422	1,546
2070	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2071	0,010	0,045	0,035	0,006	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,006	0,022
2072	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2073	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2074	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2075	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2076	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2077	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2078	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2079	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2080	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2081	0,231	1,079	0,860	0,147	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,147	0,538
2082	0,352	1,644	1,310	0,224	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,224	0,820
2083	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2084	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2085	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2086	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2087	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2088	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2089	0,320	1,493	1,190	0,203	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,203	0,745

Продовження табл. Б.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2090	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2091	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2092	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2093	0,017	0,078	0,062	0,011	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,011	0,039
2094	0,094	0,438	0,349	0,060	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,060	0,218
2095	0,041	0,193	0,154	0,026	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,026	0,096
2096	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2097	0,002	0,010	0,008	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,005
2098	0,136	0,636	0,507	0,087	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,087	0,317