

ВОДНИЙ РЕЖИМ ТА ГІДРОЕКОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ КУЯЛЬНИЦЬКОГО ЛИМАНУ

Монографія

за редакцією д.геогр.н., проф. Лободи Н.С.
д.геогр.н., проф. Гопченка Є.Д.

Одеса
ТЕС
2016

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

**ВОДНИЙ РЕЖИМ ТА
ГІДРОЕКОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ
КУЯЛЬНИЦЬКОГО ЛИМАНУ**

Монографія

*Рекомендовано до друку вченою радою Одеського державного
екологічного університету Міністерства освіти і науки України
(протокол № 10 від 29.10.2015р.)*

ОДЕСА
ТЕС
2016

ББК 26.22
В 62
УДК 556.55

Водний режим та гідроекологічні характеристики Куяльницького лиману: Монографія / за ред. Н.С. Лобода, Є.Д. Гопченка. Одеський державний екологічний університет, – Одеса: ТЕС, 2016. – 332 с., іл. 101, табл. 71, бібл. 389.

Досліджено зміни кліматичних, гідрологічних, гідрохімічних, гідробіологічних, гідроекологічних характеристик поверхневих вод в басейні Куяльницького лиману, які відбулися внаслідок змін клімату та водогосподарської діяльності на початку ХХІ сторіччя. Виконана оцінка впливу водогосподарської діяльності на стан водних ресурсів. Наданий опис видів та масштабів водогосподарських перетворень. Оцінено водні ресурси річок, які живлять лиман у природних та порушених водогосподарською діяльністю умовах в сучасності та за кліматичними сценаріями. Показано, що основним джерелом надходження води у Куяльницький лиман у найближчі роки можуть бути морські води Одеської затоки. Надана оцінка рівнів і мінералізації при різних варіантах подачі морської води. Наведені результати моделювання просторово-часової мінливості гідрологічних характеристик Куяльницького лиману, отриманні із використанням числової гідротермодинамічної моделі.

Water regime and hydroecological characteristics of Kuyalnitskyi Liman: Monograph / N.S. Loboda, E.D. Gopchenko, Eds. Odessa State Environmental University - Odessa: ТЕС 2016. – 332 p.

The changes of climatic, hydrological, hydrochemical, hydrobiological, hydroecological characteristics of surface water in the Kuyalnitskyi Liman basin that occurred as a result of climate change and water management at the beginning of the XXI century are investigated. The influence of water management on water resources is assessed. Types and scales of water management transformations are described. The assessment of the water resources of the rivers that feed the liman in natural and disturbed by water management activities conditions in present and future (using climatic scenarios) is done. It is shown that the main source of water in the Kuyalnitskyi Liman in the nearest years can be the sea water from the Odessa Bay. The levels and salinity in different variants of sea water feed are estimated. The results of spatial and temporal variability modelling of hydrological characteristics of Kuyalnitskyi Liman are obtained using numerical hydrothermodynamic model.

Відповідальні редактори:

д.геогр.н., проф. Н.С. ЛОБОДА, д.геогр.н., проф. Є.Д. ГОПЧЕНКО
Рецензенти: д.геогр.н., проф. С.І. Сніжко, д.геогр.н., с.н.с. О.Р. Андріанова

Рекомендовано до друку вченою радою Одеського державного екологічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол № 10 від 29.10.2015р.)

Колектив авторів:

Н.С. Лобода, д.геогр.н., проф.; Є.Д. Гопченко, д.геогр.н., проф.; С.М. Степаненко, д.ф.-м.н., проф.; Ю.С. Тучковенко, д.геогр.н., проф.; М.Г. Сербов, к.геогр.н., доц.; О.М. Гриб, к.геогр.н., доц.; О.М. Килимник, к.б.н.; В.А. Овчарук, к.геогр.н., доц.; Ю.В. Божок, к.геогр.н.; Д.В. Кушнір; Я.С. Яров.

ЗМІСТ

Вступ (<i>Степаненко С.М., Лобода Н.С.</i>)	7
Розділ 1. Басейн Куяльницького лиману як еколого-економічна система та перспективи її розвитку (<i>Сербов М.Г.</i>)	14
1.1 Ефективність природоохоронної діяльності як фактора безпеки та збалансованості розвитку економіко-екологічної системи.....	15
1.2 Задачі екологізації економіки.....	20
1.3 Економіко-екологічні підходи до розробки інтегрованого управління водними ресурсами в басейні Куяльницького лиману.....	25
Розділ 2. Природні ресурси басейну Куяльницького лиману в умовах екологічної кризи (<i>Лобода Н.С., Гриб О.М.</i>).....	34
2.1 Загальні відомості про басейн.....	34
2.2 Кліматичні ресурси.....	40
2.2.1 Кліматичні особливості на території лиману.....	42
2.3 Мінеральні ресурси.....	45
2.3.1 Гідрогеологічні особливості басейну.....	46
2.4 Земельні ресурси.....	48
2.5 Водні ресурси.....	51
2.6 Рекреаційні ресурси.....	53
Розділ 3. Оцінка змін навколоводної та водної біоти басейну Куяльницького лиману в умовах господарської діяльності та глобального потепління (<i>Килимник О.М.</i>)	59
3.1 Загальна характеристика наземної суходільної екосистеми Куяльницького лиману.....	63
3.1.1 Характеристика фонові консортотвірної рослинності та фітоценотичні осередки в наземних суходільних біотопах басейну Куяльницького лиману.....	66
3.2 Характеристика таксоценів бджолиних та їх паразитоїдів як маркерів стану наземної екосистеми басейну Куяльницького лиману.....	69
3.3 Сучасний стан гігрофільної навколоводної біоти басейну Куяльницького лиману на прикладі річок В. Куяльник, Довбока, Кубанка.....	78
3.4 Сучасний стан водної біоти Куяльницького лиману.....	81
3.5 Оцінка можливих якісних змін біологічних показників за динамікою гіротермічного та гідроекологічного режимів в басейні Куяльницького лиману.....	84
3.6 Узагальнення результатів оцінки сучасного стану та прогноз змін наземної водної біоти басейну Куяльницького лиману.....	88
Розділ 4. Водогосподарські перетворення в акваторії та басейні	

Куяльницького лиману і рекомендації щодо заходів з оптимізації водогосподарської діяльності у майбутньому (Гриб О.М.)	94
4.1 Історичні відомості про поповнення лиману водами Чорного моря та з інших водойм.....	94
4.1.1 Господарські перетворення Куяльницького лиману для промислового видобування солі та штучне поповнення водойми морськими водами з Одеської затоки у ХІХ столітті.....	94
4.1.2 Характеристика солепромислів та штучне поповнення південної частини лиману морською водою через з'єднувальний канал у ХХ столітті.....	97
4.1.3 Наповнення Куяльницького лиману водами Хаджибейського лиману.....	97
4.1.4 Поповнення лиману з водойм пересипу та фільтрація морських вод.....	97
4.1.5 Гідротехнічна споруда для поповнення Куяльницького лиману морською водою з Одеської затоки у 2014-2015 роках.....	101
4.2 Водогосподарські споруди в басейні Куяльницького лиману...	102
4.3 Оцінка впливу ставків, водосховищ і шлюзів-регуляторів на русловий стік в гирлі р. В.Куяльник за даними гідрологічних вимірювань.....	104
4.4 Водогосподарські споруди на річках і балках східного берега лиману.....	106
4.5 Оцінка замулювання річок Довбока та Кубанка у сучасних умовах (після паводка 24 травня 2012 року).....	112
4.6 Рекомендації щодо заходів з оптимізації водогосподарської діяльності для підвищення водності річок і балок басейну Куяльницького лиману у майбутньому.....	113
Розділ 5. Гідрохімічна характеристика та якість води водних об'єктів басейну Куяльницького лиману (Гриб О.М., Яров Я.С.).....	119
5.1 Хімічний склад атмосферних опадів в басейні лиману.....	119
5.2 Гідрохімічна характеристика підземних вод в басейні лиману..	123
5.3 Фізико-хімічні властивості та мінералізація ропи лиману.....	126
5.4 Гідрохімічна характеристика водойм басейну р. В. Куяльник...	135
5.5 Гідрохімічна характеристика річок Довбока та Кубанка, балок Гільдендорфська та Корсунцівська.....	138
5.6 Гідрохімічна характеристика ставків пересипу між лиманом і морем.....	141
5.7 Визначення якості вод річок Довбока та Кубанка, балок Гільдендорфська та Корсунцівська, водойм пересипу за методикою екологічної оцінки	142
5.8 Оцінка якості води річок Довбока та Кубанка, балок	

Гільдендорфська та Корсунцівська, водойм пересипу за комбінаторним індексом забруднення	146
5.9 Оцінка придатності підземних (грунтових) вод річок Довбока та Кубанка для споживання людиною.....	149
Розділ 6. Водні ресурси басейну Куяльницького лиману в умовах змін клімату (<i>Лобода Н.С., Гопченко Є.Д.</i>).....	153
6.1 Оцінка водних ресурсів за даними спостережень.....	154
6.2 Оцінка змін кліматичних чинників формування стоку на початку ХХІ сторіччя.....	158
6.3 Теоретичні основи визначення природних водних ресурсів за моделлю «клімат–стік».....	170
6.4 Оцінка природних водних ресурсів за моделлю «клімат–стік»..	177
6.5 Теоретичні основи визначення водних ресурсів в умовах водогосподарської діяльності за моделлю «клімат–стік».....	180
6.6 Оцінка водних ресурсів минулого сторіччя в умовах водогосподарських перетворень на основі моделі «клімат–стік».....	185
Розділ 7. Оцінка змін кліматичних чинників та водних ресурсів басейну Куяльницького лиману за сценаріями глобального потепління (<i>Лобода Н.С., Божок Ю.В.</i>).....	188
7.1 Обґрунтування вибору регіонального кліматичного сценарію для оцінки змін водних ресурсів в межах водозбору Куяльницького лиману	190
7.2 Методологія оцінки природних водних ресурсів за моделлю «клімат–стік» на основі сценаріїв змін клімату.....	196
7.3 Оцінка змін кліматичних чинників за сценаріями глобального потепління.....	197
7.4 Оцінка змін характеристик посух за сценаріями глобального потепління.....	203
7.5 Оцінка змін характеристик посушливості клімату за сценаріями глобального потепління.....	205
7.6 Оцінка можливих змін водних ресурсів за моделлю «клімат–стік» на основі кліматичних сценаріїв.....	207
Розділ 8. Максимальний стік річок і балок в басейні Куяльницького лиману (<i>Гопченко Є.Д., Овчарук В.А.</i>)	218
8.1 Науково-методична база для розрахунку максимальних витрат води	218
8.2 Визначення розрахункових характеристик весняного водопілля	222
8.3 Визначення розрахункових характеристик дощових паводків	226
8.4 Про можливі зміни величин максимальних витрат води паводків і водопіль під впливом змін клімату (за сценарієм	

глобального потепління).....	230
Розділ 9. Оцінка рівнів і мінералізації води Куяльницького лиману при різних варіантах надходження морської води з Одеської затоки (Гриб О.М.)	234
9.1 Математична структура моделі водно-сольового балансу лиману	234
9.2 Визначення об'єму та мінералізації атмосферних опадів.....	237
9.3 Визначення об'єму та мінералізації припливних вод до лиману.....	239
9.4 Визначення випаровування з водної поверхні лиману.....	242
9.5 Визначення об'ємів припливу морських вод через трубопровід «море-лиман» та їх мінералізації.....	244
9.6 Калібрування та верифікації моделі водно-сольового балансу лиману з використанням архівних даних.....	246
9.7 Оцінка рівнів і мінералізації води та кількості солей в Куяльницькому лимані при різних варіантах подачі морської води	251
Розділ 10. Чисельне моделювання мінливості гідрологічних характеристик Куяльницького лиману (Тучковенко Ю.С., Кушнір Д.В.).....	261
10.1 Опис гідротермодинамічної моделі.....	261
10.2 Адаптація гідротермодинамічної моделі до умов Куяльницького лиману.....	266
10.3 Обговорення результатів адаптації моделі.....	270
10.4 Валідація моделі.....	270
Висновки (Лобода Н.С., Тучковенко Ю.С.).....	284
Список літератури.....	300

ВСТУП

Куяльницький лиман є унікальним, віднесеним до категорії лікувальних водним об'єктом загальнодержавного значення, який має рідкісні у своєму роді лікувальні природні ресурси, які 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 відкладів 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. Від'ємна частина водного балансу Куяльницького лиману як закритої водойми складається, головним чином, з випаровування.

З 1859 р. і по сьогоднішній природний водно-сольовий режим Куяльницького лиману знаходиться під значним впливом господарської діяльності. В акваторії водойми з давніх часів діяв солепромисел. На водозбірному басейні будувалися дамби і створювалися ставки. Так, на топографічній карті 1894 року на водозборі лиману вже налічувалося більше 70 штучних водойм, 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, в 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 приморських водойм показав, що цей прогноз не тільки справджується, а й потребує 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 визнано 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 об'єму 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 - з 108 до 317 ‰.

Останнім часом гідрогеологи Одеського національного університету ім. І.І. Мечникова звертають увагу на недооцінку складової підземного припливу і стоку вод 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 припливу не перевищує 10% від інших, вже відомих і вивчених приходних складових водного балансу лиману, тобто знаходиться в межах точності розрахунків водного балансу. Тому, в умовах, коли

спостерігається зменшення стоку річок Великий Куяльник, Довбока, Кубанка, які є основними джерелами надходження прісних вод до Куяльницького лиману, і відбувається подальше зростання посушливості клімату Одеської області [13], навряд чи слід очікувати, що лиман може наповнитися за рахунок підземного стоку.

Проте, в наш час зменшення стоку малих та середніх річок Північно-Західного Причорномор'я й зростання тривалості їх пересихання внаслідок кліматичних змін підсилюється господарською діяльністю людини.

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

- перегороджування шлюзами та дамбами русел річок і створення штучних водойм, які практично повністю “перехоплюють” річковий стік та діють як штучні випарники;

- штучне випрямлення русел та подальше їх замулення (шар донних відкладів у деяких місцях перевищує 1 м);

- інтенсивний відбір підземних вод для питного і господарського використання, який сприяє виснаженню їх запасів, про що свідчать пересохлі джерела, і надходженню 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 насінневий запас, а без рослинності поверхня ґрунту втрачає свої бар'єрні функції і перестає бути перепорою для проникнення у лиман забруднювальних 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 з 26 до 15,3 км, площі водного дзеркала з 52,0 до 26,7 км², об'єму водної маси - з 68 до 11 млн. м³, руслового стоку з 15,6 до 1,5 млн. м³ (80-85% якого тепер надходить від Корсунцівської балки і Лузанівських ставків в південну частину лиману). 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 390 ‰ - у північній його частині; протяжність лиману дорівнювала близько 16 км, так що її північний край фіксувався на траверзі с. Іллінка, де за даними аерофотозйомки 29 вересня 2012 р. було 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 dna 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.

Вивченість стану водної екосистеми Куяльницького лиману недостатня. Мало висвітлена 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 й антропогенними чинниками потребують більш детального вивчення. На сьогодні 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 в 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, мікрофітобентосу, макрофітобентосу, макрзообентосу, у тому числі потенційно токсичних видів); медико-біологічні (медико-бальнеологічні, мікробіологічні, 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].

На соціально-економічний стан Куяльницького лиману негативно 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.

Через різке зменшення припливу прісних вод та деградацію водотоків був порушений водно-сольовий баланс лиману. Реальним інструментом для його відновлення і підтримки є 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 контрольної-спостережної станції (нині – гідрогеологічна служба ДП «Клінічний санаторій ім. Пирогова») за 1961 р. з проектування каналу «море-лимани» 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], виконану в 2013 році вченими Фізико-хімічного інституту ім. О.В. Богатського НАН України, також відмічається, що розбавлення ропи Куяльника морською водою призведе до унеможливлення випадання 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 набула значення до 7 г/дм^3 . Отже, очевидним є те, що вже у 1960 р. у ропі лиману відбувалась кристалізація гіпсу та його випадіння в осад, але без утворення гіпсової кірки. Цей висновок узгоджується з відомостями про те, що гіпс є складовою кристалічного скелета 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 в поєднанні із водогосподарською діяльністю водні ресурси Північно-Західного Причорномор'я невпинно зменшуються [38].

Зміст представленої монографії спрямований на те, щоб висвітлити основні гідроекологічні проблеми Куяльницького лиману та показати можливі шляхи їх вирішення. Основною задачею проведених досліджень є обґрунтування заходів щодо стабілізації екологічного стану Куяльницького лиману. У роботі оцінені зміни екосистеми лиману на основі біологічних показників, наведена оцінка водних ресурсів у минулому та майбутньому (на основі сценаріїв змін клімату), описаний сучасний стан водного та сольового балансів лиману та перспективи їх зміни в умовах зростання посушливості клімату, показані перспективи змін його гідроекологічного стану при наповненні лиману морськими водами.

Розрахунки водних ресурсів базуються на використанні метеорологічних даних за минулі роки та за сценаріями змін глобального клімату, регіоналізація яких є важливою актуальною задачею. Певною мірою монографія є продовженням досліджень з комплексного управління водними ресурсами Європейських лагун в умовах змін клімату (Міжнародний дослідницький проект 7-ї 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], а також досліджень лиманів Північно-Західного Причорномор'я [39, 41]. У роботі використані як європейський, так і власний досвід. Оцінки припливу прісних вод з водозбірного басейну до лиману в умовах минулого сторіччя та за сценаріями глобального потепління, виконані на основі стохастичної моделі «клімат-стік», розробленої в ОДЕКУ [42, 43]; розрахункові характеристики максимального стоку в сучасних та сценарних умовах [44], 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) [39]; просторово-часова деталізація мінливості гідрологічних і гідродинамічних характеристик вод Куяльницького лиману була виконана з використанням тривимірної моделі гідродинамічної моделі Delft3D-FLOW [45, 46], адаптованої до умов Куяльницького лиману.

Автори висловлюють свою подяку к.геогр.н. Н.Д. Отченаш (кафедра гідроекології та водних досліджень) за допомогу при підготовці рукопису до друку, а також О.Д. Соколенко за редагування рукопису.

РОЗДІЛ 1

БАСЕЙН КУЯЛЬНИЦЬКОГО ЛИМАНУ ЯК ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНА СИСТЕМА ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЇЇ РОЗВИТКУ

Визначення еколого-економічної системи поряд з такими досить близькими за змістом поняттями як «еколого-господарська система», «природно-економічна система», «біоекономічна система» вже досить давно використовується в економічній та екологічній літературі. В роботі [1] академік М.Я. Лемешев визначив еколого-економічну систему як «інтеграцію економіки і природи, яка представляє собою взаємопов'язане і взаємообумовлене функціонування суспільного виробництва і протікання природних процесів у просторі».

В наш час існують дві інтерпретації поняття еколого-економічної системи – глобальна і регіонально-територіальна. Згідно [2], глобальна еколого-економічна система трактується як екологічно орієнтована соціально-економічна формація суспільного виробництва – мета сталого розвитку суспільства.

Регіонально-територіальна або локальна еколого-економічна система може бути визначена як обмежена певною територією частина техносфери, в якій природні, соціальні та економіко-виробничі структури і процеси пов'язані взаємно підтримуючими один одного потоками речовини, енергії та інформації [3]. Таким чином, еколого-економічна система водного басейну може розглядатися як частина земної поверхні, обмеженої гідрографічними границями водозборів конкретних водних об'єктів в межах яких існують соціальні, економіко-виробничі відносини, що розглядаються з точки зору не тільки експансії техносфери, але й з позиції створення регіональних збалансованих, взаємопідтримуючих і рівноважних природно-господарських комплексів.

Еколого-економічна система будь-якої території утворюється з природних і антропогенних елементів (запасів) та зв'язків (потоків) між ними. Основні природні й антропогенні елементи (реципієнти) еколого-економічних систем поділяються на:

- екологічні компоненти, сукупність яких утворює навколишнє природне середовище;
- енергетичні та сировинні (мінеральні) ресурси;
- виробничі ресурси, які обслуговують матеріальне виробництво, житлово-комунальне господарство, транспортну сферу, а також будь-які предмети і послуги споживання.

У порівнянні з першою, компоненти другої і третьої груп займають однозначне становище в загальній структурі еколого-економічної системи.

1.1 Ефективність природоохоронної діяльності як фактора безпеки та збалансованості розвитку економіко-екологічної системи

В останні десятиріччя відбулося значне збільшення антропогенного навантаження на природні середовища, що в підсумку спричинило деградацію більшості природних екосистем.

У структурі промислового і господарського виробництва багатьох країн світу значний відсоток основних засобів виробництва зношений більш ніж на 50 %. Обладнання, яке використовується, вже давно морально і технічно застаріло, що в свою чергу призвело до збільшення споживання енергетичних та інших природних ресурсів, а також вихідної сировини, зростання викидів забруднюючих речовин в природні сфери Землі.

У цьому випадку Україна не є винятком. Зношування основних виробничих фондів у провідних галузях промислового комплексу країни становить: у чорній металургії – 61,4 %; у хімічній та нафтохімічній промисловості – 55 %; у вугільній промисловості – 65,55 %; в енергетиці – 40,4 % [4].

Збалансований розвиток економіко-екологічних систем є обов'язковою умовою безпечного екологічного, соціального та економічного розвитку суспільства. Актуальність вирішення завдання сталого і збалансованого в економічному, екологічному та соціальному плані розвитку України визначається яскраво вираженою деградацією природного і ресурсного потенціалу, що веде до розвитку складних, в т.ч. надзвичайних, ситуацій соціально-економічної та екологічної спрямованості. За оцінками вчених щорічні економічні втрати України внаслідок нераціонального природокористування і забруднення навколишнього середовища становлять 15-20 % національного доходу [5-9], що відноситься до одного з найвищих показників у світі. При цьому головною складовою екологічної кризи в нашій країні є криза водогосподарсько-екологічна.

В наш час виділяють такі види регіонів України: підвищеної небезпеки, помірної небезпеки, відносної небезпеки та безпечні. Очевидно, що зазначена вище класифікація регіонів за рівнем небезпеки потребує їх диференціації при розробці стратегії розвитку їх економіко-екологічних систем [10]. В цілому басейн Куяльницького лиману, з урахуванням існуючого антропогенного навантаження, за ступенем деградації природних комплексів території, може бути віднесений до регіонів підвищеної небезпеки.

Безпека і збалансованість розвитку зазначених вище економіко-екологічних систем складається із збалансованого розвитку економіки, екології та соціальних умов життя населення.

Розвиток економічної складової економіко-екологічної системи в основному залежить від стану фінансово-кредитної системи, інвестиційної та податкової політики.

Сьогодні на розвиток економічної складової економіко-екологічної системи негативно впливає економічна криза у світовій економічній системі.

Необхідно також відзначити, що всі складові економіко-екологічної системи тісно пов'язані між собою і постійно впливають одна на одну.

Наприклад, результати розвитку економічної складової чинять вплив на розвиток екологічної складової через створення відповідних умов розвитку природоохоронної діяльності, а це в свою чергу відбивається на екологічній ситуації певної території. Погіршення або поліпшення екологічної ситуації забезпечує відповідний вплив на розвиток економічної складової (зростання витрат на видобуток вихідної сировини, виникнення необхідності додаткових витрат на підготовку вихідної сировини для її переробки і т.д.).

Економічна та екологічна складові істотно впливають на соціальну [11]. Зокрема, погіршення екологічної ситуації негативно впливає на умови життя населення: збільшується захворюваність, погіршуються умови праці тощо.

Результати розвитку економічної складової визначають економічні умови життя населення і, отже, його зацікавленість у результатах праці, у підвищенні продуктивності при здійсненні виробничої і господарської діяльності, а це в свою чергу визначає розвиток економічної складової. На рис. 1.1 наведена загальна структура економіко-екологічної системи, в якій показані розглянуті вище багатofакторні зв'язки.

Під збалансованістю розвитку економіко-екологічної системи надалі слід розуміти створення і підтримку стійкого і безпечного розвитку всіх структурних складових певної економіко-екологічної системи (економічної, екологічної та соціальної) [12,13].

Причому провідна роль у цьому відводиться економічній складовій, оскільки від її розвитку залежить забезпечення необхідними інвестиційними та фінансовими ресурсами екологічної та соціальної складових, а також і самої економічної складової.

Для безпечного та збалансованого розвитку всіх трьох складових економіко-екологічної системи велике значення має оптимальність стратегії їх розвитку.

У забезпеченні збалансованого та безпечного розвитку економіко-екологічної системи особливо важливу роль відіграє розвиток природоохоронної діяльності.

Ефективна природоохоронна діяльність забезпечує створення сприятливих умов для розвитку економічної складової розглянутої економіко-екологічної системи, оскільки сприяє впровадженню у

виробничу та господарську діяльність сучасних маловідходних та ресурсозберігаючих технологій і прийомів роботи.



Рис. 1.1 – Структура економіко-екологічної системи

Ефективна природоохоронна діяльність сприяє також покращенню умов існування населення, підвищенню його працездатності, зниженню захворюваності, тобто забезпечує вирішення цілої низки соціальних проблем, що також сприятливо позначається на розвитку економічної складової.

Ефективність природоохоронної діяльності повинна оцінюватися зниженням таких показників як питомі витрати природних і енергетичних ресурсів при здійсненні виробничої і господарської діяльності.

Збалансованість системи природокористування істотно впливає на безпеку розвитку економіко-екологічних систем, через те що сприяє зниженню витрати невідновлюваних природних ресурсів (рис.1.2).



Рис. 1.2 – Фактори, які впливають на безпеку розвитку економіко-екологічних систем

Збалансованість системи природокористування матиме позитивний вплив на безпеку розвитку економіко-екологічних систем у тих випадках, коли будуть вживатися заходи щодо відновлення кількості та якості використаних у виробничій та господарській діяльності природних ресурсів, буде розроблена і набере практичного застосування система

нормативів, яка забезпечить збалансованість використання природних ресурсів та їх охорону від негативного впливу з боку виробничих і господарських об'єктів.

Одним з найважливіших факторів, які впливають на безпеку і збалансованість розвитку економіко-екологічної системи, є ефективність природоохоронної діяльності в країні.

Природоохоронна діяльність повинна розвиватися на основі реалізації комплексних природоохоронних програм, які передбачають охорону від негативного впливу з боку виробничих та господарських об'єктів усіх природних сфер.

Негативний вплив на безпеку і збалансованість розвитку економіко-екологічних систем зумовлює стан водних об'єктів. За забрудненням внутрішніх водойм та прибережної частини морів Україна відноситься до зони екологічної катастрофи.

У водойми України щорічно скидається близько 20 км³ стічних вод, у тому числі понад 5 км³ очищені недостатньо.

Щорічно у водні об'єкти країни потрапляє понад 50 млн.т шкідливих речовин, що містять фтор, формальдегід, фенол, пестициди та інші, вкрай небезпечні для навколишнього середовища і людини компоненти.

Негативний вплив на безпечний і збалансований розвиток економіко-екологічних систем чинить екологічна ситуація, яка складається в морській акваторії, в даному випадку в північно-західній частині Чорного моря. Основними джерелами забруднення цієї частини Чорного моря є: морські перевезення нафти і нафтопродуктів, вантажні операції з нафтою і нафтопродуктами, бункерування суден, морські аварії, комунальні стоки і стічні води берегових джерел різного походження, стік річок, морський нафтовидобуток, забруднені атмосферні опади. Крім усього іншого спостерігається висока аварійність суден.

Для підвищення безпеки та поліпшення збалансованості розвитку економіко-екологічних систем необхідна реорганізація промислового виробництва і господарської діяльності на основі прискореного і розширеного використання в практичній діяльності досягнень науки і техніки (насамперед, маловідходних технологій і таких видів роботи, які ефективно використовують сировинні та енергетичні ресурси).

Проведені дослідження [9, 14, 16-19] свідчать, що для того, щоб застосування досягнень науки і техніки принесли максимальний позитивний ефект при посиленні безпеки та поліпшенні збалансованості у розвитку економіко-екологічних систем, необхідно:

- забезпечити поновлення відновлюваних природних ресурсів;
- знизити ресурсоємності виробничих та господарських процесів;
- замінити невідновлювані природні ресурси, які використовуються як сировина у виробничій та господарській діяльності, на нелімітовані види ресурсів;

- забезпечити пріоритетний розвиток маловідходних процесів та видів роботи;
- розвивати технологічні процеси та види роботи, які забезпечують повторне використання відходів, що утворюються;
- забезпечити досягнення максимального зниження викидів шкідливих речовин в атмосферу та скидів неочищених або недостатньо очищених стічних вод у водоймища;
- виключити із складу викидів та скидів сильно діючі та радіоактивні речовини.

Нормативна база повинна бути адаптована до ринкових умов господарювання. Існуючі нормативи скидів та викидів забруднюючих речовин в природні середовища повинні бути переглянуті в напрямку підвищення відповідальності підприємств за здійснення забруднення навколишнього середовища, підвищення економічної зацікавленості виробничих і господарських об'єктів в інтенсифікації та ефективності природоохоронної діяльності, в поліпшенні використання природних і енергетичних ресурсів.

Практичний досвід використання природних ресурсів у промислових і господарських цілях показує, що їх обсяги обмежені, тому необхідно не тільки досягнути їх раціонального та економного використання, але й прагнути максимально використовувати відходи, які утворюються.

1.2 Задачі екологізації економіки

При вирішенні завдань екологізації економіки необхідно враховувати можливість використання при енергозабезпеченні виробничих і господарських об'єктів нових, нетрадиційних джерел енергії: вітрової, сонячної, енергії припливів і відливів, енергії хвиль, а також енергії температурної відмінності окремих шарів води в морі й енергію термальних вод.

Таким чином, основою сучасної економіки, яка враховує взаємодію людей і навколишнього середовища, є запобігання нанесення економічного та екологічного збитків природному середовищу з боку виробничих і господарських об'єктів.

Екологізація економіки – це не тільки раціональне використання природних й енергетичних ресурсів, а й корінний перегляд традиційних принципів виробничої та господарської діяльності, розміщення підприємств в регіонах країни, розробки технологічних процесів на нових фізичних основах, розробки принципово нових схем і систем енергозабезпечення об'єктів, розробки нових процесів природоохоронного призначення (рис.1.3).

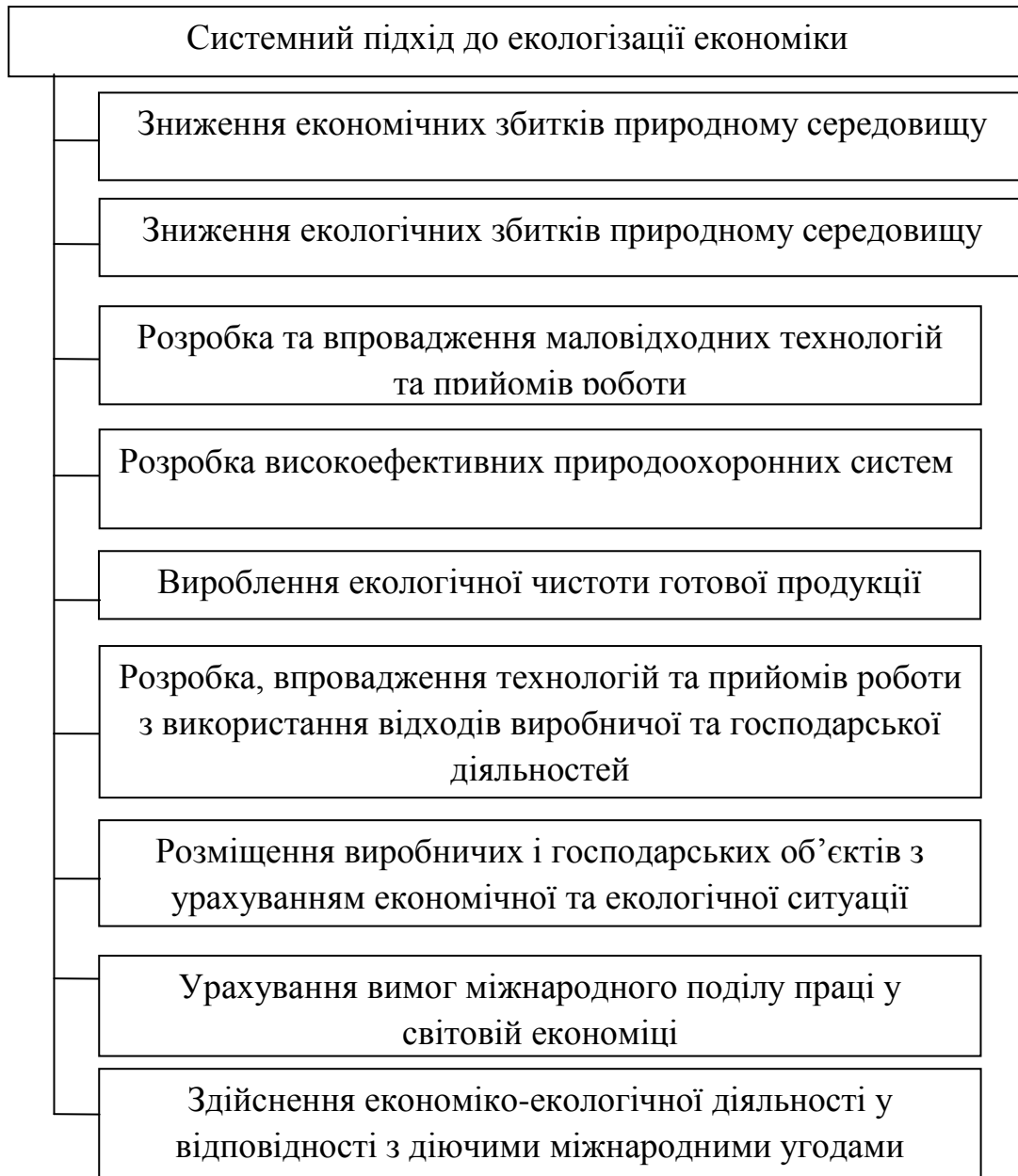


Рис. 1.3 – Структура системного підходу до екологізації економіки

Успішна екологізація економіки потребує здійснення системного підходу, який повинен полягати в такому:

- організація виробництва продукції з мінімальними економічними та екологічними збитками природному середовищу;
- розробка маловідходних технологій і високоефективних систем очищення та знешкодження шкідливих речовин у відходах;
- розробка технологій і прийомів роботи з вироблення готової продукції з побічних компонентів і відходів виробничої та господарської діяльності;

- встановлення взаємного зв'язку між технологією виробництва, результатами виробничо-господарської діяльності та екологічними якостями готової продукції;
- здійснення спеціалізації виробничої і господарської діяльності у відповідності зі сформованою в регіоні екологічною ситуацією та забезпеченістю сировинними й енергетичними ресурсами.

При екологізації економіки необхідно зіставляти економічні збитки, що завдається природі від функціонування виробничих і господарських об'єктів, та витрати суспільства на його усунення. Управлінські та організаційні рішення повинні ґрунтуватися на прогресивних напрямках взаємодії природи і суспільства. Екологізація економіки повинна бути спрямована на досягнення сприятливого середовища проживання для всього суспільства, що можливо тільки при гармонійному економіко-екологічному підході, заснованому на гуманістичних і моральних засадах.

Екологізація економіки в перспективі повинна забезпечити рівновагу економічних, екологічних та соціальних аспектів на всій планеті, розумне задоволення потреб суспільства при одночасному поліпшенні якості життя поколінь, дбайливого використанні природних ресурсів.

В основу екологізації економіки повинно бути покладене визнання єдності і різноманіття варіантів соціально-економічного та екологічного розвитку країн і окремих регіонів в них, політики оптимального ефективного використання природних ресурсів, дбайливого ставлення до біосфери, турботи про умови існування майбутніх поколінь, закріплення в соціально-економічному розвитку свободи, не насильства, гуманізму, а не ворожнечі.

Екологізація економіки зумовлює безпеку і збалансованість у розвитку економіко-екологічних систем, що сприяє утворенню безпечного середовища проживання, захищеності інтересів суспільства, збереженню природних ресурсів і підвищенню стійкості функціонування економічних та екологічних систем за рахунок переходу до екотехнологій та екотехніки. При цьому принцип «витрати-вигоди» замінюється принципом «витрати-ефективність» [11, 20, 21].

Проведені дослідження показали, що для ефективної екологізації економіки необхідно здійснити синтез соціально-економічних можливостей, основою якого є зміна соціальної політики і свідомості людей з урахуванням поєднань загальних економічних рішень із специфікою екологічної ситуації в країні, в окремому регіоні.

Розвиток досліджень і практичних робіт з екологізації економіки потребують розробки відповідного інструментарію. Основою такого інструментарію може служити або економіко-екологічне регулювання виробничо-господарської та природоохоронної діяльності, або інструменти самоврядування в регіонах. Краще використовувати з цією метою інструментарій екологічного та виробничо-господарського регулювання.

Розроблений на цій основі інструментарій забезпечує створення умов подальшого економічного розвитку при зниженні або запобіганні негативного впливу виробничої та господарської діяльності на природні сфери.

Розробка інструментарію для екологізації економіки на основі самоврядування в регіонах дозволяє вирішувати поставлені завдання в окремих регіонах, але не забезпечує системності у вирішенні загальної задачі цього типу на загальнодержавному рівні. Разом з тим використання при розробці зазначеного інструментарію питань самоврядування в регіонах дозволить більш повно врахувати особливості кожного регіону.

Тому при розробці певного інструментарію за основу доцільно взяти інструментарій державного регулювання виробничої та природоохоронної діяльності, але при використанні стосовно до конкретних регіонів коригувати його відповідно до умов, що склалися в цих регіонах.

Наявні дослідження показують, що розроблений інструментарій екологізації економіки тим ефективніший, чим повніше він враховує принцип окупності витрат, ефективність використання коштів, які спрямовуються на природоохоронну діяльність, пропорційності витрат на екологізацію економіки і одержуваної при цьому економічної та екологічної вигоди у вигляді зменшення відповідних економічних збитків.

Інструментарій екологізації економіки повинен базуватися на системі державного законодавства, дотриманні регіональних природоохоронних нормативів, реалізація яких здійснюється природоохоронними органами державного та регіонального управління.

Посилення взаємного зв'язку економіки та екології являє собою відправний момент у формуванні всього арсеналу інструментів, які забезпечать реалізацію процесу екологізації економічного природного середовища та спектр поширення податку по видах дії виробничого і господарського об'єктів на елементи природного середовища. Зазначена вище особливість змісту інструментарію має регіональний аспект, обумовлений екологічною ситуацією, що склалася в цьому регіоні. Так, у Причорноморському регіоні України при формуванні системи природоохоронного оподаткування необхідно передбачити всі аспекти природокористування та господарської діяльності з урахуванням необхідності структурної перебудови економіки цього регіону на базі розвитку зон вільного підприємництва і необхідності залучення зарубіжного капіталу (рис.1.4).

Великий обсяг робіт з екологізації економіки необхідно виконати в галузі сільськогосподарського виробництва. На основі аналізу специфічних чинників, які діють в сільськогосподарському виробництві, повинен бути проведений аналіз і розрахунок можливих платежів за забруднення природного середовища при організації роботи тваринницьких комплексів, при зберіганні і використанні добрив і засобів



Рис. 1.4 – Структура інструментарію екологізації економіки.

захисту рослин, при скиданні у водойми неочищених дренажних стоків зрошувальних систем.

Практичне застосування розглянутого вище інструментарію екологізації економіки забезпечує створення бази для формування екологічно орієнтованої політики господарювання.

1.3 Економіко-екологічні підходи до розробки інтегрованого управління водними ресурсами в басейні Куяльницького лиману

В наш час планування і управління водними ресурсами зазнає зміни парадигми. Традиційне представлення окремих водних об'єктів і водних ресурсів в цілому як об'єктів максимального споживчого господарського використання йде в минуле. Основною причиною зміни парадигми є той факт, що сучасний розвиток соціально-економічних і виробничих систем у напрямі нераціонального, споживчого використання водних ресурсів територій приводить у результаті до істотних еколого-економічних витрат, збільшення соціальної нерівності, і як наслідок всього, до втрати стійкості даних систем.

В процесі розвитку сучасної цивілізації людство прийшло до розуміння – вода як один з найважливіших елементів навколишнього середовища вимагає всеосяжного інтеграційного управління з урахуванням всіх видів і категорій водних ресурсів Землі, всіх категорій водокористувачів і наслідків їх антропогенного впливу на стан природних вод. Особливого значення в концепції інтегрованого підходу до управління водними ресурсами територій (водних басейнів) набуває оцінка наслідків антропогенного впливу з погляду визначення подальшого існування, стійкого й ефективного розвитку водних ресурсів. За даними [22], сьогодні на кожного жителя Землі в рік припадає до 750 м³ доступної для використання прісної води. За прогнозами ЮНЕСКО до 2050 року, без урахування прогнозованих кліматичних змін, цей показник може зменшитися в середньому до 450 м³, що за класифікацією ООН [23] означає перехід більше 80% країн світу за межі водного дефіциту.

Інтегроване управління водними ресурсами можна охарактеризувати як процес перманентної оцінки водогосподарського балансу території з визначенням постійних тенденцій його змін залежно від впливу багаторівневих і багатозв'язкових чинників: характеру і кількісних показників господарського навантаження як на водний об'єкт, так і на водозбірний басейн в цілому, прогнозованих в майбутньому кліматичних змін і їх впливу на характеристики водних ресурсів досліджуваних територій та ін. Визначення чинників впливу і тенденцій змін водогосподарського балансу зумовлює необхідність подальшої розробки скоординованих планів інтегрованого управління і розвитку водогосподарської діяльності, першочерговим завданням яких повинна бути ув'язка існуючого водно-ресурсного потенціалу з вимогами господарського комплексу території або водного басейну.

Інтегроване управління водними ресурсами регіону повинне розглядатися не як окремі процеси прийняття організаційних, управлінських, технічних, економічних та ін. рішень, а як багатофакторна і багатозв'язкова система управління, в основу якої покладено врахування

взаємодії з водними (поверхневими, підземними, зворотними й ін.) ресурсами всіх інших природних ресурсів (земельних, рекреаційних, кліматичних тощо), що пов'язує економіко-виробничі й соціальні інтереси різних галузей, рівнів ієрархії водокористування і природокористування із залученням всіх зацікавлених сторін в ухваленні рішень, фінансуванні, плануванні, охороні й розвитку водних ресурсів.

Основи сучасної концепції інтегрованого управління водними ресурсами були сформульовані ще в 1992 році на Всесвітній конференції в Дубліні (UNCED), які в подальші роки стали базисом для глобальних реформ водного господарства багатьох країн світу [22]. У період між UNCED в 1992 році і Всесвітнім саммітом по стійкому розвитку в 2002 році в Йоганнесбурзі (WSSD) концепція інтегрованого управління водними ресурсами дістала загальне схвалення Комісії із сталого розвитку, Генеральної Асамблеї ООН і Міністерської Декларації Міжнародної конференції з прісної води [6, 24, 25].

Необхідно підкреслити, що якість води є невід'ємною складовою частиною водно-ресурсного потенціалу будь-якої території або басейну, тому під час розробки планів інтегрованого управління особлива увага повинна приділятися екологічним аспектам оцінки якості вод, визначенню окремих водокористувачів як забруднювачів водного басейну.

Першоосновою розробки схем інтегрованого управління водними ресурсами басейну є загальний облік всіх складових природного і штучного відновлення об'ємів водних ресурсів у межах певних територій, що дає можливість складання поточних водогосподарських балансів, розробки схем раціонального просторового і часового розподілу ресурсу, в т.ч. між окремими водокористувачами з урахуванням їх ієрархії, проведення оцінки якості, управління комплексом водогосподарських заходів, а також контролю допустимих норм антропогенного навантаження на водно-ресурсний потенціал басейну. Крім того, розробка інтегрованого управління водними ресурсами басейну одночасно з вище вказаними завданнями в обов'язковому порядку повинна розглядати питання фінансово-економічного блоку, пов'язані з платним водокористуванням.

При цьому необхідно чітко відрізнити два економічні поняття – вартість і оплату. Вартість води має дуже важливе значення для раціонального використання ресурсу у разі відсутності можливостей повного забезпечення загальних (сумарних) потреб водокористувачів при галузевому або територіальному розподілі. В першу чергу цей факт важливий під час розробки схем альтернативного використання ресурсу як регулюючого інструмента економічного блоку інтегрованого управління водними ресурсами. Плата за воду використовується як економічний інструмент для підтримки уразливих груп водокористувачів, впливаючи на їх поведінку в розрізі економії й ефективного використання природного ресурсу, забезпечуючи стимулювання в управлінні попитом, окупності

послуг, що надаються, і готовності окремих споживачів сплачувати за додаткові водогосподарські послуги [26].

Визнання водного ресурсу як економічного товару є достатньо ефективним засобом в ухваленні рішень із розподілу ресурсу між окремими секторами господарського комплексу або галузями економіки, а також між різними водокористувачами у межах одного сектора або галузі. Вказане має особливе значення у випадках, коли подальше збільшення об'ємів споживання ресурсу фактично неможливе.

Виникнення лиманів Українського Причорномор'я обумовлене просторово-часовими процесами становлення всієї берегової лінії побережжя Чорного моря. Процеси утворення лиманів тісно пов'язані з тектонічними явищами і трансгресіями Чорноморського басейну [27]. Виникнення Причорноморських лиманів як затоплених пригірлових ділянок річкових долин або балок пов'язано, в першу чергу, із затопленням морськими водами річкових долин під впливом підйому рівня моря і опусканням поверхні суші [28].

Лимани Північно-Західного Причорномор'я є унікальними природними системами, важливою складовою частиною водного фонду країни і мають найважливіше природне, рекреаційне і соціально-економічне значення для України.

Всього на ділянці побережжя північно-західної частини Чорного моря в межиріччі Дунаю і Дніпра розташований 21 лиман, які за типом водного живлення підрозділяються на дві великі групи [28]:

1 група – відкриті лимани, які мають достатньо вільний водообмін з морем. У свою чергу до цієї групи лиманів можуть бути віднесені:

- відкриті лимани з відносно великим припливом річкових вод (Дністровський, Дніпро-Бузький та ін.);

- відкриті лимани з незначними показниками річкового припливу (Березанський);

- штучно відкриті лимани з незначними показниками поверхневого припливу (Малий Аджаликський, Сухий та ін.).

2 група – закритий тип лиманів, який найбільш поширений на території Причорномор'я. Ці водні об'єкти утворилися в процесі затоплення гірлових ділянок річок унаслідок загальних геологічних процесів трансгресії побережжя Північного Причорномор'я, а також за рахунок підйому рівня Чорного моря [29]. Водний режим цього типу водоймищ формується за рахунок річкового припливу і надходження підземних вод, а також за рахунок атмосферних опадів (Великий Аджаликський, Будацький, група Тузловських лиманів та ін.). В останні 15-20 років відбулися значні зміни в гідролого-гідрографічному режимі закритих лиманів. Глобальні кліматичні зміни призвели до посилення процесів випаровування з поверхні водойм, яке перевищує кількість опадів. Господарська діяльність на прибережно-схилових територіях

водозбірних басейнів та берегах лиманів призвела до практично повної деградації малих річок.

В цілому регіон Північно-Західного Причорномор'я і його водні об'єкти відіграють особливу роль в розвитку господарського комплексу України. В першу чергу, необхідно відзначити той факт, що на цій території розташовані найбільші морські і річкові порти України, які щорічно забезпечують перевалку практично 90% вантажопотоків країни; через північно-західну частину Українського Причорномор'я проходять маршрути міжнародних транспортних коридорів №7 і №8 (залізничні, річкові, морські), що також значно підвищує роль регіону в сталому розвитку економіки країни. Отже, такі обставини обумовлюють величезні антропогенні навантаження на природні комплекси регіону.

Реалізація європейських програм міжнародних транспортних коридорів і постійне збільшення потоків міжнародного транзиту природних ресурсів дозволяють розглядати Азово-Чорноморський басейн як особливу транспортну зону, яка зв'язує прилеглі країни з Європою. Необхідно також відзначити істотне посилення геоекономічної зацікавленості багатьох держав до Азово-Чорноморського регіону у зв'язку із стратегічним курсом Європейського Союзу на формування єдиної європейської транспортної системи.

Побудова схеми інтегрованого управління водними ресурсами якої-небудь території ґрунтується на ряді ключових принципах, які визначають їх суть [25,30].

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. [31].

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. [12, 23, 26, 32].

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).

Водний басейн 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% [33,34].

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 [33].

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 [2,33, 34] 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» [35-37].

Оцінка надходження прісних вод водотоків в Куяльницький лиман, виконана на основі моделі «клімат-стік», показала, що основна їх частина надходить за рахунок припливу річкових вод Великого Куяльника. Загальний об'єм річкового припливу в природних умовах (непорушених водогосподарською діяльністю) дорівнює 24,0 млн.м³, з цієї величини на р. Великої Куяльник припадає близько 22,3 млн.м³ або 92,9% [36]. Середня багаторічна величина надходження води за рахунок випадання атмосферних опадів становить 26,6 млн.м³, проте, з урахуванням втрат на випаровування з водної поверхні об'єм лиману щорічно поповнюється тільки на 2,24 млн.м³. Причому розглянуті різні сценарії глобального потепління показують, що найближчими роками випаровування з водної поверхні Куяльницького лиману значно перевищуватиме надходження атмосферних опадів до його поверхні.

Основним чинником водогосподарської діяльності в басейні Куяльницького лиману є штучні водойми, які в умовах недостатнього зволоження відіграють фактично роль штучних випарників. Відносна площа водної поверхні штучних водоймищ, за даними різних джерел, змінюється від 0,20% до 0,40%. При цьому зменшення річкового стоку в маловодні роки може досягати 40%, зменшуючись до 10% – в багатоводні роки. Більшість штучних водоймищ в межах досліджуваної території в наш час знаходяться в пересохлому стані і їх негативний вплив на формування річкового стоку проявляється максимально у весняний період при сніготаненні або при зливах, коли в середні за водністю та багатоводні роки на заповнення цих водоймищ витрачається до 35-40% норми річкового стоку, а в маловодні роки безповоротні втрати стоку можуть досягати 90%.

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 [33, 38].

За даними [39,40], 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 басейн 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 [30]. 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, взаємнопідтримуючих і рівноважних природно-господарських комплексів [3].

РОЗДІЛ 2 ПРИРОДНІ РЕСУРСИ БАСЕЙНУ КУЯЛЬНИЦЬКОГО ЛИМАНУ В УМОВАХ ЕКОЛОГІЧНОЇ КРИЗИ

2.1 Загальні відомості про басейн

Басейн Куяльницького лиману розташований у межиріччі річок Дністер та Південний Буг (рис. 2.1). За природним районуванням він відноситься до степової географічної зони [1]. Верхня половина басейну належить до Лівобережно-Дніпровській північно-степовій провінції, нижня – до Причорноморсько-Азовської південно-степової провінції [2]. За ландшафтно-гідрологічним районуванням В.В. Гребеня [3], водозбір Куяльницького лиману належить до степової посушливої ландшафтно-гідрологічної зони. Основним елементом його рельєфу є Причорноморська низовина (Причорноморська акумулятивна лесова рівнина за геоморфологічним районуванням), що поступово знижується у бік Чорного моря [4]. Поверхня низовини плоска, рівнинна. Береги Куяльницького лиману та річок його басейну порізані балками та ярами, вододіли плоскі. Вододіли басейну 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 фанаторійська регресія (від 4,5-4,4 тис. років до н.е. до II-III ст. н.е.) і німорейська трансгресія (триває понині), вплинули на сучасні розміри та конфігурацію лиману [5].

У розвитку улоговини Куяльницького лиману виділено дві стадії: річкова долина та лиман. Останню стадію, у свою чергу, можна поділити на 2 етапи: 1) етап існування відкритого естуарію, 2) лиманний етап, коли водойма втратила зв'язок з морем [6]. Відділення лиману від моря відбулося, відповідно до історичних даних і археологічних розкопок, не пізніше XV-XVI ст. [7].

А.Р. Осмолівський-Ярошенко, який вивчав історію освоєння Куяльницького лиману [8], зробив у 1929 р. такий 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*

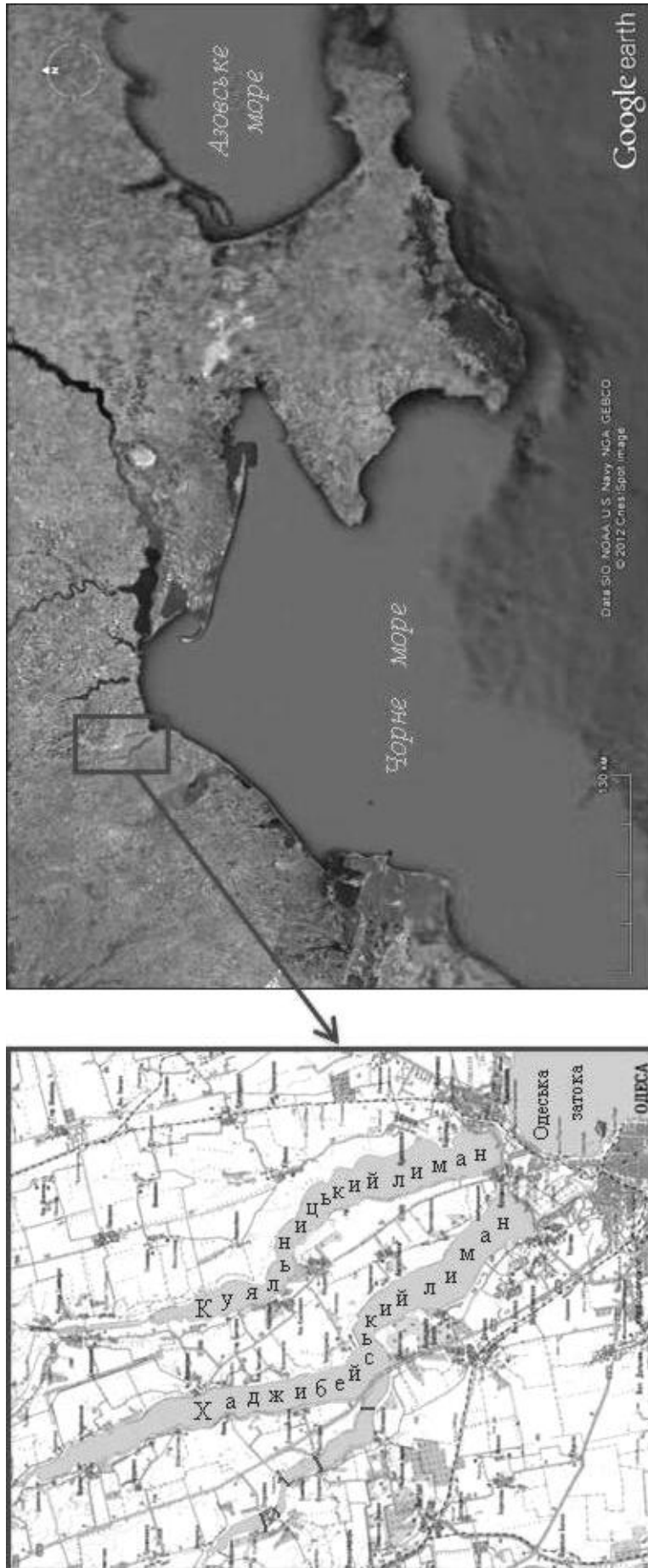


Рис. 2.1 – Місцезаповнення басейну Куяльницького лиману [9]

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». Однак, вже на початку XIX ст. – в атласі Будищева від 1807 р., пересип Куяльницького лиману показано суцільною вузькою смугою, шириною приблизно 100 м [10].

Основною річкою, яка впадає в лиман, є річка Великий Куяльник. Верхня частина басейну річки В. Куяльник знаходиться в межах Подільської височини, з відмітками до 250 м над рівнем моря [11]. 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 становить 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. [12]

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 – 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 малі річки Кошкова та Суха Журовка, в долинах яких тераси відсутні, за винятком заплавної 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 слабко увігнуті) – 20-50 м. Заплавні річки характерні: 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. Він накопичується в присхиловій частині заплави у вигляді конусів виносення. 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 ділянки: верхів'я, верхня та середня, середня, пониззя річки, заплава.

Верхів'я є вузькою глибоковрізаною симетричною долиною. Інтенсивна ерозійна діяльність. Ухил русла 0,95‰. Густота балочної та яружної мережі правого схилу становить 0,30-1,10 шт./км², лівого – 0,20-0,80 шт./км².

Верхня та середня ділянки представляють собою широку долину з першою надзапальною акумулятивною терасою зі слабкопокатим правим і пологим лівим схилами. Для поверхні водозбору характерна інтенсивна ерозійна розчленованість. Густота 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 середньосуглинних, сильно змитих, з деградованими ділянками, внаслідок інтенсивної ерозії. Густота 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 сильнопокатим правим схилом та пологим і слабкопологими лівим схилом. Долина прорізає відклади понтичного, меотичного та сарматського ярусів під лесами. Поверхня є ерозійно розчленованою. Густота балочної мережі на схилах становить 1,4-4,7 шт./км². Русло каналізоване.

Заплава річки – ерозійно-акумулятивна, з потужністю алювію 1-5 м; ширина заплави – 200-1000 м, відносна висота над середнім меженим 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 була 3-10 м, на ділянці 136-0 км – 10-20 м; глибина на плесах – 0,8 м, на перекатах – 0,05 м; замулення – 0,3-0,6 м; заростання – 15-43%.

Схема місцеположення основних водотоків східного берега лиману (річок Довбока, Кубанка, балок Гільдендорфська, Корсунцівська) показані на рис. 2.2, а їх основні морфометричні характеристики – у табл. 2.1.

За адміністративним районуванням басейн Куяльницького лиману розташований на землях Ширяївського, Іванівського, Біляївського та Комінтернівського районів Одеської області [13].

Одещина відносно бідна природними ресурсами, її частка у природно-ресурсному потенціалі України становить лише 3,7% [14]. 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 районах Одеської області, які розміщуються у середній та нижній частинах водозбору (табл.2.2), 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 [15].

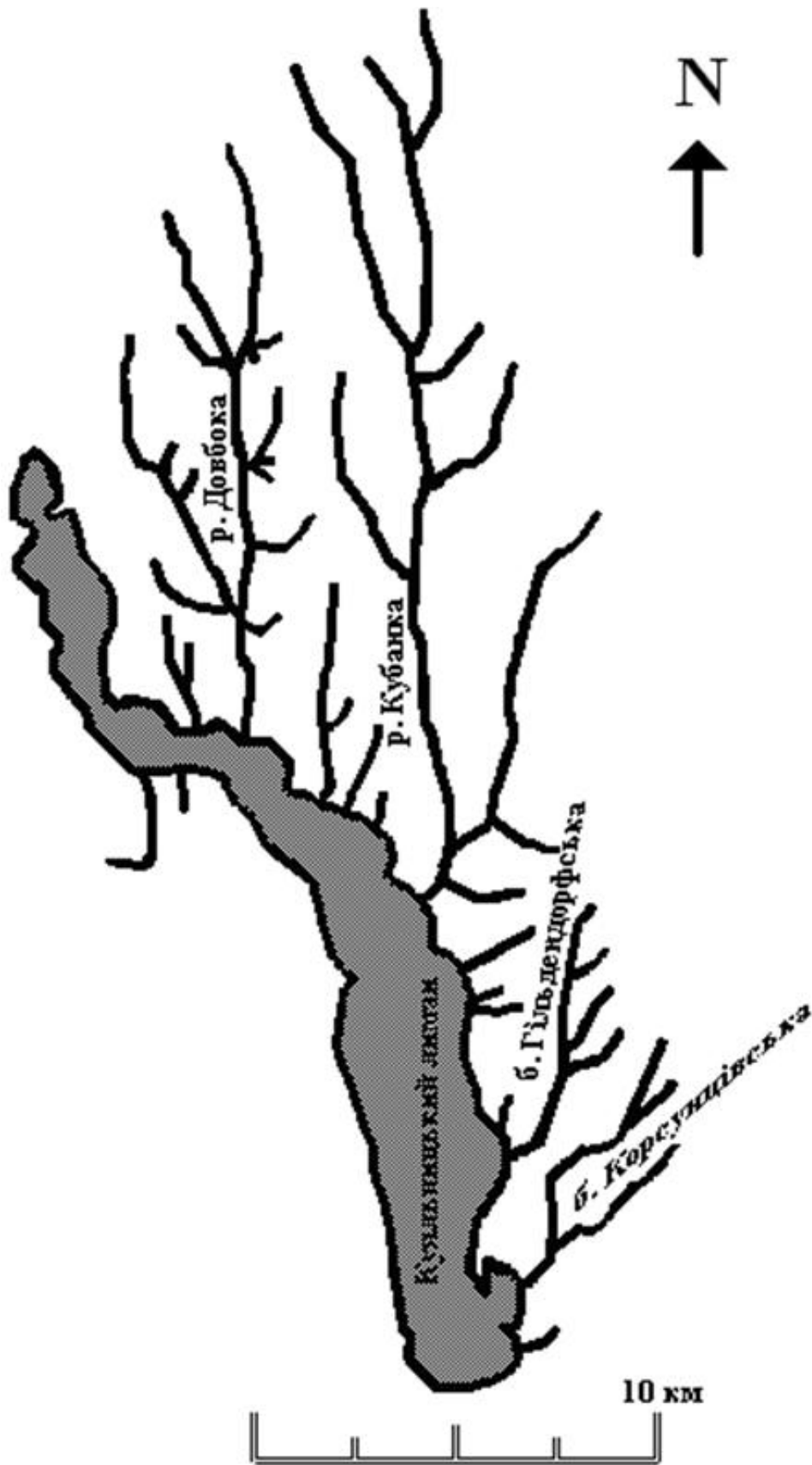


Рис.2.2 – Схема русло-балкової мережі східного та західного берегів Куяльницького лиману

Таблиця 2.1 – Морфометричні характеристики основних водотоків (річок та балок) східного берега 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_e , км ²	H_e , м БС	L_e , км	$V_{e-сер}$, км	$V_{e-мах}$, 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. Гільдендорф- ська (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. Корсунців- ська	6,7	7,5	–	31	6,7	–	–

Примітки: **(15)**, **(5,5)** і т. п. – значення з довідникової літератури [11]; L_p – довжина русла, км; I_p – уклон русла, ‰; F_e – площа водозбірного басейну, км²; H_e – середня висота водозбору, м БС; L_e – довжина водозбірного басейну, км; $V_{e-сер}$ – середня ширина водозбірного басейну, км; $V_{e-мах}$ – максимальна ширина водозбірного басейну, км.

Таблиця 2.2– Компонентна структура природно-ресурсного потенціалу[14]

Район	Потенціал ресурсів,%					
	Мінеральних	Водних	Земельних	Лісових	Фауністичних	Природних рекреаційних
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

2.2 Кліматичні ресурси

За кліматичним районуванням водозбір Куяльницького лиману відноситься до південної кліматичної області [16]. 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 [17]. Згідно із роботою [1] досліджуваний водозбір належить до Південної Атлантико-Континентальної кліматичної області і вміщує в собі північний кліматичний район степової зони, південний кліматичний район степової зони та узбережжя степової зони.

Сумарна сонячна радіація (рис. 2.3) 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 [4]. Влітку значна тривалість сонячного саява забезпечує високі температури повітря й поверхні суші. Найбільш теплі місяці – липень та серпень. Взимку переважає нестійка похмура погода з частими відлигами та короткочасними похолоданнями. Відлиги виникають завдяки надходженню теплого середземноморського повітря, похолодання – арктичного.

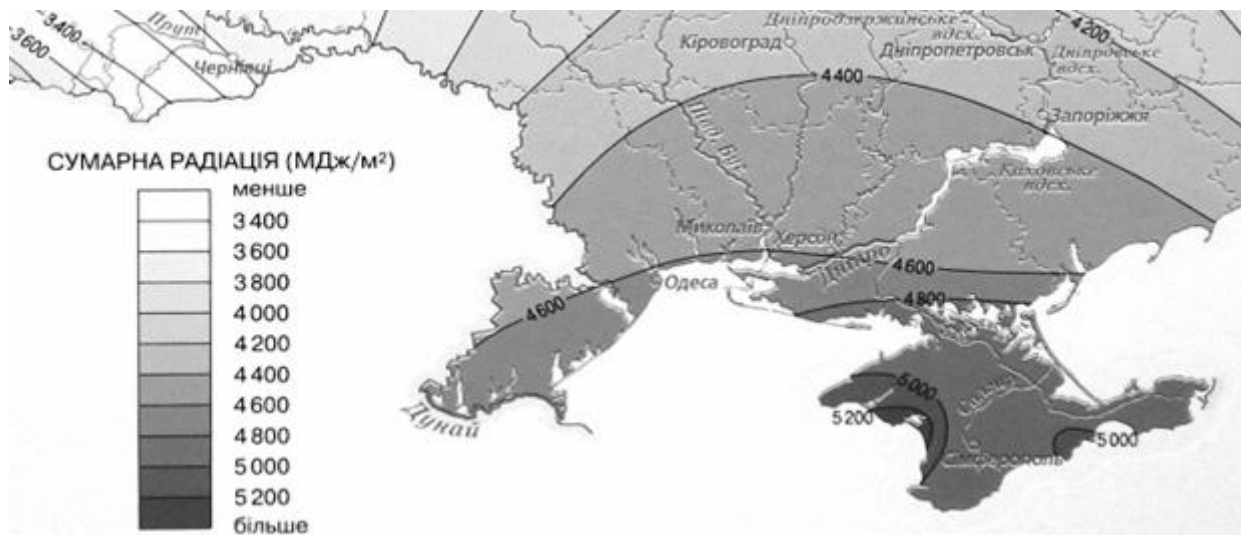


Рис. 2.3 – Сумарна сонячна радіація за рік [1]

Початок весни пов'язується із переходом температури через $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ й відбувається у березні. Кінець весни та початок літа відповідає переходу температури через $15\text{ }^{\circ}\text{C}$, яке відбувається у травні. Кінець літнього сезону також визначається за датою переходу температури повітря через $15\text{ }^{\circ}\text{C}$. 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 зумовлені проходженням холодних фронтів з потужною конвективною хмарністю.

Середня багаторічна місячна температура січня знаходиться у межах від мінус 3 до мінус 4 $^{\circ}\text{C}$, квітня – 9,0 $^{\circ}\text{C}$, липня – більше 22 $^{\circ}\text{C}$, жовтня – 10-11 $^{\circ}\text{C}$ [13]. Зареєстровані максимальна і мінімальна температури повітря відповідно становлять 37 $^{\circ}\text{C}$ і мінус 29 $^{\circ}\text{C}$. Число днів за рік з середньою добовою температурою повітря понад 5 $^{\circ}\text{C}$ дорівнює 220-230 днів, понад 10 $^{\circ}\text{C}$ – 175-180 дням, понад 15 $^{\circ}\text{C}$ – 130-140. Тривалість періоду без заморозків становить 180-190 днів. Середні з абсолютних мінімумів температури дорівнюють мінус 18 – мінус 19 $^{\circ}\text{C}$. Число посушливих днів (з вологістю повітря менше 30 %) становить в середньому 27 на рік. Імовірність настання бездощових періодів тривалістю більше 40 днів дорівнює 75 %, більше 50 днів – 35 %. Кількість днів з температурою повітря понад 30 $^{\circ}\text{C}$ 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. Переважними є вітри північного і північно-західного напрямків. Середньорічна 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. Перехід температури через 0 °С навесні 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 змінилися незначуще. Кількість річних опадів змінилася теж незначуще. Було відзначено зменшення опадів за сезон зима, та їх зростання – восени. Сумарне випаровування з поверхні суші зросло на 40-70 мм [18].

Щодо оцінки біокліматичного потенціалу безпосередньо території Куяльницького лиману, то інтенсивність сумарної сонячної радіації тут становить 4600 мДж/м², тривалість сонячного сьйва за рік - 2220 год, число днів без сонця за рік - 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% [19].

Таким чином, природні кліматичні ресурси залишаються сприятливими для розвитку зеленого туризму та рекреації [20].

2.2.1 Кліматичні особливості на території лиману

Деякі кліматичні особливості, властиві тільки Куяльницькому лиману, відзначені ще в першій половині ХХ ст. В.О. Пальчинським [10], вони 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: 1) вузька смуга уздовж схилу так званої Жевахової гори, зайнята санаторіями; 2) пляж лиману; 3) східний схил Жевахової гори; 4) вододільне плато; 5) 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°С. 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» [21]. Виявлені кліматичні особливості представлені нами у вигляді емпіричних залежностей (рис. 2.4).

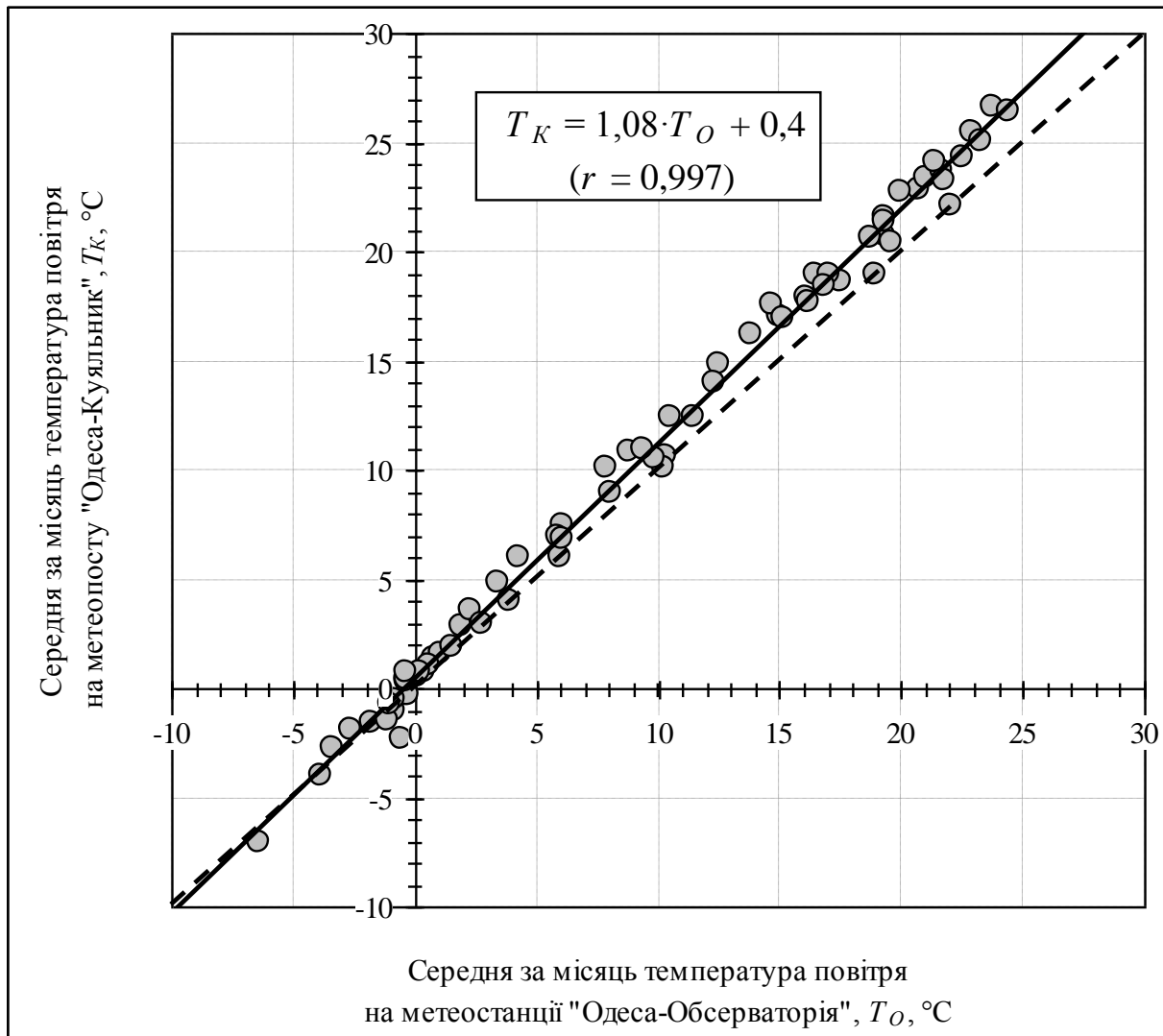


Рис. 2.4 – Зв’язок між середньомісячними температурами повітря (°C) на Куяльницькому лимані T_K (метеопост «Одеса-Куяльник») та метеостанції «Одеса-Обсерваторія» T_0 (за даними ГРЕС [22]):

● – 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. 2.3). 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. 2.5).

Таблиця 2.3 – 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 [21]

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

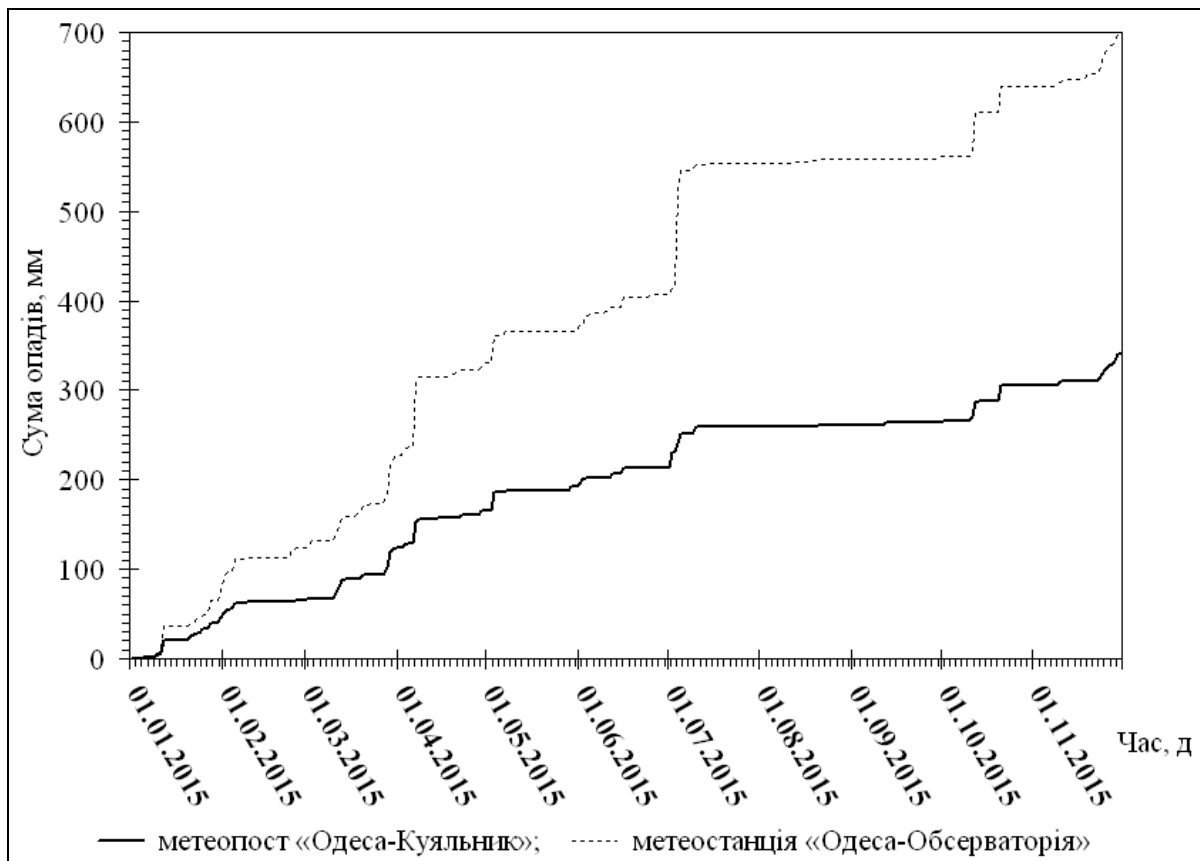


Рис. 2.5 – Суми атмосферних опадів (мм) на Куяльницькому лимані P_K (метеопост «Одеса-Куяльник») та метеостанції «Одеса-Обсерваторія» P_O за період з 1 січня по 30 листопада 2015 р. (за даними ГМЦ ЧАМ [23])

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 менший від одиниці та

зменшується з підвищенням мінералізації води (S , г/дм³) [6,24,25,26]. При мінералізації води 90-330 г/дм³ коефіцієнт випаровуваності дорівнює: $k_s = 1 - 0,002S$.

2.3 Мінеральні ресурси

Одним з найважливіших видів природних ресурсів є мінеральні [27]. 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).

Територія водозбору Куяльницького лиману знаходиться у Південному нафтогазоносному районі [2], але ніяких робіт, пов'язаних із видобутком цих корисних копалин тут не проводилось. Основним джерелом нафтового забруднення водою 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 наш час ведуться роботи з виїмки забруднених нафтою донних осадів зі ставків, видалення забруднених ґрунтів і рекультивациі території ППС [28].

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 та 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, якого 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 [29].

2.3.1. 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 відкладів, подекуди – балтських, тортонських, а також відкладів Київського ярусу полеогену (I^A_1). Середня частина характеризується використанням підземних вод середньосарматських відкладів (I^D_1), нижня – верхньосарматських, меотичних і понтичних відкладень (I^K_1) [13]. У літологічному складі порід, які вміщують воду, переважають піщаники (рис.2.6).

Неогенові відклади середньосарматського ярусу розміщені повсюди: на вододілах – на глибинах 130-150 м, в долинах річок і балок – 5-70 м, потужністю 30-80 м [30]. Вони 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 чередуються з глинами [31]. 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 алевритів. Неогенові відклади балтської свити, яка знаходиться в північно-західній частинах басейну, на вододільному плато та на його схилах має глибину залягання від 0,5 м – на схилах до 46 м – на вододілі, потужність становить 3-120 м, склад – піски, інколи глинисті, з прошарками глини, глини піщані.

Неогенові відклади понтичного шару, розташованого в середній і південній частинах басейну на вододільному плато та на його схилах, характеризуються глибиною, яка змінюється від 0,5 м – на схилах до 40 м



Рис. 2.6 – Основні водоносні горизонти та гідрогеологічне районування басейну Куяльницького лиману [13]

– на вододілі, має потужність 2-50 м, переважають піски, вапняки, глини з прошарками піску. Неогенові відклади верхнього пліоцену (вододільне плато і схили) з глибинами від 1,5 м – на схилах до 20 м – на вододілі, з потужністю від 2 м – на схилах до 26 м – на вододілах представлені червоно-бурими глинами.

В гирловій частині р. В. Куяльник та у верхів'ях Куяльницького лиману нижче мулів (потужністю до 4 м) залягають алювіальні піски пилуваті та дрібнозернисті, супіски, суглинки. Їхня загальна потужність (або потужність єдинопредставленої в розрізі породи) становить 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 відкладів 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. 2.7) [32].

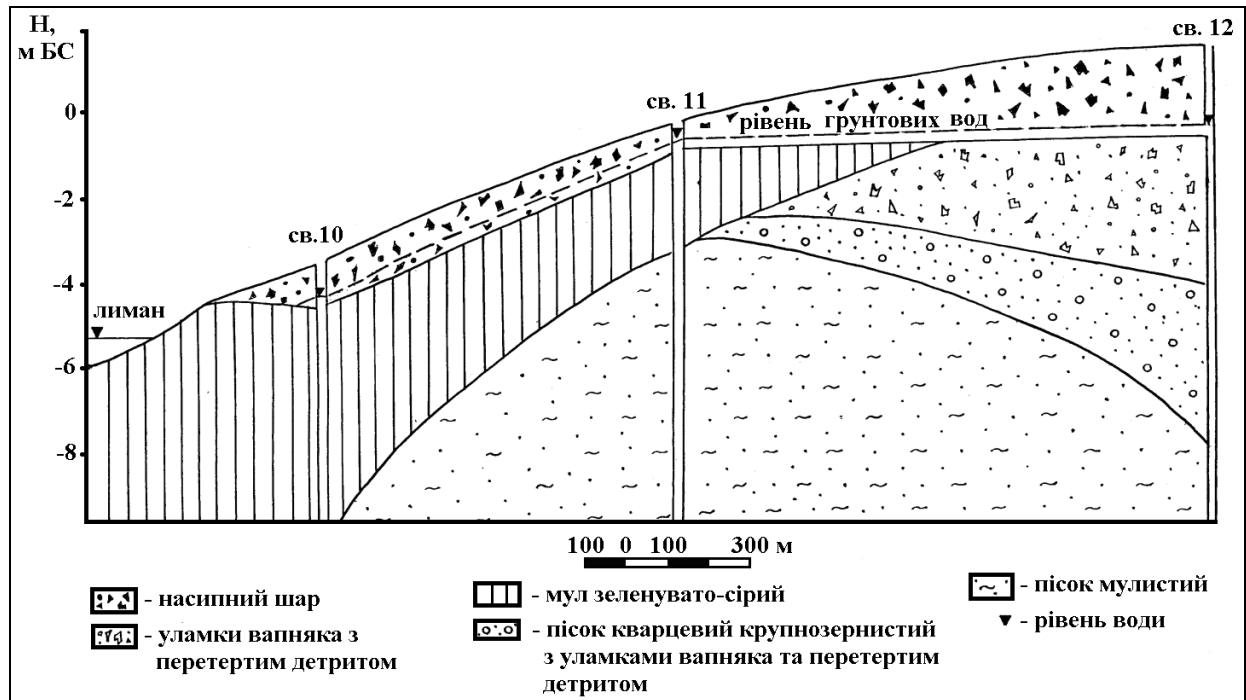


Рис. 2.7 – Гідрогеологічний розріз пересипу між лиманом і морем [32]

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 [33].

2.4 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.2.8), що утворилися під ковило-типчakovими степами в умовах посушливого клімату.



Рис.2.8 – Ґрунтовий покрив у басейні Куяльницького лиману [1]:

--- – русла річок і балок та межі водозбірних басейнів водотоків

На території басейну переважають такі ґрунти: чорноземи південні важкосуглинисті та легкосуглинні, чорноземи звичайні малопотужні малогумусні важкосуглинкові і легкоглинкові, чорноземи звичайні середньогумусні важко- і легкосуглинкові, чорноземи звичайні середньогумусні потужні важко- і легкосуглинкові [12, 34].

Басейн Куяльницького лиману розташований в ерозійному районі Чорноморсько-Приазовської провінції сильно розвиненої вітрової ерозії ґрунтів (згідно районування території України з потенційної небезпеки ерозійних процесів) [13], тому структура ґрунтового покриву обумовлена

процесами ерозії. Ступінь прояву ерозії в басейні: 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 розпилуванні структури, зменшенні кількості водостійких агрегатів, підвищенні щільності коренезаселених горизонтів, зменшенні водовбираючої і фільтраційної здатності, посилення ґрунтової посухи.

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

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

Високий ступінь розораності вододільних і привододільно-схилових територій (порядку 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 зміна структури верхніх горизонтів чорноземів в порівнянні з 50-60-ми роками минулого століття. Однією з ймовірних причин цього є вітрова ерозія розораних ґрунтів в останні 30-50 років і видування найбільш дисперсних частинок (розміром менше 0,01 мм), у тому числі й гумусових. Основною ж причиною дегумусофікації ґрунтів регіону є зменшення надходження до них рослинних залишків і практична відсутність внесення органічних добрив в останні десятиріччя [35]. Інтенсивне землеробське освоєння територій рівнинних вододілів і привододільних пологих схилів призвело до інтенсифікації процесів виникнення зсувів і погіршення стану екосистеми Куяльницького лиману.

Колективами Одеського національного університету імені І.І. Мечникова та Фізико-хімічного інституту захисту навколишнього середовища і людини для оптимізації природоохоронно-екологічного стану ґрунтів 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 [36].

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.

2.5 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 [37]. 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 – 1860 км². Середній багаторічний об'єм припливу прісних вод у непорушених водогосподарською діяльністю умовах до 80-х років минулого сторіччя, визначений за моделлю «клімат-стік» [38], становив би 22,2 млн.м³, але через вплив господарської діяльності зменшився на 38% (до 13,2 млн.м³) [39]. За В.М. Тімченком [40], надходження до Куяльницького лиману прісних вод із опадами становило 28 млн.м³, а випаровування – 45,2 млн.м³.

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 недбалу господарську діяльність. Законодавчо в Україні виділена категорія земель, яка має назву земель водного фонду, до неї належать водоохоронні зони, береберні 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 [41], з використанням просторових узагальнень розрахункових параметрів, наведених у роботі В.Г.Сорокіна [42], 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 [43], скоріш за все пов'язане із стічними водами або процесами підтоплення.

До водоносних горизонтів, які дренуються руслом річки, відносяться горизонти четвертичних алювіальних відкладень [12]. Водоносний горизонт в сучасних алювіальних (a_{IV}) і алювіально-делювіальних (ad_{IV}) відкладах поширений у заплаві річки і тальвегах балок. Водовмісними 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 1-2 м, питомий дебіт – 0,05-0,45 дм³/с, продуктивність водозаборів – 0,02-0,5 дм³/с. Використовується для господарсько-побутових цілей.

Водоносний горизонт в еолово-делювіальних відкладах (vd_{I-III}) розповсюджений на вододільному плато та його схилах. Водовмісними 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 – 1-15 м, на схилах плато – 0-5 м, потужність горизонту 1-5 м, питомий дебіт 0,2-0,3 дм³/с, продуктивність водозабірних споруд 0,02-0,4 дм³/с. Використовується для господарських і питних цілей.

Особливістю більшості річок Північно-Західного Причорномор'я є глибоке розташування багатих водою горизонтів у сарматських відкладеннях. В міру наближення до моря ці горизонти ще більше заглиблюються, що спричиняє незначне живлення річок підземними водами та їх пересихання у дуже маловодні роки.

Зміни клімату, які відбуваються у останні десятиріччя, починаючи з 1989 р. [3], і характеризуються зростанням температур повітря на фоні малозмінних опадів, здатні зменшити стік річок і посилити випаровування, через що відбувається обміління лиману. Так, протягом останніх п'яти років спостерігається інтенсивне пересихання річок Суха Журівка, Кошківка та інших річок водозбору річки Великий Куяльник [29]. Нещодавно було зафіксовано повне пересихання річки Великий Куяльник на території Ширяївського району довжиною 61,5 км, що становить 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.

Поверхневі води не задовольняють потреби господарства та населення як за кількістю, так і якістю. Великою проблемою є скидання стічних вод у водотоки водозбору Куяльницького лиману. Очисні споруди знаходяться у незадовільному технічному стані. Через фінансові труднощі не здійснюється реконструкція каналізаційних мереж та очисних споруд [43]. 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 очистки. Зокрема, не виконуються вимоги чинного законодавства, ст. 28 Закону України «Про курорти», що передбачає створення округу санітарної зони (рис. 2.9), 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 [44].

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 [17].

2.6 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 [45].

Рекреаційний потенціал – це система 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.

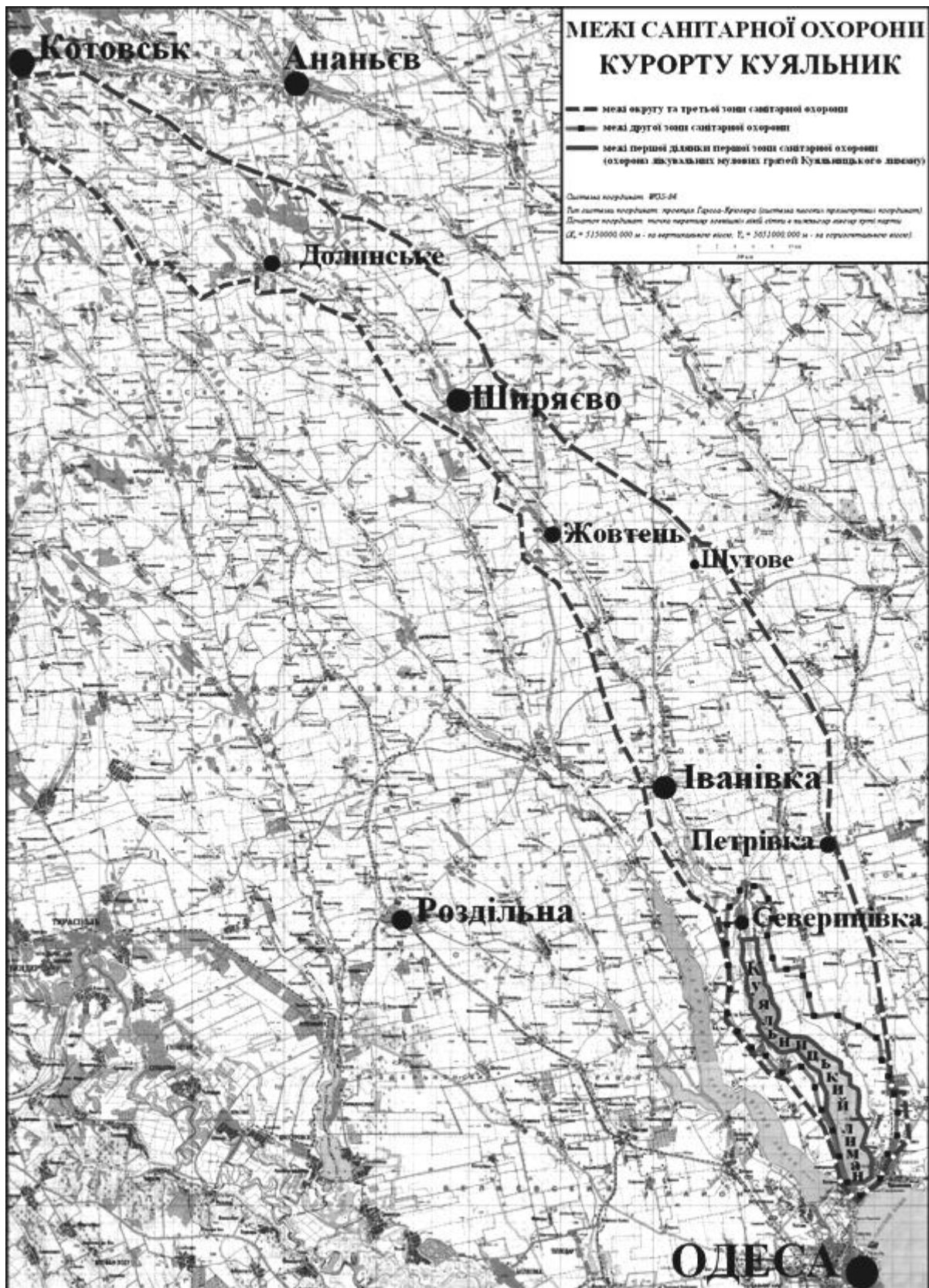


Рис. 2.9 – Місцезнаходження басейну р. В. Куяльник та межі санітарної охорони курорту Куяльник [15]

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. 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 [46]. Перший лікувальний заклад для надання «теплих ван», де під керівництвом дивізійного лікаря Е.С. Андріївського були використані медичні технології грязелікування та водолікування, був відкритий у 1833 р. на березі Куяльницького лиману. В 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. В 1892 р. за ініціативою бальнеологічного товариства на Куяльницькому лимані був побудований новий грязелікувальний заклад, який функціонує і зараз. Курорт спеціалізується на лікуванні хворих із захворюваннями суглобів, опірно-рухового апарату, хворих на дитячий церебральний параліч, 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 [47,48,49].

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 належать 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 встановлено, що геологічні запаси чорного мулу склали 15029 тис. м³, чорного і темно-сірого — 23848 тис. м³; балансові: чорного мулу – 11042 тис. м³, чорного і темно-сірого – 15327 тис. м³ [48].

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 межі 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 [49].

У 2009 р. запаси лікувальних грязей (пелоїдів) було розвідано і підраховано в південній частині лиману та затверджено ДКЗ України (протокол від 22.01.2009 р. № 1695) в об'ємі 191 тис. м³ за категорією В на двох ділянках першочергових робіт станом на 01.01.2009 р. Медичними показаннями для використання пелоїдів є захворювання опорно-рухового апарату, периферичної нервової системи, гінекологічні захворювання, захворювання органів травного тракту [48].

Відповідно до Закону України «Про курорти», всі природні лікувальні ресурси повинні мати медичний (бальнеологічний) висновок, зроблений на основі 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;

- ропи 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 ставляться до зон санітарної охорони курортів [48].

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. Противники такого способу, зокрема, 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 [50]. 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 перевищують 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 призводить 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 основі модельних експериментів) про екологічну безпеку (в хімічному відношенні) наповнення лиману морською водою.

Якість лікувальних грязей залежить не тільки від природних умов, а й від навколишнього середовища. Куяльницький лиман є частиною Одеської міської агломерації і пов'язаний з її інфраструктурою. У роботі В.І. Золотова та Т.М. Поліщук [51] 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 Куяльника, 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» [52]. 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 [53].

РОЗДІЛ 3

ОЦІНКА ЗМІН НАВКОЛОВОДНОЇ ТА ВОДНОЇ БІОТИ БАСЕЙНУ КУЯЛЬНИЦЬКОГО ЛИМАНУ В УМОВАХ ГОСПОДАРСЬКОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ТА ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛІННЯ

Цілеспрямоване відновлення гідроекосистеми Куяльницького лиману, як і будь якої екосистеми, потребує цілісного системного сприйняття через осмислення причинно-наслідкових проявів взаємодії біотичної та абіотичної складових. Вище було показано, що суттєвим фактором нищівної трансформації гідроекосистеми Куяльницького лиману є загальне зневоднення водозбору, посилене макрокліматичними змінами у бік аридності. Причому ця руйнація (що буде показано далі) дуже посилена антропогенним фактором прямої дії – перекриттям русел живильних річок, пасовищною дегресією, засміченням тощо. Наслідковими проявами в цих умовах логічні значущі зміни стану біоти, яка є невід'ємною екосистемною складовою.

Біота екосистеми басейну Куяльницького лиману складається з наземної суходільної, наземної навколководної та водної (рис. 3.1). Закономірно, що вони прямо або опосередковано взаємопов'язані, тому оцінюючи стан, наприклад, водної не можна ігнорувати інші.



Рис. 3.1 – Біотопічна структура екосистеми водозбору Куяльницького лиману

У наш час руйнівна трансформація екосистеми перш за все у абіотичної складовій зайшла настільки далеко, що це спонукало до практичних реабілітаційних заходів інженерними засобами (заповнення лиману морськими водами). Між тим, у світовій літературі обговорюється вельми слушна думка про те, що відновлення екосистеми лише інженерними засобами замало: екосистема – це корелятивна єдність біотичних та абіотичних складових. З цього витікає, що зміни абіотичного порядку ведуть до змін у структурі біоти. Дійсно, за свідченням палеонтологів, природні глобальні абіотичні зміни протягом історії Землі призвели до епохального вимирання цілих макротаксонів, але з еволюційним заміщенням їх іншими, навіть з відмінною біологічною організацією. У свою чергу, штучні антропогенні зміни абіотичного осередку за механізмом дії на біоту відрізняються швидкоплинністю, що не дає часу популяціям на адаптацію до нових абіотичних умов.

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 відзначити, що ці очікувані «результати» у більшості не піддаються контролю. Про це свідчить, наприклад, поки відома проблематика 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 цей час стратегії реабілітації екосистем спрямовані на виявлення і виправлення ключових негативних абіотичних факторів, а далі йде сподівання на здатність біоти до самовідновлення, де біологічним ресурсом є просторово-досяжні більш-менш цілісні подібні екосистеми. І цей принцип працює.

На означеній методологічній платформі для відновлення і подальшої підтримки екосистемної сталості 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 зональних екологічних процесів, тому сучасні зміни довкілля з однозначною тенденцією до втрати біорізноманіття наземного та водного осередків мають певні прояви і у екосистемі басейну Куяльницького лиману. Таким чином, проблематика Куяльницького

лиману не є унікальною і може піддаватись широко рекомендованій методології оцінок екосистем (в тому числі через критерій біорізноманіття) з аксіоматичним сприйняттям про пряму залежність стабільності екосистем від числа наявних видів [1-5]. 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. В цьому зв'язку, доречними будуть такі оцінки, що поєднують системні причинно-наслідкові прояви у екосистемній структурі [6-10]. Крім того, принцип оцінок на критеріях видової різноманітності також недостатньо презентативний згідно з поняттям вікаріату, коли однотипні ценози не мають спільних видів, а різнотипні дають високі значення індексів видової подібності (наприклад, за Шенноном) [11]. Доречно також відзначити, що буде не коректним і постулат про те, що види в екосистемі так тісно пов'язані між собою, що зникнення одних неминує відіб'ється на всіх інших [12]. Зважаючи на сказане, коректною обліковою одиницею у екологічних оцінках може бути не кількість видів, а спільноти організмів, що виступають в екосистемі як еволюційно сформоване структурно-функціональне природне утворення, яке характеризується специфічними екологічними нішами, і саме які можуть розглядатись одиницями біогеоценозу [13].

Доречно відмітити, що методологія роботи з видовим різноманіттям у більш-менш повному обсязі на рівні екосистем має нездоланні труднощі, які полягають у неможливості обліку та видової ідентифікації всіх видів на всіх стадіях розвитку. У зв'язку з цією обставиною доцільним буде залучення досвіду використання екосистемних оцінок на базі так званих ключових таксоценів, які в достатній мірі здатні відображати структурно-функційні особливості екологічних спільнот у вигляді ключових консортивних мереж або окремих консорцій.

Під консорцією розуміється певна сукупність популяцій різних видів, у центрі якої знаходиться популяція певного автотрофного або гетеротрофного виду (консортоутворювач або детермінант, або едифікатор консорції). Всі компоненти такої сукупності пов'язані з цим центром трофічними, топічними, фабричними, форичними зв'язками, під впливом яких формується специфічний екологічний осередок [14]. Крім того, консорція розглядається як стійка біотична система видових популяцій, пов'язаних між собою відносинами, при яких детермінант виступає як джерело ресурсу, консорти – як споживачі ресурсу. Відповідно, у консорції детермінант (або едифікатор) є ядром, який надає топічний, трофічний, фабричний ресурси.

Консорція, у свою чергу, сприймається як упорядкована цілісна і якісно однорідна структура, визнана на критеріях біорізноманіття, міжвидових відношень (конкуренція, симбіоз і т.п.). На цій основі біота сприймається вже як екосистемна структурно-функціональна біологічна єдність. Тобто, різноманіття і специфічність структур консорцій відображають структурно-функціональний склад і особливість кожної окремої екосистеми.

Оцінка особливостей екосистеми басейну Куяльницького лиману розглядається саме в такому ракурсі – на прикладах ключових консортоутворювачів та консортів, що віддзеркалюють стан середовища біотопів водозбору та безпосередньо Куяльницького лиману.

Це досягається через конкретизацію реально існуючих консортивних систем з встановленим видовим складом консортів з відомими еколого-біологічними стандартами відносно реакції на головний спектр факторів життєвого осередку. В іншому випадку виникає абстраговане сприйняття не тільки консортивних систем, але й самої екосистеми, що саме по собі не має ніякого практичного значення.

За означеним підходом розглядаються рослинність, формації якої виступають детермінантами консорцій в умовах наземної суходільної частини і разом з ними ключових достовірно визначених видових популяцій-консортів вищих порядків, що складають мережу консорцій в якості структурно-функційного кістяка наземної суходільної та коловодної частини екосистеми басейну Куяльницького лиману. За цим же принципом розглянуто структуру гідробіонтів в різних умовах гідрологічного режиму. Крім того, означений підхід дає підстави до розуміння причинно-наслідкових проявів екосистемних сукцесій, а далі – створення дійових шляхів управління у вигляді науково обгрунтованих заходів для відновлення біорізноманітності на основі природних законів існування рослинно-тваринних спільнот та зваженої регламентації антропогенного фактору.

Природним фоном наземної суходільної частини екосистеми басейну Куяльницького лиману є степова зона [15]. 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 [16]. Показово, що в цьому контексті басейн Куяльницького лиману віднесено до ключової території національного рівня в складі екомережі України з визначенням як «Куяльницько-Хаджибейська» [17].

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.

Вагомою обставиною є те, що наданню басейну Куяльницького лиману статусу ключової території передували фундаментальні спеціальні геоботанічні, флористичні, зоологічні дослідження як окремих фахівців, так і колективів дослідницьких установ. Метою цих досліджень була біоекологічна оцінка території з точки зору рослинного та тваринного біорізноманіття з відповідними природоохоронними, ландшафтними класифікаціями. Але роботи в більшості були представлені як констатація складу біоти та ступеня її вразливості без екологічних узагальнень. Причому, якщо рослинна складова досліджена досить досконало, то зоологічні, зокрема ентомологічні, напрацювання є поверхневими. Тобто, описове висвітлення біоти явно недостатнє: екосистема, як це вже неодноразово підкреслено, існує не у вигляді сукупності дискретних видових популяцій як таких, а у вигляді рослинно-тваринних комплексів, структурованих у консортивні мережі на основі специфічних історично сталих трофічних, топічних, фабричних зв'язків між ними. У зв'язку з цією обставиною навіть у вступному описі типових рис біоти басейну Куяльницького лиману передбачено системне узагальнення.

3.1 Загальна характеристика наземної суходільної екосистеми Куяльницького лиману

Однозначно ключове місце у формуванні наземного біорізноманіття становить рослинність. З геоботанічної точки зору, більша частка території басейну Куяльницького лиману відноситься до Одеського округу злакових і полиново-злакових степів, засолених луків, солончаків і рослинності карбонатних відслонень. У свою чергу, округ відноситься до Чорноморсько-Азовської степової підпровінції Понтічної степової провінції Степової підобласті Євразійської степової області [18].

За опублікованими даними, тут було зареєстровано близько 800 видів судинних рослин. З них 17 видів занесені до Червоної книги України, по 4 види - в Європейський червоний список і червоний список МСОП, 15 видів – охороняється на території Одеської області.

Рослинність справедливо вважається основою біотичної компоненти екосистем і сприймається як наріжний камінь, який визначає цю залежність. Зокрема, вказується, що збільшення різноманітності рослин

безпосередньо веде до більш високої різноманітності пов'язаних з ними запилювачів та фітофагів у вигляді так званого «мультитрофічного ефекту», який проявляється у кореляції різноманітності кормових рослин з різноманітністю і щільністю популяцій перш за все бджолиних з прямим впливом на щільність популяцій консументів вищих порядків.

За геоботанічною характеристикою, для регіону типовою залишається степова рослинність з розширенням площ рудеральної, виникаючих під впливом розорення земель та пасовищної дегресії. На лукових ділянках вагому частину площ починають займати спільноти галофітів.

У степовій рослинності залишаються спільноти з пануванням ковилів (ковил Лессінга – *Stipa lessingiana*, ковил волосистий – *Stipa capillata*, і ковил український – *Stipa ucrainica*) і типчака валіського (*Festuca valesiaca*). На виходах вапняків поширена петрофітно-степова рослинність з домінуванням келери короткої (*Koeleria brevis*), чебрецю двоформного (*Thymus dimorphus*) та ін.

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

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

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

У цей час, в зв'язку з пересиханням річки В. Куяльник та самого верхів'я Куяльницького лиману прибережно-водна рослинність заміщена солянками.

Особливо показовим для флористичних змін останнього часу є висновок про те, що у структурі фітоценозів на узбережжі Куяльницького лиману високу питому вагу стала займати рудеральна рослинність [19].

Вказується, що на зміну типовим степовим видам приходять такі як *Plantago major*, *Malva pusilla* Smith, *Polygonum aviculare* L., *Lepidium ruderale* L., *Grindelia squarrosa* (Pursh) Dun., *Diploaxis tenuifolia* (L.) DC., *Anisantha tectorum* (L.) Nevski, *Cardaria draba* (L.) Desv. та ін. На межах сільськогосподарських угідь зростають *Consolida regalis* S.F. Gray, *Senecio vernalis* Waldst. & Kit., *Reseda lutea* L., *Amaranthus blitoides* S. Wats., *Lappula squarrosa* (Retz.) Dumort., *Vicia cracca* L., *Aegilops cylindrica* Host,

Glaucium corniculatum (L.) Rudolph. , *Bromus japonicus* Thunb. , *Carduus uncinatus* M. Bieb. , *Centaurea solstitialis* L. , *Chenopodium album*, *Papaver dubium* L. , *Alyssum hirsutum*, *Ballota nigra*, *Cirsium lanceolatum* Scop. та інші.

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

Прилеглі суходільні смуги в долині Куяльницького лиману були віднесені до числа степових рефугіумів Правобережжя України.

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

Куяльницький лиман також був визнаний унікальною екосистемою за видовою специфікою амфібій і рептилій. Тут зустрічалися 7 видів амфібій і 7 видів рептилій. Деякі з них, будучи типовими мешканцями лісостепової та лісової зон, проникали на південь долиною р. В. Куяльник.

З амфібій в гирловій зоні р. В. Куяльник і в прісноводних водоймах на пересипу між лиманом і морем мешкав звичайний тритон (*Triturus vulgaris*), червоночерева жерлянка (*Bombina bombina*), часничниця звичайна (*Pelobates fuscus*), сіра жаба (*Bufo bufo*), зелена жаба (*Bufo viridis*), квакша звичайна (*Hyla arborea*), озерна жаба (*Rana ridibunda*). З рептилій – болотяна черепаха (*Emys orbicularis*), вуж звичайний (*Natrix natrix*), вуж водяний (*Natrix tessellata*), зелена ящірка (*Lacerta viridis*), прутка ящірка (*Lacerta agilis*), червонокнижний полоз жовточеревий (*Coluber jugularis*) і чотирьохсмугий (*Elaphe quatuorlineata*). Для таких видів рептилій, як жовточеревий і чотирисмугий полози, а також ящірок життєвим середовищем є схилі степові ділянки.

Для птахів Куяльницький лиман служив унікальною ланкою міграційного ланцюга водно-болотних птахів у Афро-Євразійському коридорі їх прольоту. Станом на 2004 р., тут у періоди міграцій, гніздування і зимівлі відмічено більше 200 видів птахів фауни України [20, 21].

В попередні роки було зареєстровано декілька видів ссавців, серед яких є вкрай рідкісні або зникаючі не тільки в Одеської області, але також в Україні та Європі. Ссавців цієї території, крім кажанів, налічується 28 видів: звичайний їжак – *Erinaceus europaeus* L., звичайний кріт – *Talpa*

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

3.1.1 Характеристика фонові консортоутвірної рослинності та фітоценотичні осередки в наземних суходільних біотопах басейну Куяльницького лиману

За визначенням саме рослинність становить той фон, на якому формується весь спектр топічних та трофічних взаємозв'язків тваринного та рослинного світу будь-якої екосистеми. Таким чином вже на цьому рівні формуються базові консортивні відношення рослинної та тваринної складових, специфіка яких і відображає екосистемні особливості.

Зональним фоном екосистеми басейну Куяльницького лиману у значній його частині є степова зона і у меншій – лісостепова (виток річки В. Куяльник) з відповідними фітоценотичними осередками.

Степові ценози долини річки В. Куяльник збереглися на схилах долини та прилеглих балок. Найбільше проєктивне покриття підмічено за типчакково-ковилловими угрупованнями з домінуванням *Stipa lessingiana* з степовим різнотрав'ям – *Salvia nutans*,

Vinca herbacea, *Jurinea arachnoidea*, *Galium ruthenicum*, *Crambe tatarica*, *Potentilla argentea*, *Astragalus onobrychis*, *Linum tenuifolium*, *Artemisia austriaca*, *Adonis vernalis* тощо.

Визначено, що на верхів'ях схилів на вирівняних ділянках більш звичайні угруповання з домінуванням *Stipa capillata* з асоціаціями *Stipetum (capillatae) stiposum (lessingianae)*, *S. festucosum (valesiaca)*, *S bromopsidosum (inermis)*. Крім домінантів (*Stipa capillata*, *Festuca valesiaca*, *Bromopsis riparia*) у їх травостой трапляються типові види степового різнотрав'я – *Artemisia austriaca*, *Sideritis comosa*, *Euphorbia seguieriana*, *Teucrium polium*, *T. chamaedrys* тощо. На виходах вапняків зустрічаються такі петрофіли як *Ephedra distachya*.

Угруповання формації *Stipeta pennatae* більш рідкісні. У їх складі основне місце посідають ксерофітні і мезоксерофітні щільнодернинні злаки (*Stipa pulcherrima*, *Festuca valesiaca*, *Koeleria cristata*) з великою питомою вагою петрофільного та псамофітного степового різнотрав'я – *Linum flavum*, *L. tenuifolium*, *Vicia elegans*, *Convolvulus cantabrica*, *Veronica spicata*, *Iris pumila*.

На пологіших схилах трапляються степові угруповання з домінуванням *Caragana frutex* (асоціації *Caraganetum (fruticis) stiposum (lessingianaе)*) та *C. festucosum (valesiacaе)*.

Петрофітні степові формації *Ephedreta distachyae* приурочені до схилів з кам'янисто-щебнистими осипами. Домінуючими тут визначено асоціації *Ephedretum (distachyae) stiposum (lessingianaе)* та *E. festucosum (valesiacaе)* з перевагою у травостої петрофітно-степових *Thymus dimorphus*, *Ajuga chia*, *Thesium arvense*, *Alyssum rostratum*, *Jurinea brachycephala*. Разом з ними окремими незначними за розміром ділянками трапляються угруповання з домінуванням *Paronychia cephalotes* та *Thymus dimorphus*.

Лучні ценози у заплавах та тальвегах балок були представлені формацією *Elytrigieta repentis*. Видовий склад цих угруповань складають *Securigera varia*, *Cichorium intybus*, *Poa annua L.*, *Euphorbia seguieriana*, *Artemisia austriaca*.

Серед чагарників на схилах частіше зустрічаються угруповання формації *Crataegeta praearmatae*, що утворені *Crataegus alutacea*, *Rosa corymbifera*, *R. klukii*, *R. diacantha*, *R. canina*. Деяко рідше представлені угруповання формацій *Crataegeta praearmatae* та *Pruneta spinosae* з незначним покриттям угруповання асоціації *Prunetum spinosae purum*. У її складі небагато видів. Подекуди розріджені чагарники можуть утворювати *Rosa corymbifera*, *Crataegus praearmata*, *Caragana frutex*, у травостої яких є найчастішими *Elytrigia repens*, *Achillea millefolium*, *Marrubium praecox*, *Ballota nigra*, *Galium ruthenicum*, *Verbascum marschallianum*.

У балках та на схилах північних та східних експозицій трапляються загущені чагарникові ценози за участю *Sambucus nigra*, *Rhamnus cathartica*, *Euonymus verrucosa*, *Ulmus minor*.

У долині Куяльницького лиману найбільші площі займає степова рослинність з домінуванням ценозів формації зонального маркера типових степів України – *Stipeta lessingianaе* (ковил лесінга).

Формація *Stipeta lessingianaе* в умовах басейну Куяльницького лиману представлена асоціаціями:

- валіськокострицево - лессінгоковилова - (*Stipetum (lessingianaе) festucosum (valesiacaе)*);
- вузьколистотонконогово - лессінгоковилова *Stipetum (lessingianaе) poosum (angustifoliaе)*.

Типове різнотрав'я формацій *Stipeta lessingianaе* утворюють шавлія поникла (*Salvia nutans* L.), барвінок трав'янистий (*Vinca herbacea* Waldst. et Kit.), юринея павутиниста (*Jurinea arachnoidea* Bunge), підмареник руський (*Galium ruthenicum* Willd.), катран татарський (*Crambe tataria* Sebeok.), лапчатка срібляста (*Potentilla argentea* L.), астрагал еспарцетний (*Astragalus onobrychis* L.), льон (*Linum tenuifolium* L.), полин (*Artemisia austriaca* Jacq.), адоніс весняний (*Adonis vernalis* L.) тощо.

Значно рідше трапляються угруповання з домінуванням *Stipa capillata*. Вони займають вирівняні ділянки на верхів'ях схилів і представлені асоціаціями:

- лессінгоковиловою – волосистоковиловою - *Stipetum (capillatae) stiposum (lessingianaе)*;
- валіськокострицевою - волосистоковиловою *Stipetum (capillatae) festucosum (valesiacaе)*;
- бородачево-волосистоковиловою (*Stipetum (capillatae) botriochloosum (ripariaе)*).

Крім домінантів *Stipa capillata*, *Festuca valesiaca* Gaud., *Bromopsis riparia* (Rehm.) Holub (залежно від асоціації), у складі різнотрав'я зустрічаються такі типові степові види як *Artemisia austriaca*, *Sideritis comosa* (Rochel ex Benth.) Stank., *Euphorbia seguieriana*, *Teucrium polium* L., *T. chamaedrys* L. тощо. Подекуди на відслоненнях вапняків до травостою додається *Ephedra distachya* та інші петрофітні види.

На первинних ділянках трапляються рідкісні одноярусні трав'яні угруповання формації *Stipeta pulcherrimae*, представлені асоціаціями *Stipetum (pulcherrimae) stiposum (capillatae)* та *S. festucosum (valesiacaе)*, у складі яких домінують ксерофітні й мезоксерофітні щільнодернинні злаки (*Stipa pulcherrima* C. Koch, *Festuca valesiaca*, *Koeleria cristata* (L.) Pers.) з вагомою присутністю звичайного, почасти петрофільного та псамофітного степового різнотрав'я – *Linum flavum* L., *L. tenuifolium*, *Vicia elegans* Guss., *Convolvulus cantabrica* L., *Veronica spicata* L., *Iris pumila* L.

На пологих схилах та в депресіях були відмічені угруповання з домінуванням *Caragana frutex* C. Koch асоціацій *Caraganetum (fruticis) stiposum (lessingianaе)* та *C. festucosum (valesiacaе)*.

В умовах незначного антропогенного впливу зустрічались рідкісні угруповання з домінуванням *Amygdalus nana* L., які представлені асоціаціями *Amygdaletum (nanae) elytrigosum (repentis)* та *A. festucosum (valesiacaе)*. Їх травостій формують *Artemisia austriaca*, *Sideritis comosa*, *Euphorbia seguieriana*, *Teucrium polium*, *T. chamaedrys*, *Poa angustifolia* L., *Adonis vernalis*, *Phlomis tuberosa* L., *P. pungens* Willd. тощо.

На еродованих ділянках схилів формуються угруповання формації *Botriochloeta ischaemi* з асоціаціями *Botriochloetum (ischaemi) stiposum (lessingianaе)*, *B. stiposum (capillatae)*, *B. festucosum (valesiacaе)*, *B. poosum (angustifoliae)*.

У цих же умовах, але в меншій кількості трапляються угруповання з домінуванням *Paronychia cephalotes* M. Bieb. та *Thymus dimorphus* Klokov & Des.-Shost.

Лучні ценози займають переважно тальвеги балок, представлені формацією *Elytrigietea repentis*. Видовий склад цих угруповань дуже збіднений через надмірне випасання. Колобережна смуга лиману зайнята засоленими луками з домінуванням *Kochia prostrata* (L.) Schrad., *Artemisia santonica* L., *Puccinellia distans* (Jacq.) Parl.

На солонцях вздовж лиману формуються угруповання з перевагою у травостої *Salicornia perennans*, *Suaeda prostrata*, *Limonium meyeri* (Boiss.) O. Kuntze тощо.

Для чагарників на схилах долини лиману характерні угруповання формацій *Crataegeta praearmatae*, *Pruneta spinosae*. Розріджений чагарниковий ярус утворюють також *Rosa corymbifera* Borkh., *Crataegus praearmata* Klokov, *Caragana frutex*. У трав'яному ярусі чагарників мають місце *Elytrigia repens*, *Achillea millefolium* L., *Marrubium praecox* Janka, а також *Ballota nigra* L., *Galium ruthenicum*, *Verbascum marschallianum* Ivanina & Tzvelev та ін.

У балках та на схилах північних і східних експозицій трапляються чагарникові угруповання *Sambucus nigra* L., *Rhamnus cathartica* L., *Euonymus verrucosa* Scop., *Ulmus minor* Mill.

3.2 Характеристика таксоценів бджолиних та їх паразитоїдів як маркерів стану наземної екосистеми басейну Куяльницького лиману

Об'єктивною підставою у особливому розгляді цього таксоцену та супутнього паразитоїдного є безумовний консортивний взаємозв'язок між ними та рослинністю.

Головним проявом цієї залежності є корелятивне співвідношення числа видів бджолиних з різноманіттям рослинності: чим більше рослинне багатство – тим більше видів бджолиних і навпаки [22, 23]. Рослинність перш за все для бджолиних виступає не тільки як трофічний ресурс, але є життєвим осередком на топічних засадах [24]. Тобто, бджолині в певній мірі є маркерами стану рослинності та за видовими еколого-біологічними стандартами загального стану екосистеми.

У побуті під «бджолами» зазвичай мається на увазі свійська медоносна бджола (*Apis mellifera*), тоді як в екологічному, біологічному і систематичному розумінні бджолині - це велика таксономічна категорія, яка об'єднує тисячі видів поодиноких і суспільних диких бджіл з різноманітнішими яскравими реакціями на фактори осередку.

За сучасною класифікацією [25], бджоли розділені на родини *Stenotritidae* (ендеміки Австралії), *Colletidae*, *Andrenidae*, *Halictidae*,

Melittidae, Megachilidae, Apidae і нараховують близько 20-21 тис., що належать до 520 родів, в цьому числі близько 500 видів суспільних бджіл.

Родини бджіл істотно розрізняються за числом родів та видів всередині родин. У складі родин за кількістю видів домінують такі роди як *Andrena, Evylaeus, Sphecodes, Osmia, Megachile, Nomada, Bombus* [26].

Трофічні зв'язки організмів багатьма провідними фахівцями визнані ключовими у механізмі системної сталості: чим вони різноманітніші, тим вище стійкість біоценозу. В цьому аспекті квіткові рослини для диких бджолиних – це не просто харчове джерело. У цих відносинах має місце симбіоз рослин з бджолами, які забезпечують репродукцію квіткових рослин, а рослини виступають для бджолиних і як трофічний ресурс та ще слугують матеріалом для будови гнізд, виступають як джерело фітонцидів, масел, смол та іншого життєзабезпечення. Таким чином, можна стверджувати, що на прикладі антофільності в значній мірі простежуються особливості екосистемних компонентів – окремих консорцій.

За типом трофічної спеціалізації серед бджолиних розрізняють групи полілектичних, оліголектичних і монолектичних видів [27].

Полілекти – це зв'язок з широким колом рослин з різних родин (широкі полілекти) або з якоюсь кількістю видів рослин декількох ботанічних родин (вузькі полілекти). Оліголекти характеризуються приуроченістю до рослин переважно однієї або декількох близьких родин (широкі оліголекти) або виключно одного-декілька близьких родів (вузькі оліголекти). Монолекти – це вузькоспеціалізована група, що характеризується харчуванням з рослин одного виду.

Тип харчування природним чином сполучений з просторово-часовою приуроченістю до кормових рослин. Так, поширення вузьких оліголектів і особливо монолектів обмежено ареалами їх кормових рослин, а період льоту - часом цвітіння цих рослин. При цьому, як правило, ареал і діапазон заселених стацій у бджоли вузьче, ніж у кормової рослини.

Трофічна особливість конкретних бджолиних безумовно лягає в основу до осмислення поточного стану екосистеми. Так, наприклад, еталоном для степової зони у первинних біотопах є перевага числа видів-оліголектів з певною часткою полілектів і монолектів. Але, якщо у облікових вибірках має місце абсолютна перевага полілектів, то це свідчить про руйнівну сукцесію у бік втрати біорізноманіття з відповідними наслідками для екосистеми у цілому. Таке явище притаманне агроценозам, де вся апідофауна може бути заміщена єдиним видом – свійською бджолою, яка є вираженим полілектом і здатна запилювати більше 600 видів рослин. Тоді виникає питання про причини зникнення в агроценозах диких полілектів за умови необмеженого трофічного ресурсу (посівні площі сільгоспкультур). Відповідь на це питання лежить в залежності диких бджіл будь-якого трофічного статусу від наявності умов для гніздування. Тобто, навіть при достатньому трофічному ресурсі

відсутність умов для гніздування (а отже репродукції) видовий склад бджолиних збіднюється, що миттєво відбивається на рослинності.

Важливим моментом є те, що гнізда поодиноких та соціальних диких бджолиних за конструкцією мають видові ознаки, що дозволяє розглядати спосіб гніздування та будову виводкових комірок як один із засобів обліку бджолиних з можливістю оцінки біотопічної структури екосистем [28].

Для більшості гніздобудуючих бджіл характерні гнізда, вириті в ґрунті (*Andrena*, *Halictidae*). Багато видів вигризають гнізда в стеблах трав'янистих або у стовбурах деревних рослин. Рослинні матеріали, в яких бджоли влаштовують свої гнізда, поділяються на 3 групи: гнила розкладена деревина; м'якотілі стебла трав'янистих і чагарникових рослин; трухлява деревина, що зберегла волокнисту структуру; щільна деревина (в основному стовбури висушлих дерев).

У першій групі матеріалів переважно будують гнізда представники триби *Augochlorini* та окремі *Halictini*. З другою групою матеріалів пов'язана найбільша кількість видів, з числа мешканців рослинного субстрату. Так, в м'якотілих стеблах рослин (в рогозі, малині, ожині, коров'яку і т.п.) і у м'якій трухлявій деревині вигризають гнізда багато видів *Hylaeinae*, *Megachilidae*, *Xylocopinae*, *Clisodon* (*Anthophorinae*) і деякі *Exomalopsini*. Зазвичай вони віддають перевагу зламанім або тріснутиім стеблам, що забезпечує прямий доступ до м'якої серцевини і полегшує початок будівництва гнізда, оскільки позбавляє самицю від необхідності прогризати більш щільні зовнішні шари стебла.

Крім вигризання гнізд в щільних рослинних матеріалах, окремі види використовують і пустотілі стебла рослин, в яких вони все ж згризають тонкий шар стінок, чим відрізняються від бджіл, що влаштовують гнізда в повністю готових порожнинах.

Нарешті, в щільній деревині здатні видовбувати гнізда лише деякі *Xylocopa*, яких називають ще «бджолами-теслярами». Випадки поселення в щільної деревини зареєстровані і для окремих видів *Lithurge* (*Megachilidae*) хоча зазвичай ці бджоли віддають перевагу більш м'яким матеріалам – трухлявій деревині, галі і т.п.

Досить великим таксономічним різноманіттям характеризується група видів, що будують гнізда в готових порожнинах. До них відносяться і *Xeromelissinae*, *Stenoplectridae*, більшість *Megachilinae*, багато *Hylaeinae* і *Apidae*, деякі *Colletes* (*Colletinae*), *Tetrapediini*. В якості порожнин бджоли найчастіше використовують ходи комах-ксілофагів в деревині, пустотілі стебла рослин, порожнечі під корою, старі ходи гнізд інших видів бджіл, а іноді й ос, тріщини в каменях та інші щілиноподібні порожнини в різних матеріалах. Діаметри порожнин зазвичай відповідають ширині тіла самиць, однак при нестачі придатних місць для спорудження гнізд окремі особини можуть використовувати порожнини, розміри яких значно більші від

оптимальних або трохи менше. Деякі бджоли виявляють сталість у виборі порожнин.

Будівництво гнізд на відкритих місцях відомо лише для *Megachilidae* і *Apidae*. Такі гнізда розташовуються на каменях, стеблах, а іноді і листі рослин. Деякі *Bombus* і *Euglossinae* влаштовують гнізда на поверхні. Ті види *Megachilinae*, які поселяються на відкритих місцях, як правило, використовують міцні, стійкі до несприятливих погодних умов матеріали, такі як глина і камінці, скріплені смолою або секреторними речовинами. Такі види отримали назву «бджіл-ліпівниць». До числа бджіл-ліпівниць можна віднести і декілька представників *Euglossinae*, які також ліплять гнізда на відкритих місцях переважно з рослинних смол або їх суміші з ґрунтом. Інші в якості будівельного матеріалу в основному використовують віск. При цьому від несприятливих погодних умов їх гнізда на відкритих місцях захищені куполом, зазвичай споруджуються з рослинних матеріалів.

Самки деяких поодиноких видів здатні побудувати кілька гнізд за сезон.

Дуже впливає на гніздування антропогенний фактор. Перш за все отари овець забивають гнізда тих видів, що будують їх у ґрунті. Надалі худобою виламуються і витоптуються високорослі трав'янисті рослини, де розташовуються гнізда бджіл відповідної гніздової спеціалізації. Завершують процес вогневі пали та заготівля деревного сухостою. В результаті вже через 1-2 роки лише через надмірне пасовищне навантаження у травостої лишаються тільки злаки.

Вище було відмічено, що харчування бджолиних, заготівля фуражу для личинок мають часове сполучення з періодом вегетації кормових рослин. За типом активного періоду поодинокі бджолині мають два основних фенологічних класи:

- моновольтинні (одна генерація);
- полівольтинні (декілька генерацій).

В степовій та лісостеповій зонах до моновольтинних видів відносяться не менше половини видів поодиноких бджіл. За періодами їх льоту вони розподілено на умовні групи (ранньовесняні види, весняно-раннелітні, літні, пізньолітні, види з розтягнутим періодом льоту).

Ранньовесняні види – це такі як *Colletes cunicularius*, *Andrena haemorrhoa*, *A. helvola*, *A. taraxaci*, *A. varians*, *Osmia cornuta*, *O. rufa*, *Tetralonia vernalis*, *Anthophora plumipes*. Майже всі вони полілектичні, зазвичай з тривалим розвитком преімагіальних фаз. У ранньовесняних видів зазвичай зимує імаго, що не вийшли з коконів.

До числа весняно-ранньолітніх (зокрема, в степовій зоні літаючих в травні-червні) відносяться багато моновольтинних видів з різних родів: *Andrena figurata*, *A. humilis*, *A. truncatilabris*, *A. wilkella*, *Panurginus sculpturatus*, *Epimethea samarcanda*, *Chelostoma maxillosum*, *Megachile*

circumcincta, *Metallinella brevicornis*, *Tetralonia altetrans*, *T. hungarica*, *T. tricincta*, *T. velutina*, *Eucera caspica*, *E. curvitaris*, *E. sogdiana*, *Clisodon furcatus*, *Anthophora erschowi*, *A. radoszkowskyi*, *A. retusa* та ін. Значна частина цих видів є оліголектами.

Ще більше оліголектів визнано серед літніх видів (*Colletes nasutus*, *Andrena curvungula*, *Melitturga clavicornis*, *Panurgus calcaratus*, *Panurginus labiatus*, *Camptopoeum frontale*, *Halictoides dentiventris*, *Nomia diversipes*, *Rhophitoides canus*, *Rophites quinquenspinosus*, *Systropha curvicornis*, *Melitta tricincta* та ін.)

Група пізньолітніх видів в степовій зоні містить всього 6 видів, виключно оліголектів: *Andrena marginata*, *Dasypoda braccata*, *D. suripes*, *Melitta nigricans* і *Tetralonia salicaria*, *Andrena colonialis*.

Для бджіл і їх розплоду, що знаходяться в ґрунті або порожнинах рослин більш сприятлива помірно-посушлива погода, тому що менше розвиваються гнильні процеси в запасах корму, стінках виводкових комірок і на самих личинках бджіл. У помірно-посушливий період йде інтенсивніше виділення нектару квітками більшості рослин, зростає концентрація цукрів в ньому, а отже, привабливість і поживність для бджіл. Сухий пилок рослин придатніший як для перехресного запилення рослин бджолами, так і для запасів на харч. Пилкові зерна в суху погоду повільніше проростають, що підвищує ефективність запилення рослин. У той же час сухі і спекотні роки з посушливим літом несприятливі для бджіл, оскільки скорочується період цвітіння рослин, харчування, а отже, і період накопичення бджолами корму для личинок, що в результаті сприяє скороченню популяції одиночних бджіл, а особливо більш вологолюбних джмелів.

Оптимальними погодними умовами для розвитку всіх видів бджіл є помірно-сухі роки, а для джмелів - помірно-теплі і холодні з сухою погодою. Ці відмінності пояснюються більшою ксерофільністю поодиноких бджіл, а джмелів - мезофільністю.

У спекотні посушливі або прохолодні роки чисельність бджіл та джмелів має тенденцію до зниження. У роки з близькими до норми атмосферними опадами і температурами чисельність бджіл має тенденцію до зростання.

Таким чином, виходячи з вищевикладеного, мається на увазі, що мова йде про великий таксон екологічних генералістів, серед яких є чимало видів, спеціалізованих не тільки за харчуванням на певних рослинах, але і засобом гніздування. Іншими словами, структура цього таксоцену значною мірою здатна відбивати якісну структурну організації біотопів. З іншого боку, можливість ідентифікації бджолиних, їх гнізд дає основу для кількісного облікового аналізу. Але існує ще один фактор кількісного характеру – це ступінь елімінації бджолиних їх паразитоїдами.

Без врахування втрат популяцій від паразитоїдів не можна отримати достовірну картину динаміки щільності популяцій бджолиних.

На бджолах паразитують і хижають величезна кількість видів різноманітних організмів, але в наш час найбільш докладно вивчені лише вороги і хвороби медоносної бджоли, джмелів, а також двох штучно розведених запилювачів люцерни - *Megachile rotundata* і *Nomia melanderi*. Для більшості інших видів бджіл є лише розрізнені відомості і невеликі зведення, хоча вони свідчать, що, як правило, різним бджолам шкодять представники одних і тих же груп організмів.

Особливе місце серед паразитоїдів бджолиних займають оси родини хризідид (*Hymenoptera, Chrysididae*). Суть їх розвитку полягає в тому, що вони, як й інші паразитоїди, відкладають свої яйця в середину комірок хазяїна і відроджені личинки оси харчується личинкою бджоли. Особливістю вважається вагомий ступінь адаптацій за відношенням до своїх хазяїв – бджолиних з різними типами гніздування, фенологією, біотопічним розподілом тощо. В цілому ці параметри екології бджолиних дуже тісно сполучені з такими родинними як хризідиди. Тобто, польові екологічні оцінки в одноковій мірі споріднені у цих двох групах. Також однакові методики їх обліку та спостережень. З цієї точки зору залучення накопичених даних про хазяїно-паразитні відношення бджіл та хризідид до оцінки стану екосистеми басейну Куяльницького лиману з перспективою розбудови відповідного моніторингу цілком виправдане.

Коло хазяїв-хризідид в умовах басейну Куяльницького лиману насамперед визначається екологічною спеціалізацією за місцезнаходженням. Серед хризідид регіону ця спеціалізація формує групи геобіонтів (розвиток в гніздах хазяїв, що будують їх у ґрунті), хортобіонтів (в гніздах хазяїв, що розбудовані у стеблах трав'янистих рослин), тамнобіонтів (розвиток у деревині чагарникової рослинності). Крім екологічної спеціалізації, що виражається з зв'язках з колом хазяїв за їх стаціонарною приуроченістю, у частини видів помітні прояви до паразитизму на систематично близьких видах (але й тут з певною перевагою до стаціонарного вибору). Таким чином, у розподілі хризідид можна говорити про основні та аберантні стації. Основними визначені ті, в яких зараженість хазяїв становить близько 30% від зараження у всьому колі видів хазяїв для різних стацій.

Серед хризідид у регіоні найбільшу питому вагу мають геобіонти (як і серед хазяїв-бджолиних). Частина з них пов'язана із стрімкими урвищами. Тамнобіонтів нараховано 23 види, для трьох видів цей тип стації аберантний. Серед петрофільних порожнинників також налічується 23 види, але основним цей тип стації, мабуть, є лише для кількох видів, таких як *Spinolia unicolor Latr.* Ксілобіонтів визначено 18, але 9 з них з деревним сухостоем пов'язані аберантно. Хортобіонтів відносно мало, але ступінь приуроченості тут висока: аберантних всього два види. Паразитів ліпників нараховувалось 17, але 13 з них пов'язані з ліпники аберантно. Що

стосується геліксофільних порожнинників, то спеціалізованих видів було всього три.

Якщо простежити зміну стацій, то виявляється, що геобіонти, приурочені до рівної або слабо похилої поверхні і лише в незначній мірі можуть переходити до проживання на вертикальних поверхнях урвищ. З іншого боку, на крутих схилах виявлено декілька видів, основними стаціями яких є чагарник або сухостій. Що стосується паразитів бджіл-ліпниць, то цей стаціальний комплекс пов'язаний з геобіонтами через такі види хазяїв, що можуть будувати гнізда з глиняною трубкою біля входу на будь-якій поверхні.

Приуроченість хризидів до певного місцеіснування досить виражена, тому видовий склад хризидів у біотопі залежить від його фаціальної структури. Так, при збільшенні питомої ваги поверхні ґрунту без рослинного покриву зменшується питома вага хортобіонтів, але збільшується частка геофілів. У біотопах з масивами чагарників, що мають порожнисту або м'яку серцевину, підвищується питома вага тамнофілів і т.д.

Встановлено, що видове різноманіття певної життєвої форми хризидів залежить від ємності фацій незалежно від фаціальної різноманітності у структурі біотопу. Наприклад, число видів-тамнофілів в яружно-балкових біотопах приблизно відповідає їх числу і складу в схилових за умовою подібності проективного покриття і видового складу чагарникової рослинності.

В цілому, склад хризидів у біотопі залежить від ємності фацій та їх структури. Найбільшим видовим різноманіттям володіють яружно-балкові і схилові біотопи. Встановлено, що в трофічному аспекті стаціальну приуроченість хризидів визначають хазяїно-паразитні зв'язки та характер паразитичної спеціалізації.

У репродуктивній активності хризидів простежується також певна динаміка зміни домінуючих життєвих форм протягом вегетаційного періоду. У весняний час домінують порожнинники, ранньолітні і літні геобіонти. На літній і пізньолітній періоди припадає максимум активності паразитів ліпників та хортобіонтів.

За складом консортивної участі хризидів можна розрізнити консорції прості, спрощені, складні. Прості системи характеризуються монопаразитною структурою. До складу спрощених входять декілька близьких видів паразитів, спеціалізованих до певного систематичного кола хазяїв. Складні включають різні за екологічною валентністю види як хазяїв, так і паразитоїдів з різними типами спеціалізації.

Результати багаторічних польових досліджень автора і дані з літературних джерел показують, що склад і співвідношення видів у хазяїно-паразитних консортивних спільнотах бджіл і ос є перспективним біоіндикаційним показником для оцінки екологічної зміни якості

середовища.

Основним критерієм оцінок в цьому напрямку було виявлення співвідношень видів, які представляють різні екологічні типи. Зміни в наземній екосистемі Куяльницького лиману оцінювалися шляхом порівняння осереднених даних за 2005-2008 рр. та за 2012-2014 роки. Вибірки здійснювалися згідно фенологічним періодам: весняний (квітень-травень), літній (червень-липень), пізньолітній (серпень-вересень).

За результатами вибірок аналізувалося співвідношення числа видів за відношенням до гідротермічного режиму. Цей показник вказує на мезокліматичні зміни в екосистемі. У свою чергу, на тлі мезокліматичних умов розглядалося співвідношення видів за біотопічним розподілом (вибір біотопу визначається способом гніздування, звідси діапазон способів гніздування вказує на біотопічне різноманіття екосистеми).

Співвідношення видів за типом трофіки вказує на різноманітність антофільної флори. При цьому чим більша питома вага монолектів і оліголектів – тим різноманітніша рослинність і стабільніший стан екосистеми. Для оцінок були задіяні параметри співвідношень видів за показниками комплексів видів певного екологічного стандарту.

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

У зональному розподілі (приуроченість сполучена з гідротермічною адаптацією) виділяються: лісостепові, степові, полізональні.

Ксерофільний комплекс складають степові види, мезофільний – полізональні, мезо-ксерофільний – лісостепові.

Ці ж характеристики певною мірою обумовлюють сезонні періоди льоту бджолиних та їх паразитоїдів, на основі чого серед них визначаються фенологічні типи: весняні – квітень-травень, ранньолітній – червень, літні – липень, пізньолітній – серпень-вересень.

Період льоту часто пов'язаний із типом розвитку. Моновольтинні види мають виражену гідротермічну залежність, тому вони активні лише в ті сезонні періоди, коли навколишні умови відповідають їх екологічному стандарту. Наприклад, мезофіли в більшості – це весняні або пізньолітні угруповання моновольтинних видів хазяїно-паразитних комплексів, ксерофіли – приурочені до посушливих періодів з середини літа і можуть бути бівольтинними або полівольтинними.

За біотопічним розподілом, що напряму залежить від типу гніздування та стаціональної приуроченості, бджолині та їх паразитоїд-хризіди долини Куяльницького лиману та прилеглих гирлових ділянок малих річок поділяються на: плакорних геофілів (риють гніздові нори на горизонтальних поверхнях ґрунту); схилово-урвищних геофілів

(вигризають гнізда у прямовисних стінах урвищ); хортобіонтів (гніздяться в стеблах багаторічних рослин); тамноксилобіонтів (гніздяться в деревині кущів або дерев); ліпнинників (ліплять гнізда з глини або смолистої речовини на різних поверхнях); порожнинників (гніздяться в різних порожнинах – покинуті гнізда інших видів, тріщини прямовисних урвищ, а деякі – у пустих мушлях молюсків тощо).

Порівняння складу апідофауни за числом видів у попередні роки і станом на 2012–2014 рр. показало різке зменшення числа видів – зникло більше 70% загального видового складу. Зміни такого роду для провідного компонента біоти всього за чотири роки вже можна віднести до розряду катастрофічних, що вимагає встановлення їх реальних причин.

Гіпотетично очікуваною причиною змін у чисельності видів може бути глобальне підвищення температури. За такою логікою повинен зникнути перш за все мезофільний елемент з підвищенням питомої ваги ксерофільного. Між тим, в структурі 2012-2014 рр. мезофільний комплекс за числом видів залишається майже в однаковій пропорції з попереднім періодом з незначним підвищенням питомої ваги ксерофілів. Зміни у мезофільному комплексі стосуються лише щільності популяцій у бік значного зменшення. Також звертає на себе увагу підвищення частки убіквістів (приспосованих до широкого діапазону гідротермічних умов).

Мезофільна складова являє собою інтразональні види помірного поясу, що проникають до півдня вздовж долин річок з мезофітною рослинністю. Тому зменшення частки мезофілів за щільністю є безумовним наслідком кліматичної трансформації долин річок басейну Куяльницького лиману (причому, це зменшення лінійне).

Серед степових мезо-ксерофітів трансформація структури апідофауни ще більш наочна. Такий характер трансформації відповідає наслідкам, притаманним саме кліматичним змінам у бік підвищення температур та змінам біотопічної структури самої екосистеми через вплив антропогенного фактора (пасовищна дегресія, зменшення питомої ваги первинних степових ділянок з кормовою рослинністю тощо). Між тим, слід зауважити, що в групі ксерофілів ще зберігається домінування степових автохтонних видів, що свідчить про типовий для південного степу стан екосистеми.

Загалом в структурі таксоцену бджолиних, крім суттєвого загального зменшення видового складу, найбільшого впливу зазнала саме група мезо-ксерофілів – мешканців переважно долин малих річок та балок долини лиману. Тобто, помітним змінам в наземній екосистемі Куяльницького лиману підлягає загальна трансформація екосистеми в двох напрямках – кліматичної жорсткості та антропогенної руйнації.

Напрямки біотопічної трансформації певною мірою відображають тенденції в стаціональному розподілі видів, коли видове різноманіття обумовлювалось різноманіттям умов для бджолиних з різним типом

гніздування у двох головних типах біотопів – пологих схилах долини та яружно-балкових утвореннях (до їх складу віднесено також і поверхню урвищ) з чагарниковою рослинністю.

В типовій структурі стаціонального розподілу лишається весь спектр відомих форм гніздування з характерною для степу перевагою геобіонтів горизонтальної поверхні та пологих схилів. Але станом на 2012 р. стало помітним випадання багатьох вразливих видів, що потребують особливих гніздових субстратів. Більшою мірою це відобразилось в яружно-балковій системі серед порожнинників, хортобіонтів, ліпнинників. Що стосується схилів, то тут трансформація виражена тотальним зменшенням числа видів та густоти їх популяцій, але типова для степового біотопу структура зберігається. Особливу увагу привертає факт зникнення хортобіонтів, що, безумовно, є наслідком випасового заміщення високорослої рослинності на дернові злаки.

Раніше було зазначено, що бджолині є умовою існування вищої квіткової антофільної рослинності: зміни у складі бджолиних неминуче ведуть до зміни стану рослинності. В цьому зв'язку в літературі неодноразово відмічалось, що для степової зони нормальному стану екосистеми відповідає співвідношення оліголектів та полілектів як 2:1. Ця закономірність повною мірою стосується й екосистеми Куяльницького лиману. Однак, останнім часом співвідношення оліголектів і полілектів майже рівне, що свідчить про зникнення значної частки флори, до якої приурочені оліголекти. В цьому зв'язку показовою є динаміка числа спеціалізованих оліголектів, які тісно пов'язані з певними родинami рослин. На основі зменшення частки оліголектів можна стверджувати про зменшення рослинного покриття в 2,5 рази – серед капустяних (*Brassicaceae*), в 3 рази – серед складноцвітних (*Asteraceae*), в 4,6 рази – серед бобових (*Fabaceae*).

3.3 Сучасний стан гігрофільної навколорічкової біоти басейну Куяльницького лиману на прикладі річок В. Куяльник, Довбока, Кубанка

Відомо, що екологічні системи малих річок формуються під впливом вкрай динамічних чинників і у наш час повсюдно повністю залежать від дії антропогенного навантаження [29,30].

Для фонових оцінок обрано показники структури таксоценів, жорсткокрилих та двокрилих (*Tabanidae*, *Ceratopogonidae*, *Simuliidae*, *Culicidae*), які мають широкий діапазон екобіоморф і майже у повній мірі відповідають вимогам до підбору екосистемних маркерів, що здатні відобразити екологічний стан біотопів вздовж градієнта екологічної трансформації малих екосистем.

За літературними даними, зволожені пониження в долинах малих річок басейну Куяльницького лиману являли собою мезофітні луки, рослинний компонент яких був утворений загущеними багаторічними травами, що ростуть протягом усього вегетаційного періоду і населений відповідною ґрунтовою та наземною мезофільною фауною. Сьогодні під впливом зневоднення, інтенсивного випасу про флористичне різноманіття говорити не доводиться. У цьому сенсі показовою є робота О.Ю. Бондаренко зі співавторами [31], результати якої повною мірою можна віднести до долин річок Довбока та балки Кубанка. Головним висновком цієї роботи було таке: «...понад половини видового складу флорокомплексів узбережжя Куяльницького лиману представлена синантропними видами (52,6%), що становить 28,0% від числа синантропних видів рослин, які зустрічаються в степовій частині України, і 16,4% - синантропної флори всієї України, відповідно. Все це характеризує досліджувану територію, як досить трансформовану». На доповнення можна відзначити, що за нашими спостереженнями 2012 р. в балці Довбока і долині Кубанки, пасовищне навантаження призвело до зникнення високорослих багаторічників, залишивши місце приземним злаковим травам. Відповідно, на тлі еолового засолення відбулася зміна ентомофауни - мезофілну лукову замінює ксерофільна солонцева з фоновими видами такими як *Clivina upsilon*, *Pogonus punctatulus*, *Curtonotus convexiusculus*, *Pogonus meridionalis*, *Iiarpalus steveni* (*Coleoptera*, *Carabidae*), які є маркерами слабо і середньо засолених ґрунтів [32]. Знизилася загальне видове різноманіття. На важкодоступних схилах в чагарникових асоціаціях найбільш численними з фітофагів були довгоносики (*Curculionidae*) - 14 видів, листоїди (*Chrysomelidae*) - 17, пластинчатовусі (*Scarabacidae*) - 17, вусачі (*Crambycidae*) - 3, чорнотілки (*Tenebrionidae*) - 5, ковалики (*Elateridae*) - 23, м'якотілки (*Cantharidae*) - 2, зернівки (*Bruchidae*) - 2, златки (*Buprestidae*) - 2, наливники (*Meloidae*) - 2, горбатки (*Mordellidae*) - 1 вид. З хижих відзначені жужелиці (*Carabidae*) - 35, стафіліни (*Staphylinidae*) - 29, корівки (*Coccinellidae*) - 3, карапузики (*Histeridae*) - 3, бистряки (*Anthicidae*) - 2, малашки (*Melyridae*) - 2. З сапрфагів були виявлені мертвоїди (*Silphidae*) - 7 видів, кожеїди (*Dermestidae*) - 2 види, малашок - 1 вид. Рідкісними за щільністю популяцій були 92% з числа виявлених.

Колобережна зволожена смуга за визначенням являє собою перехідну зону вода-суша. Її можна розглядати як крайову структуру, яка повинна відзначатись підвищеною продуктивністю, біорізноманіттям і забезпечувати самоочищення водотоку. Критерієм оцінок в таких випадках слугує диференціація різних типів перехідних форм і співвідношення амфібіонтних і гетеротопних форм, полідомінантність спільнот. При цьому враховується співвідношення груп маргинальних структур за часом їх існування - астатичні і постійні. Однак, врахувати всі наявні таксони не

представляється можливим, тому доцільно обмежитися декількома, але показовими. Одним з таких є таксон – імаго двокрилих, що являють собою дуже чутливу індикаторну групу.

За типом живлення виявлених видів імаго двокрилих, який характеризує наявний трофічний ресурс в екосистемі, були визначені афаги (такі як *Dixa frizzii*, *Psychoda albipennis*), фітофаги, що харчуються нектаром (види родів *Episyrphus spp.*, *Neoascia spp.*, *Rhingia spp.* та ін.), (*Stomoxis calcitrans*, *Lyperosia Rondani* та ін.), з достатньо великою густотою – копрофаги на екскрементах тварин (*Stomoxis calcitrans*, *Lyperosia Rondani* та ін.), некрофаги на тваринних залишках (види родів *Sarcophaga spp.*, *Calliphora spp.*, *Lucilia spp.* та ін.), незначна питома вага хижаків комах (види родів *Thrypticus spp.*, *Rhaphium spp.*, *Dolichopus spp.* та ін.), значна частка кровососів теплокровних (*Hybomitra (Sipala) acuminata*, *Culiseta fumipennis*, *Chaoborus sp.* та ін.), альгофаги на колобережних водоростях (*Dactylolabis transversa*, *Hoplolabis (Parilisia) vicina* та ін.).

За відношенням до зволоження, що відображає гідротермічний фон місцевості, були визначені гігрофіли (*Tipula fulvipennis*, *Chaoborus sp.*, *Chrysotus sp.* та ін.), мезофіли (*Atrichops crassipes*, *Arctosyrphus spp.*, *Syrirta spp.* та ін.) і ксерофіли (*Vollucela spp.*, *Malophagus ovinus L.*, *Hybomitra (Sipala) acuminata*).

Всі виявлені види складають три типи життєвих форм – хортобіонтів (мешканці травостою), тамно-хортобіонтів (мешканці травостою та чагарників), сховищні та еврибіонти (мешкають у самих різноманітних умовах).

Відомо, що для наземного оточення малих пересихаючих річок одним з найбільш репрезентативних параметрів фонового стану середовища є показник зволоження. В цьому сенсі імаго двокрилих, яким притаманна швидка реакція на зволоження, є надійним індикатором поточних та довгострокових мікрокліматичних умов. Так, таксоцен імаго *Diptera* в сучасних умовах заплавних лукових біотопів басейну Куяльницького лиману за відношенням до зволоження складається з двох основних майже рівноцінних за значенням типів – гігрофілів (44%) та мезофілів (48%). Таке співвідношення пристосованих до існування в помірних умовах температури та зволоження (мезофіли) і гігрофілів, приурочених до біотопів з високою вологістю заболочених територій (заплави річок, береги водойм) свідчить про зрушення мікрокліматичних умов у бік осушення (нормальним для заплави є безумовний гігрофільний склад біоти).

Незначна частка ксерофілів до уваги не береться через надзвичайну мобільність імаго двокрилих, які легко перелітають з оточуючих ксерофітних біотопів і можуть бути тимчасовим добовим елементом в спекотливі часи. Стосовно убиквістів можна зауважити, що для них

ксеротермічні умови є вторинними, а їх наявність зумовлюється більше трофічною базою. Відповідно, трофічна структура таксоцену також є показовою для оцінки стану екосистеми.

Типовою для колобережних біотопів вважаються структури, де переважають фітофаги з наявністю інших трофічних форм. В умовах річок Кубанки та Довбоки визначена саме така структура з перевагою за кількістю видів фітофагів, але звертає на себе помітно підвищена питома вага видів таких трофічних типів як некрофаги і сапрофаги. Якщо взяти до уваги не тільки кількість видів певного трофічного типу, але ще їх густоту, яка віддзеркалює ємність певного трофічного ресурсу, то найбільша питома вага припадає не на фітофагів, а на альгофагів, афагів при значній сумарній присутності кровососів, некрофагів, сапрофагів.

Присутність афагів за компактністю до уваги не береться, тому що їх складають види з коротким терміном життя в імігальній стадії розвитку, але вони дають короточасні сплески чисельності при масовому виході цієї фази. Інше значення мають колобережні альгофаги, масовий розвиток яких свідчить про оголення ложа водойм як слідство зневоднення. Тобто, в цьому випадку масовий розвиток альгофагів вказує на тенденцію до висихання водотоків.

Особливу цікавість викликає досить високе сумарне значення густоти для сапрофагів, некрофагів. До цього доречно додати, що різкої межі між такими формами, що харчуються різними видами тваринних залишків, немає. За певних обставин кожна з цих форм може переходити з одного трофічного субстрату до іншого. В зв'язку з цією обставиною доцільно їх розглядати в ракурсі одного зоофільного комплексу, до якого ще треба додати й кровососів. Зоофільний комплекс має в складі багато видів, які у імагіальному стані є активними кровососами або відвідувачами ран і слизових виділень свійської худоби на пасовищах і в стійлах. Тобто, виявлене підвищення загальної питомої ваги зоофільного комплексу свідчить про насичення місцевостей свійськими тваринами, що і спостерігалось у вигляді тисячних отар овець та кіз на відносно обмежених територіях випасу. Значне тваринне навантаження однозначно становить загрозу для річкових екосистем в сенсі пасовищної дегресії, але разом з цим виникає поява санітарної небезпеки для навколишніх населених пунктів через масове розмноження зоофільної спільноти як переносників широкого кола інфекційних хвороб.

3.4 Сучасний стан водної біоти Куяльницького лиману

Куяльницький лиман за визначенням відноситься до категорії гіперсолоних аталасогенних водойм, які одночасно включають елементи водних ценозів і наземних спільнот, пристосованих до життя як в

аквальних, так і в аеральних умовах. Під дією цих чинників утворена специфічна екологічна група організмів, яким властива широка амплітуда солестійкості, а їх спільна життєдіяльність визначає утворення лікувального грязьового шару.

Сучасною головною проблемою Куяльницького лиману є висихання з підвищенням мінералізації до рівня, за яким зупинилось існування повноцінного біоценозу. Ця 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 відкладах відносяться до числа необхідних умов анаеробної трансформації мулів у лікувальну грязь. В цьому аспекті можна зауважити, що в історії Куяльницького лиману вже були періоди пересихання, за якими чередувалися відновлення рівня води водойми. Такі коливання рівня води в цілому притаманні мілководним солоним водоймам озерного типу через залежить від погодних умов. Чередування 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 північної частини лиману були стік р. В. Куяльник (приблизно 10 %), а в південній і центральній частинах – стік з ставків пересипу і Корсунцівської балки (приблизно 5 %) [33,34].

Чинником, що лімітує розвиток водоростей, є солоність ропи лиману. В цих умовах домінуючою була група евригалічних і еврitherмних 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 %), індиферентів (15 %).

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

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 Корсунцівськими ставками.

Особливістю солоноводних водойм є те, що динаміка біоти підлягає 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 [35-37] та характер хорогалінних зон, які зумовлюють просторову структуру гідробіологічних режимів за градієнтом солоності [38, 39]. 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 внутрішнім водоймищем, для якого властивий істотний вплив на гідрохімію вод і донних відкладів стоків від атмосферних опадів через берегову постійно підтоплену смугу, яка за класифікацією приморських водно-болотних угідь являє собою колобережне солоне болото [40]. Тут зосереджена більшість фітомаси солонцевих макрофітів, галофільних геобіонтів з числа безхребетних. Через берегову смугу до вод лиману вноситься значна частка органіки, в тому числі у вигляді розчинених речовин, які займають значуще місце в осмотичному харчуванні водних галобіонтів [41]. Серед біоти підтоплених берегів вагоме місце займає така складова як сапрофітні ультрагалобні личинки двокрилих, що є потужним (а може і єдиним) фактором швидкої деструкції рослинного та тваринного опаду.

За відомими екологічними закономірностями можна визначити, що суттю реабілітації водної біоти Куяльнику є відновлення функціонально пов'язаних деструкторів та мінералізаторів, здатних формувати механізм трансформації речовин та здійснювати потоки енергії вздовж градієнта солоності, а кінцевим результатом є створення умов для сталої ультрагалобної спільноти.

Для спільнот гіпергалінних бальнеологічних водойм видове різноманіття не є характерним. Ключове місце в них 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*. Але вид номінативних (*Artemia salina* (Linnaeus,

1758) з солоного озера Лівінгтон в Англії вважається вимерлим і його заміщує європейсько-середземноморський вид *Artemia tunisiana* Bowen and Sterling 1978. Однак, в літературі цей таксон практично не згадується. Більш того, вважається, що для більшості водойм, де виявлені артемії, їх таксономічний статус також не є визначеним і тому рекомендується використовувати для бісексуальних популяцій тільки назва роду *Artemia* Leach, 1819, а для партеногенетичних – *Artemia parthenogenetica* Barigozzi, 1974. [42]. Зрозуміло, що така таксономічна невизначеність обмежує можливості для практичного використання опублікованих даних з аутоекології *Artemia*. Зокрема, наприклад, існують лабораторні напрацювання з вивчення відношення до температури і солоності для виду, позначеного як *Artemia salina* [43]. Але у зв'язку з неясним таксономічним статусом лабораторного об'єкту ці дані сумнівно екстраполювати на Куяльницький лиман. Між тим, у гіперсолоних водах Криму натуралізувалась таксономічно чітко позначена популяція артемії з особливим параметром галобності - *Artemia urmiana*, Gmther 1890 (*Anostraca*, *Artemiidae*) [44]. 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 якщо не автохтонними видами, то їх алохтонними екологічними аналогами і не тільки у відношенні артемії, але й евригалінних водоростей, еолове розселення яких ще більш ймовірне. Однак, необхідною умовою залишається рівень солоності, який не повинен перевищувати хорогалінного порогу для гіпергалінної біоти.

3.5 Оцінка можливих якісних змін біологічних показників за динамікою гіротермічного та гідроекологічного режимів в басейні Куяльницького лиману

Для степових екосистем вважається, що кліматичні зміни становлять особливу небезпеку. Адже степи як окремий біом існують в умовах обмежених ресурсів. Дійсно, аридні степові екосистеми у значній мірі залежать від параметрів такого екофактора як вологозабезпеченість. В зв'язку з цим в механізмах саморегуляції степових екосистем адаптації до мінливих умов полягають у відповідних заміщеннях одних видів на інші услід кліматичним змінам [45].

За останні 100 років процес глобального потепління на території України відзначається специфічними ефектами вирівнювання кліматичних полів температури і річної суми атмосферних опадів. При цьому треба враховувати, що географічні зони характеризуються впорядкованими сполученнями тепла і вологи та підлягають відомій системі географічної

зональності [46]. Зокрема, при річних сумах опадів менших за 350-400 мм формуються аридні ландшафти (пустельні та напівпустельні підтипи), а у діапазоні середніх сум опадів 400-500 мм – субаридні (степові, шиблякові та напівпустельні ландшафти), а в діапазоні опадів від 500 до 1000 мм формуються субгумідні субсередземноморські ландшафти. Також вказується, що на тлі глобальних кліматичних змін різні зони будуть мати особисті риси регіонального характеру [47]. Крім того, широкого визнання набуло поняття біокліматичної зональності, в якій біотичні зони збігаються із зонами кліматичними на тій підставі, що між рослинністю і кліматом простежується дуже тісний взаємозв'язок. Також зазначено, що всередині зон розрізняються підзони, які відрізняються ритмом сезонного розвитку спільнот біомів.

У цілому тенденція до підвищення температури та зміни рівня опадів повинна спричинити вагомі зміни у видовому складі, сезонній динаміці і просторовому розподілі ландшафтних фітоценозів з інтенсивним розселенням одних видів і пригніченням інших аж до їх вимирання.

До викладеного можна додати, що зміни клімату у бік аридності позначаються на термінах весняних і осінніх фенофаз рослин [48], а за ними всього комплексу консортів (рис. 3.2).

В сучасний період найбільш відповідають очікуваним змінам клімату фітоценози південних субтропічних аридних областей Азербайджану та півдня Середньої Азії, Ірану та Афганістану. Тоді, виходячи з положення про кліматичний вікаріат, можна припустити майбутнє формування структури і видового складу перш за все фітоценозів водозбору Куяльницького лиману за рахунок заміщуючої інвазії згідно відомих закономірностей. Так, можна очікувати підвищення характерного для субтропічних аридних областей таксономічного рослинного різноманіття в родах *Amygdalus*, *Astragalus*, *Onobrychis*, *Haplophyllum*, *Pistacia*, *Ferula*, *Ferulago*, *Nepeta*, *Phlomis*, *Verbascum*, *Acanthophyllum*, *Dionysia*, *Acantholimon*, *Echinops*, *Cousinia*, *Eremurus*. На солоних депресіях – представники родів *Ephedra*, *Calligonum*, *Salsola*, *Haloxylon*, *Ferula*, *Eremostachys*, *Stipa*.

В частині степової рослинності можна припустити домінування полину південного (*Artemisia herba-alba*) та інших полинів, парнолистяників (*Zygophyllum spp.*). Звичайними видами можуть стати колючий мигдаль, деякі акантолиmoni (*Acantholimon spp.*), акантофілуми (*Acanthophyllum spp.*), солянки (*Atriplex sp.*), деякі осоки, а зі злаків – житняка, ковили та вівсяниці (*Poa*, *Agropyrum*, *Stipa*, *Festuca*). Новим зональним типом рослинності може стати пустельно-напівпустельний з домінуючими формаціями *Salsoleto-nodulososum*, *Suaeda-etomicrophyUosum*, *Kalidumeto-Salso-laetum*, *Artemisieto-Saisolaetum*, *Salsola nodulose-to-Ephemeretum*, *Artemisieto-Ephemeretum*, *Aristidetum*, *AehiUetum*,



Рис. 3.2 – Загальні наслідкові прояви зонального підвищення аридності у структурі біоти басейну Куяльницького лиману

Salsolito-Artemisieto-Camphorosmaetum, *Suaedaeto-Petrosimonietum*,
Alhagieto, *Artemisieto-Salsoletum*, *Festuceto-Artemisietum*, *Bortyochloeto-Artemisietum*,
Agropyreto-Artemisietum, *Stipeto-Artemisietum* [49].

У даний період формування таких типів рослин спостерігається на березі Каспію. Залежно від засоленості земель, тут поширені сарсазан, соляноколосник, петросимонія, черноземні, м'ясисті та трав'янисті рослини. З інших формацій найбільш характерні гараган і денгіз, цибулинний мятлик, японське багаття, твердий плевел, мортук східний,

шведка, соляноколюнок, поташник, петросимонія тощо.

Вплив потепління щодо прісноводної гідрофауни (водотоки та ставки басейну Куяльницького лиману), також як і на берегову амфібіальну рослинність, має відчутні прояви як на ценотичному, так і на популяційному рівнях. У цьому відношенні показові реакції до термальних змін, наприклад, серед водних молюсків [50]. Основні показники цих змін такі:

- скорочення загальної кількості популяцій найбільш вразливих видів, насамперед зябродихаючих (*Neritidae*, *Valvatidae*, *Viriparidae*, *Melanopsidae*, а з *Unionidae* – *Anodonta* та *Pseudanodonta*);

- зменшення компактності популяцій багатьох раніше звичайних для України видів, які тепер повинні бути зараховані до категорій видів рідкісних і зникаючих (*Lymnaea doriana*, *L. davata*, *L. glutinosa*, *Codiella leachi*);

- зміна діапазону глибин, заселених великими двостулковими (25-30 років тому *Unionidae* переважали на глибинах 1,0-2,5 м, зараз – на 0,2-1,0 м);

- подовження естивації та зростання смертності особин, що живуть в невеликих пересихаючих водоймах степової зони (*Sphaeriidae*, *Bithyniidae*, *Valvatidae*, *Planorbidae*);

- пригнічення темпів зростання («карликовість» *Unionidae*, *Lymnaeidae*, *Planorbidae*, *Valvatidae*);

- зрушення в життєвих циклах (тварини на 1-4 тижні раніше виходять зі стану гібернації та раніше приступають до розмноження, пізніше – на 1-2 місяці йдуть на зимівлю);

- розмноження в теплий період року особин не однієї (як це було раніше), а двох вікових груп – торішньої генерації та сьогорічної (*Neritidae*, *Physidae*);

- зміна якісного складу трематодофауни молюсків у зв'язку з просуванням на північ України південних видів гельмінтів;

- зрушення показників екстенсивності інвазії деяких видів.

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

Так, з надходженням талих вод в субліторалі закономірна поява прісноводних видів з числа коловерток, гіллястовусих рачків та інших планктонних форм, які пережили зиму у покої у зимувальних стадіях. Це можуть бути навіть типово прісноводні форми, що переносять деяке осолонення. Особливими рисами життєвого циклу таких видів є партеногенетичний тип розмноження, короткий цикл розвитку, висока плодючість, швидкі темпи розвитку до надходження хорогалінного порогу солоності вище 20 ‰.

Загальне підвищення температури найбільш сильно впливає на ріст і розвиток крупніших гідробіонтів і часто регулює репродуктивний цикл та поведінку. Зміни температури можуть модифікувати хижацтво, паразитизм і впливати на чутливість до хвороб. Зміни температури води регулюють концентрацію кисню та нарощування первинної продукції у водоймі, що принципово важливе для личинкових стадій. Посухи можуть спричинити високу концентрацію земноводних у вологих місцях, підвищуючи ризик інфекційних захворювань, міжвидового хижацтва і канібалізму. Саме така тенденція спостерігається вже в наш час.

Зміна фауни, що пов'язана з кліматом, природньо існує і у гіпергалінних водах. Прикладом може бути вселення в басейн Чорного моря – озеро Кояшське (Крим), раніше згаданого іранського ендеміка *Artemia urmiana* (Gimther, 1890) з озера Урмія [44]. Це при тому, що оз. Кояшське знаходиться на відстані більше 1 тис. км від оз. Урмія. Особливо цікаво те, що оз. Кояшське, як і Куяльницький лиман, є замкнутою таласогенною водоймою, відокремленою від Чорного моря піщаною косою. Середня глибина оз. Кояшського становить 1 м, а вода характеризується постійною високою солоністю, яка взагалі не зменшується нижче 160 ‰, а влітку – перевищує 350 ‰. Іонний склад ропи також близький до чорноморського. Температура води влітку піднімається до 40 °С, а взимку знижується до 0 °С. Озеро характеризується низьким біорізноманіттям: фітопланктон представлений 8 видами, а зоопланктон – одним *Artemia*, що характерно і для Куяльницького лиману.

3.6 Узагальнення результатів оцінки сучасного стану та прогноз змін наземної і водної біоти басейну Куяльницького лиману

Потребу в оцінках існуючого стану екосистеми Куяльницького лиману спонукала виражена деградація, пов'язана з пересиханням значної площі водойми, надмірне засолення, засмічення та помітна пасовищна дегресія берегових схилів.

В нормальному стані (до 2008 р.) наземна біота екосистеми Куяльницького лиману відрізнялась високим видовим різноманіттям, до складу якої входили численні рідкісні види флори і фауни. За геоморфологічними та мезокліматичними умовами берегові схили являли собою місцеіснування лісостепової (інтразональної) степової флори і фауни з певною часткою напівпустельного елемента. На осолонених ділянках формувалась унікальна наземна солончакова флора і фауна, а на гіперсолоних підтопленнях берегової смуги – ультрагалінна болотяна. В долинах малих річок розташовувались лукові біотопи, а в балках – інтразональні лісостепові. Відповідно, колобережні території Куяльницького лиману були віднесені до числа рефугіумів Правобережжя

України. А безпосередньо в лимані ще до 2008 р. існував гідробіологічний комплекс організмів, завдяки якому води та донні відклади лиману мають особливе бальнеологічне значення.

Для оцінки стану наземної частини екосистеми показовим було визначення змін у структурі індикаторного таксоцену диких бджолиних, існування яких знаходиться в прямій залежності від різноманіття та продуктивності антофільної рослинності та наявності умов гніздування. В результаті встановлено, що станом на 2012 р. зникло більше 70 % загального видового складу бджолиних. Аналіз екологічної структури залишкових видів показав відносну пропорційність мезофільного комплексу при деякому відносному підвищенні питомої ваги ксерофілів з тенденцію до збільшення частки убіквістів (приспособані до широкого діапазону гідротермічних умов). Зменшення за абсолютною кількістю мезофільної складової можна вважати наслідком кліматичної трансформації в долинах річок басейну Куяльницького лиману у бік аридності. У свою чергу, в мезо-ксерофітній складовій різко скорочується раніше домінуючий степовий елемент і станом на 2012 р. серед мезо-ксерофілів домінантом стають полізональні види. Такий характер трансформації цієї групи свідчить про тотальні зміни біотопічної структури самої екосистеми та як частковий наслідок кліматичного впливу. В групі ксерофілів зберігається домінування степового автохтонного елемента, що є закономірним для південного степу.

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

Багато вищевикладених фактів свідчать про те, що кліматичні зміни – це лише одна з причин. Так, наприклад, станом на 2012 р. явно помітне випадання видів екологічних генералістів, які потребують особливих умов для репродукції (комплекс запилювачів та паразитоїдних регуляторів їх чисельності) – цілинні ділянки поверхні ґрунту, стебла багаторічних трав, чагарниковий та деревний сухостій тощо). Ця обставина свідчить про екологічну якісну руйнацію самої навколорічкової поверхні. Причиною цієї руйнації, безумовно, є антропогенний фактор прямої дії – насамперед надмірне пасовищне навантаження. Дійсно, на схилах та в долинах річок, що являють собою смугу водоохоронної зони, зареєстровано значне витолочування поверхні отарами овець та кіз. Таким чином, первинну наземну берегову екосистему на таких площах можна вважати знищеною.

Важливо відмітити, що у перехідний кліматичний період заміщення більш вологолюбних видів на сухолюбні є природно закономірним, але за вираженим антропогенним пресом екосистема сама не здатна самовідновлюватись або набувати нової якості за природними законами.

У плані вірогідних змін у структурі, видовому складі, сезонній динаміці наземної біоти басейну Куяльницького лиману, пов'язаних із

глобальними кліматичними змінами, можна очікувати закономірне розселення інтродуцентів і вимирання частки аборигенних видів. Для автохтонних ксерофільних степових і напівпустельних рослин такі зміни клімату позначаються переважно на зсуві весняних і осінніх фенофаз в більш ранні і більш пізні терміни і слабо позначаються на термінах настання фенофаз в літній період. Основним гіпотетичним джерелом заміщуючої флори і фауни передбачуваного формування біоти Куяльницького лиману вірогідні екосистеми сучасних аридних субтропиків. Тоді, виходячи із закономірного кліматичного вікаріату, можна припустити формування фітоценозів та тваринного населення екосистеми водозбору Куяльницького лиману за рахунок інвазії видів саме з таких регіонів. Ця тенденція намітилася вже в наш час. Таким чином, передумови існування біоти Куяльницького лиману при глобальному підвищенні температури за рахунок заміщення більш ксерофільними екологічними аналогами цілком закономірні. Але є групи організмів, які не винесуть жорстких кліматичних змін. Це стосується насамперед амфібій та мезо-гігрофільних запилювачів з числа джмелів, для яких зволоження є головним лімітуючим фактором. Натомість, слід очікувати збагачення різноманіття напівпустельних видів.

Проблемою гідроекосистеми безпосередньо Куяльницького лиману є висихання з підвищенням мінералізації до рівня, за яким зупинилось існування повноцінного біоценозу. Однак, ця обставина в цілому властива всім водоймам такого типу і не в цьому вбачається катастрофічна ситуація для бальнеологічної біоти.

Лімітуючим чинником, що обумовлює розвиток ультрагалінних гідробіонтів є солоність, яка у внутрішніх солоних водоймах регулюється надходженням прісних вод. Відповідно, для Куяльницького лиману умовою його існування є достатнє водозабезпечення, яким регулюється мінералізація. Тобто, самовідновлення біоти лиману безумовно можливе саме за природними механізмами екосистемної саморегуляції, але лише за умови мінералізації вод в межах 50-270 ‰ (рис. 3.3). З викладеного висновок простий: потрібне водозабезпечення.

Одним з засобів, що вже здійснюється, є «аварійне» наповнення Куяльницького лиману водами Чорного моря.

За оцінками можливих напрямків відновлення біоти Куяльницького лиману наповненням його близькими за іонним складом морськими водами, будуть привнесені галотолерантні морські види, що складають екологічні біоморфи з відповідною стійкістю до підвищеної солоності. Багато таких видів у Куяльницькому лимані вже реєструвалось раніше (біля 100 видів фітопланктону та фітобентосу і така ж кількість видів з тваринного планктону і бентосу).

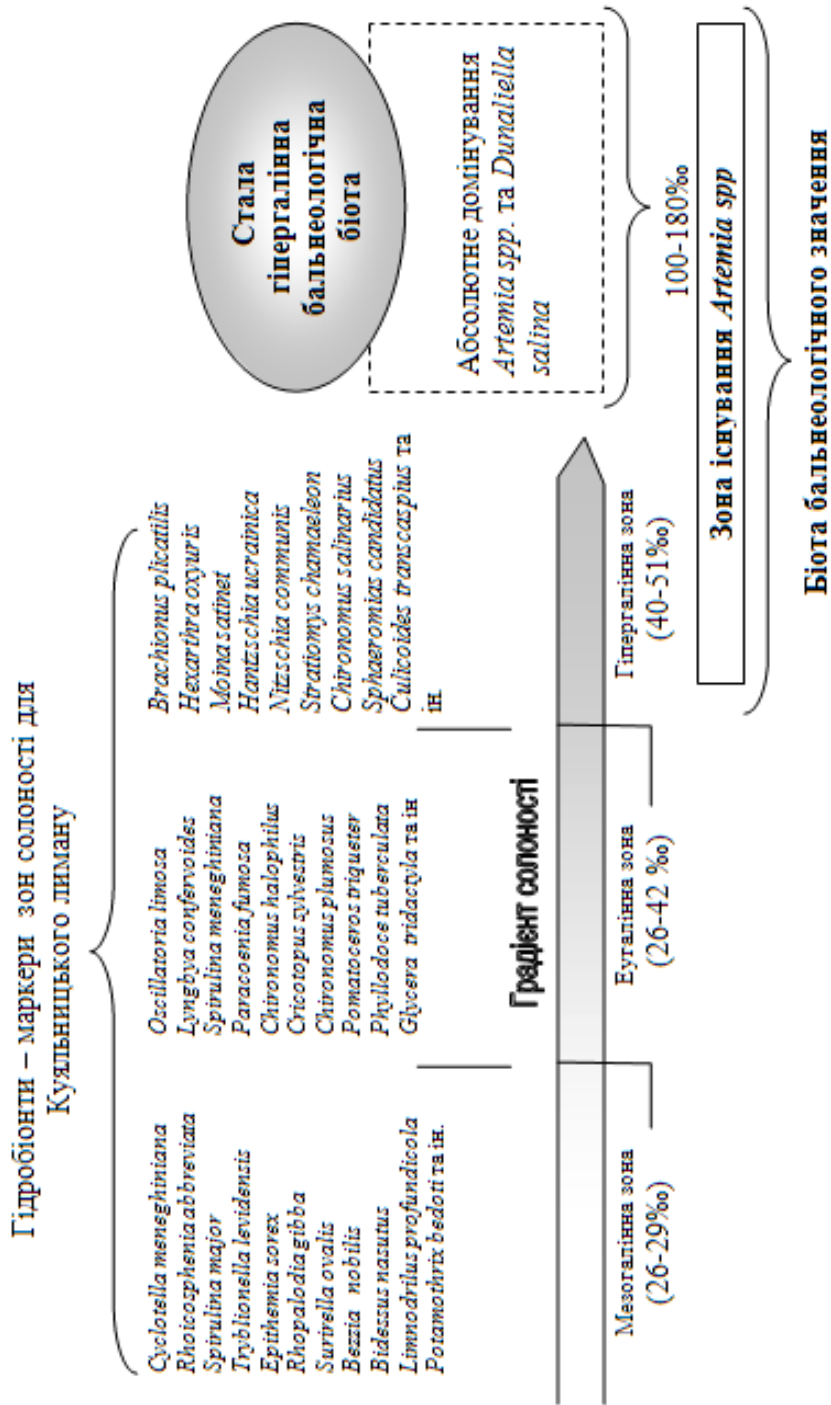


Рис. 3.3 – Принципи формування біоти Куяльницького лиману за законами біології солоних вод при заповненні морськими водами

Можливість самовідновлення галофільної біоти в Куяльницькому лимані в діапазоні розрахункової солоності, яка очікується при наповненні морською водою, доводить порівняння складу і шляхів її формування в водоймах однотипних з Куяльником.

Динаміка формування такої біоти вбачається в послідовній заміні тимчасових комплексів екобіоморф за градієнтом солоності, які виникають при розпрісненні: хорогалінними порогами перехідних зон солоності – морської зони у 26-29‰, основної морської зони – 26-42 ‰ до перехідної морської-гіпергалінної зони – у 40-51‰. Сама біота бальнеологічного значення повинна натуралізуватись в умовах 100-180‰ – це 1 вид фільтраторів з числа артемій, 6-10 видів ультрагалобних мікрowodоростей планктону та бентосу з такими домінантами як *Dunaliella Salina*. У зонах зниженої солоності (45-90‰) в місцях витоку прісних вод можливе формування зоопланктонних та зообентосних сталих спільнот гідробіонтів з короткими циклами розвитку, які дадуть додаткове біорізноманіття. Найбільш вірогідними домінантами будуть такі як *Brachionus plicatilis*, *Hexarthra oxyuris*, *Moina satinet*, галофільні хірономіди, мокреці та коротковусі двокрилі з родин *Stratiomyidae*, *Tabanidae*, *Empididae* та ін., що дають значну біомасу і забезпечують первинну трансформацію надлишкового органічного опаду з наземного осередку.

Передбачаючи можливість існування в лимані застійних зон з солоністю вище 200‰ (межа, за якою припиняється існування бальнеологічної біоти), можна очікувати появу іншого виду з числа артемій - *Artemia urmiana*, який є екологічним аналогом типового аборигенного виду *Artemia salina* (syn. *Artemia tunisiana*) з тією відмінністю, що *Artemia urmiana* здатний існувати при солоності до 370‰, забезпечуючи функціональну стабільність повноцінної бальнеологічної спільноти в широких межах коливання солоності і екстремальних кліматичних проявів.

Вище було наведено результати аналізу впливу клімату, результати гідрологічних, гідрохімічних вимірювань, якими однозначно встановлено і підвищення температур, і зменшення рівнів атмосферних опадів та недостатнє водне живлення лиману стоком річок – все те, що зумовлює зневоднення лиману із загальним наслідком – знищення життєвого осередку – летальне для водної та значної частки колобережної біоти.

За іншими обставинами, коли зміни у біорізноманітті відбуваються повільно під дією різних природних чинників (у тому числі гідротермічних), то вони помітні лише для науковців, що фахово вивчають динаміку екосистем як об'єкт дослідження. Але у цьому випадку негативна картина впадає в очі самому широкому колу громадськості, що спонукало до пошуку якихось результативних дій для збереження лиману як національного природного ресурсу з бальнеологічним значенням світового рівня.

За логікою, щоб виправити ситуацію треба встановити причини виниклої катастрофи. Між тим, головна причина лежить на поверхні і лише підтверджена інструментально – це егоїстичне природокористування суб'єктів хазяйнування. Найбільш впливовою негативною дією можна вважати зарегулювання стоку малих річок, а вже на фоні посухи процес руйнації виходить з під контроль і прискорено відбувається за «принципом доміно».

Якщо ж підняти питання про «керування процесом», то воно може полягати лише у створенні механізму регулюванням всього того, що підпадає під поняття антропогенного фактора. Але це питання вже більше адміністративного соціально-економічного плану. Екологічна наукова платформа для рішень такого роду значною мірою представлена у монографії, яка пропонується.

Останнє зауваження не є голословним. Доказовим прикладом є організація альтернативного наповнення ложа лиману морськими водами. Показово, що вже у перший рік є прояви самовідновлення біоти за сценаріями попередньо виконаних наукових обґрунтувань. Перш за все з'явився і успішно розвивається головний елемент бальнеологічної спільноти – рачок артемія.

Між іншим, витратне наповнення вод лиману виключно морськими водами сумнівно вважати достатнім за об'ємами та через мінералізацію вод. Треба взяти до уваги, що оголене ложе верхів'я лиману з усіх точок зору потребує прісних вод. Зокрема, пухкий насичений сольовий шар відкритого ложа є джерелом еолового засолення прилеглих сільгоспугідь та перетворення ґрунтів водоохоронної зони у солончакові з відповідними екологічними наслідками. Тобто, наступним кроком до реабілітації Куяльницького лиману доцільно розглядати відновлення прісних водотоків.

РОЗДІЛ 4

ВОДОГОСПОДАРСЬКІ ПЕРЕТВОРЕННЯ В АКВАТОРІЇ ТА БАСЕЙНІ КУЯЛЬНИЦЬКОГО ЛИМАНУ І РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ЗАХОДІВ З ОПТИМІЗАЦІЇ ВОДОГОСПОДАРСЬКОЇ ДІЯЛЬНОСТІ У МАЙБУТНЬОМУ

4.1 Історичні відомості про поповнення лиману водами Чорного моря та з інших водойм

Поповнення Куяльницького лиману морською водою має більш ніж сторічну історію та невід’ємно пов’язане з розвитком соляного промислу у водоймі. В історичному сенсі соляний промисел на Куяльницькому лимані відігравав важливу роль в економічному розвитку Східної та Західної Європи. Вже починаючи з XVI ст., найкращу сіль з лиману 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 спричиняла коливання обсягів її видобутку в лимані [1-4].

4.1.1 Господарські перетворення Куяльницького лиману для промислового видобування солі та штучне поповнення водойми морськими водами з Одеської затоки у XIX столітті

Для стабільного функціонування та розвитку промислового видобування солі в період з 1859 по 1878 рр. Куяльницький лиман було перегороджено дамбою (рис. 4.1) навпроти німецького селища Гільдендорф (нині – с.Красносілка) на дві частини – північну, в якій затримували прісні води весняних водопіль і дощових паводків, та південну (солеосадову), де здійснювалось промислове видобування солі. Дамбу почали будувати в 1859 р. за проектом інженера Рожкова [2, 5-14]. Щоб припинити приплив прісних вод в південну (солеосадову) частину лиману, були загачені дві балки східного берега лиману (Гільдендорфська та Корсунцівська). Дамба складалася з глини з кам’яними стінками і 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 дружного 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 з будівництва дамби було завершено, проте південна частина лиману солеосадовою не стала, що пов’язано з її

«опрісненням» водами значних весняних водопіль у 1861-1863, 1870-1871, 1875-1878 рр.



Рис. 4.1 – Фрагмент карти Куяльницького лиману за 1869 р. з дамбою інженера Рожкова

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 [2-9, 13, 14]. Залишки цієї дамби існують до сьогодні. Їх можна бачити на сучасних супутникових знімках [15], а при низьких рівнях води в лимані по залишках дамби можна перейти з одного берега лиману на інший [1, 7-9].

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, 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. 4.2).

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 \approx 45 тис. т, у 1864 р. – 3841782 пуда або \approx 63 тис. т. Промисел солі здійснювався на Куяльницькому лимані аж до 1931 р. і за 70 років солепромислу було видобуто 1,5 млн. т найкращої в Європі солі.

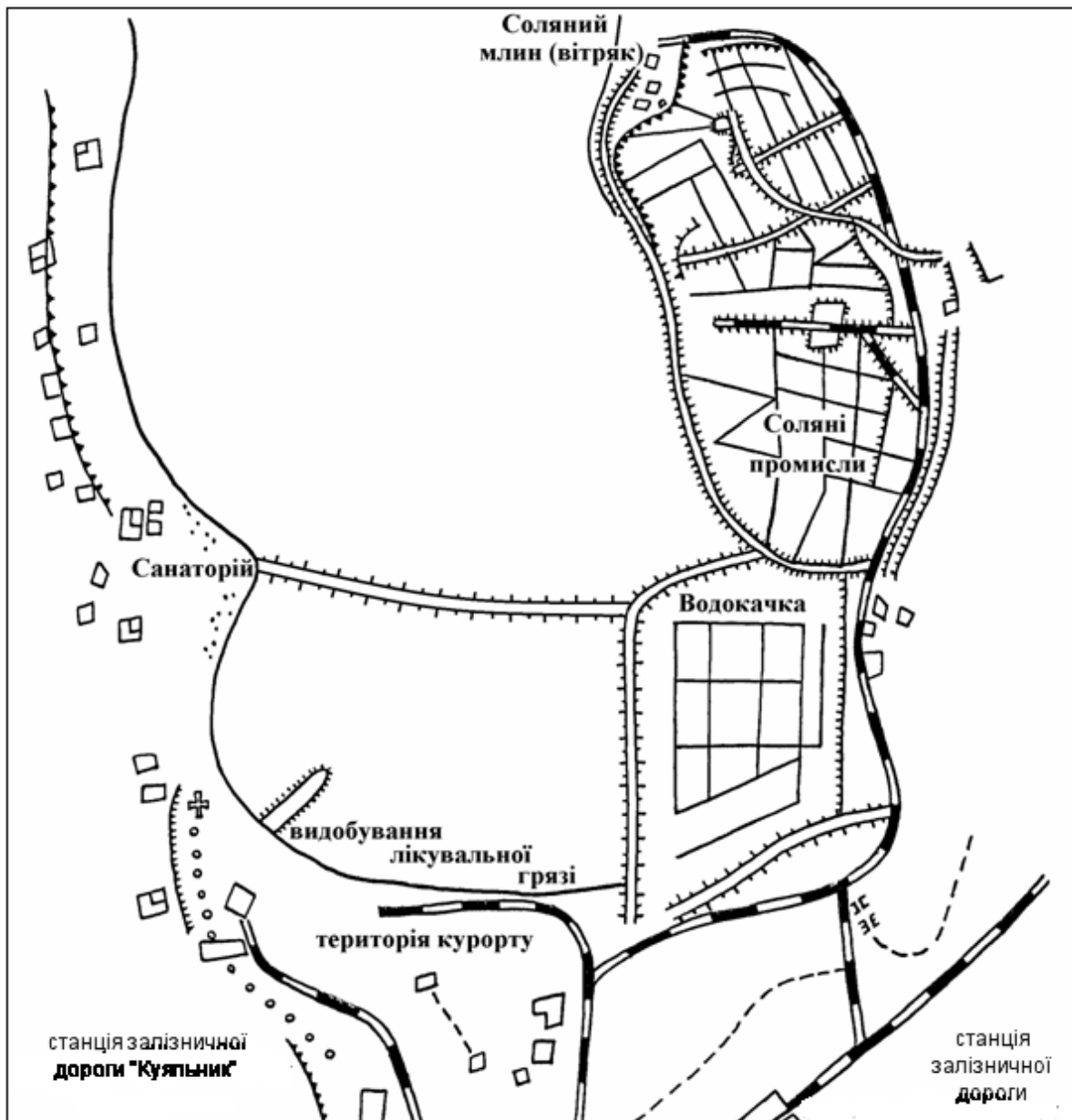


Рис. 4.2 – Схема Корсунцівського солепромислу в південно-східній частині Куйальницького лиману [1, 5]

Оцінити інтенсивність промислового видобування солі в південній частині Куйальницького 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) [16, 17].

4.1.2 Характеристика солепромислів та штучне поповнення південної частини лиману морською водою через з'єднувальний канал у XX столітті

У XX ст. Куяльницький лиман ще двічі поповнювали морською водою – в 1907 та 1926 рр. [1]. В 1890-1901 рр. для забезпечення потреб Корсунцівського солепромислу (рис. 4.2) 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 [5].

З 1921 по 1925 рр. неодноразово розглядалось питання щодо відновлення подачі морської води в Куяльницький лиман. Тому в 1926 р., при рівні води мінус 7,12 м БС до лиману 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-лиман» та ситуація місцевості вздовж його траси станом на 1926 р. показані на рис. 4.3 [1, 5].

4.1.3 Наповнення Куяльницького лиману водами Хаджибейського лиману

В 1941-1942 рр. Куяльницький лиман на 70% об'єму поповнився 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 [18], в червні 1944 р. рівень води в лимані перевищив позначку мінус 2,00 м БС, а за даними М.Ш. Розенгурта [19] – в квітні 1942 р. він становив мінус 1,15 м БС. Про це також свідчать фотознімки затопленої території грязелікарні того періоду (рис. 4.4).

4.1.4 Поповнення лиману з водойм пересипу та фільтрація морських вод

В водоймах (ставках, озерах) пересипу (рис. 4.5), 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 відзначає процес випаровування вод, що фільтрувалися через пересип, з його поверхні та водної поверхні озер [5].

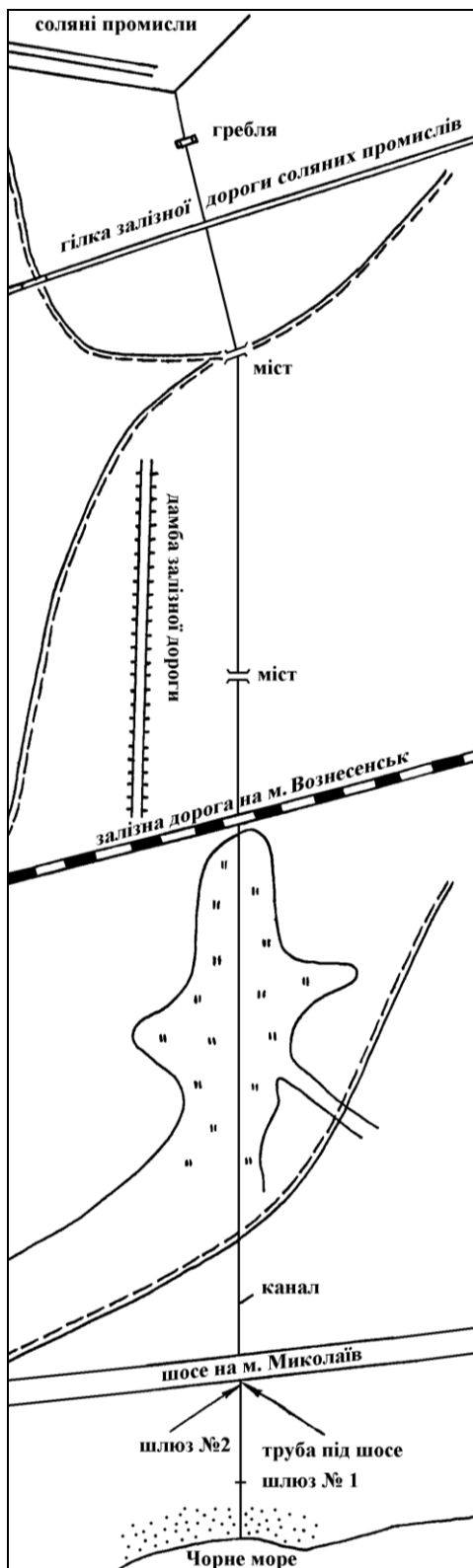


Рис. 4.3 – Схема місцеположення каналу «море-лиман» на території пересипу Куяльницького лиману станом на 1926 р. [1, 5]



Рис. 4.4 – Затоплена грязелікарня в південно-західній частині Куяльницького лиману після надходження води з Хаджибейського лиману у 1941 р. (вид з терренкурту на Жеваховій горі) [1]



Рис. 4.5 – Місцезнаходження водойм пересипу Куяльницького лиману (1, 2, 3, 4 – умовне позначення водойм)

До будівництва об'їзної дороги вода з озер пересипу надходила в лиман у вигляді поверхневого стоку та фільтраційного потоку. Величину цього припливу води врахувати було не можливо, оскільки стік здійснювався розосереджено по всій ширині пересипу, а його величина

зумовлювалася головним чином кількістю атмосферних опадів і перепадом рівнів води в морі та лимані.

У 1973-1975 рр. для вивчення взаємозв'язку між водами лиману та водоносними горизонтами в пересипу між лиманом і морем були пробурені свердловини та організовані спостереження, які показали, що роль фільтрації морських вод через пересип незначна і становить 0,003-0,004 м³/с або 0,11 млн. м³/рік [5].

Після будівництва окружної дороги м.Одеси, її насип став своєрідною дамбою для поверхневого та фільтраційного потоків з пересипу, тому об'єм води в його озерах збільшився. Озера пересипу поступово були перетворені на чотири штучні водойми (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 зливі води з Шевченкового та Лузанівки, через південно-східний ставок (2), до якого також скидаються зливі й інші стічні води, в південно-західний ставок (3) і далі – в західний ставок (4), який також є приймачем вод зливової каналізації з вулиць Лиманна та Залізнична. Такий напрямок перетікання води в цих ставках зумовлений рівнем води, який зазвичай є найвищим в східному ставку (1). Для відведення води з ставків пересипу під окружною дорогою було споруджено нерегульований водовипуск із 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 перерізом, шириною 1,1 м та найбільшою глибиною 0,85 м.

У 2015 р. головними джерелами надходження стоку в західний ставок (4) та далі в південно-західну частину Куяльницького лиману були стічні води дренажно-зливої каналізації з вулиць Лиманної та Залізничної, зливої каналізації з Об'їзної дороги та з скидного каналу заводу мінеральних вод «Куяльник». За даними обстеження, виконаного 26 травня 2015 р., перетікання води з південно-західного ставка (3) в західний ставок (4) не відбувалось.

За результатами спостережень за скиданням води в лиман через цей водовипуск впродовж періоду з 1986 по 1995 рр. [5] та в 2012 р. [1] встановлено, що величина скидів має сезонний характер: в 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 $4,62\text{-}6,62 \text{ млн. м}^3$. У 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 $0,66 \text{ млн. м}^3$.

Таким чином, починаючи з 1859 р. і по сьогоднішній день (2015 р.) природний водно-сольовий режим Куяльницького лиману було трансформовано інтенсивною господарською діяльністю як в акваторії водойми, так і на водозбірному басейні лиману, тому мінливість рівнів та солоності води в лимані протягом останніх більш ніж 150 років зумовлена антропогенними чинниками.

4.1.5 Гідротехнічна споруда для поповнення Куяльницького лиману морською водою з Одеської затоки у 2014-2015 роках

У 2013-2014 рр. здійснено проектування гідротехнічної споруди, яка має з'єднати Куяльницький лиман та Одеську затоку Чорного моря (трубопровід «море-лиман»). Після проходження будівельної й екологічної експертизи і подальшого 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 [20]:

- водозабір на споруду морського розташування;
- існуючий залізобетонний трубопровід $\text{Ø}1000 \text{ мм}$;
- з'єднувальний трубопровід $\text{Ø}1000 \text{ мм}$ між водозабірною спорудою та існуючим залізобетонним трубопроводом $\text{Ø}1000 \text{ мм}$;
- футляр під Миколаївською дорогою $\text{Ø}1420 \text{ мм}$;
- колодязі із запірною арматурою;
- водовипуск до лиману.

Морський водозбір є водозабірною спорудою шахтного типу з рибозагороджувальним пристроєм парасолькового типу на кам'яній основі з позначкою мінус $5,0 \text{ м БС}$. Конструкція водозбору парасолькового типу є блоком, що складається з чотирьох секцій, кожна з яких розрахована на витрату $0,25 \text{ м}^3/\text{с}$. Загальна витрата водозабірної споруди становить приблизно $1,00 \text{ м}^3/\text{с}$. Пристрій змонтований на оголовку споруди. Внутрішній діаметр на вході в парасольку оголовка становить 1600 мм (труба $1620 \times 10 \text{ мм}$). Вхідна частина парасолькового пристрою заглиблена під рівень води на $3,34 \text{ м}$. 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 [1, 20]: а) ділянка довжиною 238 м – парк «Лузанівка» (60-70 м на захід від центральної алеї); б) ділянка довжиною 56 м – під трамвайними коліями 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 залізниці (район станції «Одеса-Сортувальна», напроти вул. Красна); е) 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 боку східного ставка); з) ділянка довжиною 56 м – під насипом об'їзної дороги м. Одеса; і) ділянка довжиною 26 м – від об'їзної дороги до водовипуску.

Водоскид трубопроводу «море-лиман» розташований в підосві схилу автодороги «Об'їзд м. Одеси по дамбі Куяльницького лиману» та виконаний зі збірного залізобетонного оголовка, встановленого на габіонний матрац [20].

4.2 Водогосподарські споруди в басейні річки Великий Куяльник

Серед малих та середніх річок Північно-Західного Причорномор'я найбільш зарегульована р. В. Куяльник (поняття «природний стік» для неї цілком утратило своє значення). Основну роль у цьому відіграють численні ставки і водосховища та інші гідротехнічні споруди, розташовані у басейні цієї річки.

У 2010 р. за даними досліджень ОДЕКУ, кількість водойм дорівнювала 135 шт. (рис. 4.6), із загальним об'ємом (при максимальному наповненні) близько 15,6 млн. м³ і площею водної поверхні – 6,26 км² [21].

В середні за водністю роки ставки та водосховищами може перехоплюватися половина природного стоку річки, а в маловодні – практично весь стік. Тільки під час особливо високих водопіль і паводків вода переливалася через гребені «глухих» дамб або руйнувала їх та рухалась далі в Куяльницький лиман.

На зменшення об'єму водного стоку річки помітно вплинуло її спрямлення, яке становило 78% (132 з 170 км) основного русла р. В. Куяльник. Спрямлення русла було першою частиною в системі заходів з регулювання стоку цієї річки.

Другою її частиною була (приблизно до 2000 р.) мережа з більш ніж 20 шлюзів-регуляторів (рис. 4.7), які побудували для затримки вод

водопіль і паводків (об'ємом 2,0 млн. м³), а також лиманного зрошення (зволоження) сільськогосподарських угідь на заплаві річки [18].

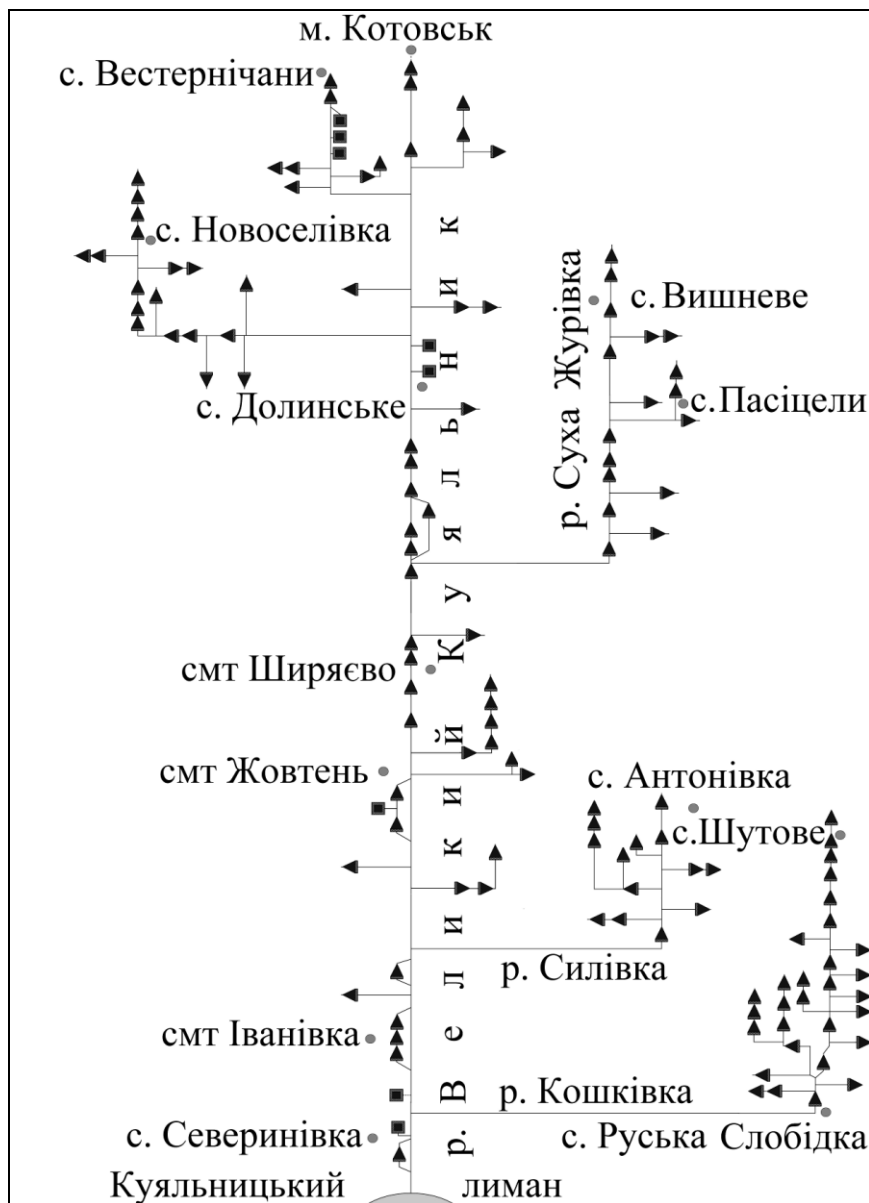


Рис. 4.6 – Схема розташування штучних водойм і гідротехнічних споруд в басейні річки В. Куяльник

В 1995-2000 рр. більшість з цих шлюзів була в несправному стані [22]. Після 2000 р. затвори шлюзів (за даними опитувань мешканців прилеглих сіл) майже всі зникли.

Даних про режим функціонування (роботу) цих 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. 4.7) на стік в руслі річки 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 [18].



Рис. 4.7 – Нижній б'єф одного з шлюзів-регуляторів на річці В. Куяльник (станом на 27.06.2014 р.)

4.3 Оцінка впливу ставків, водосховищ і шлюзів-регуляторів на русловий стік в гирлі р. В. Куяльник за даними гідрологічних вимірювань

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. 4.8) за 9496 діб стік мав місце протягом 2096 діб або 22 % всього періоду. Багаторічна середньодобова витрата води за період, коли був стік, 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. [18].

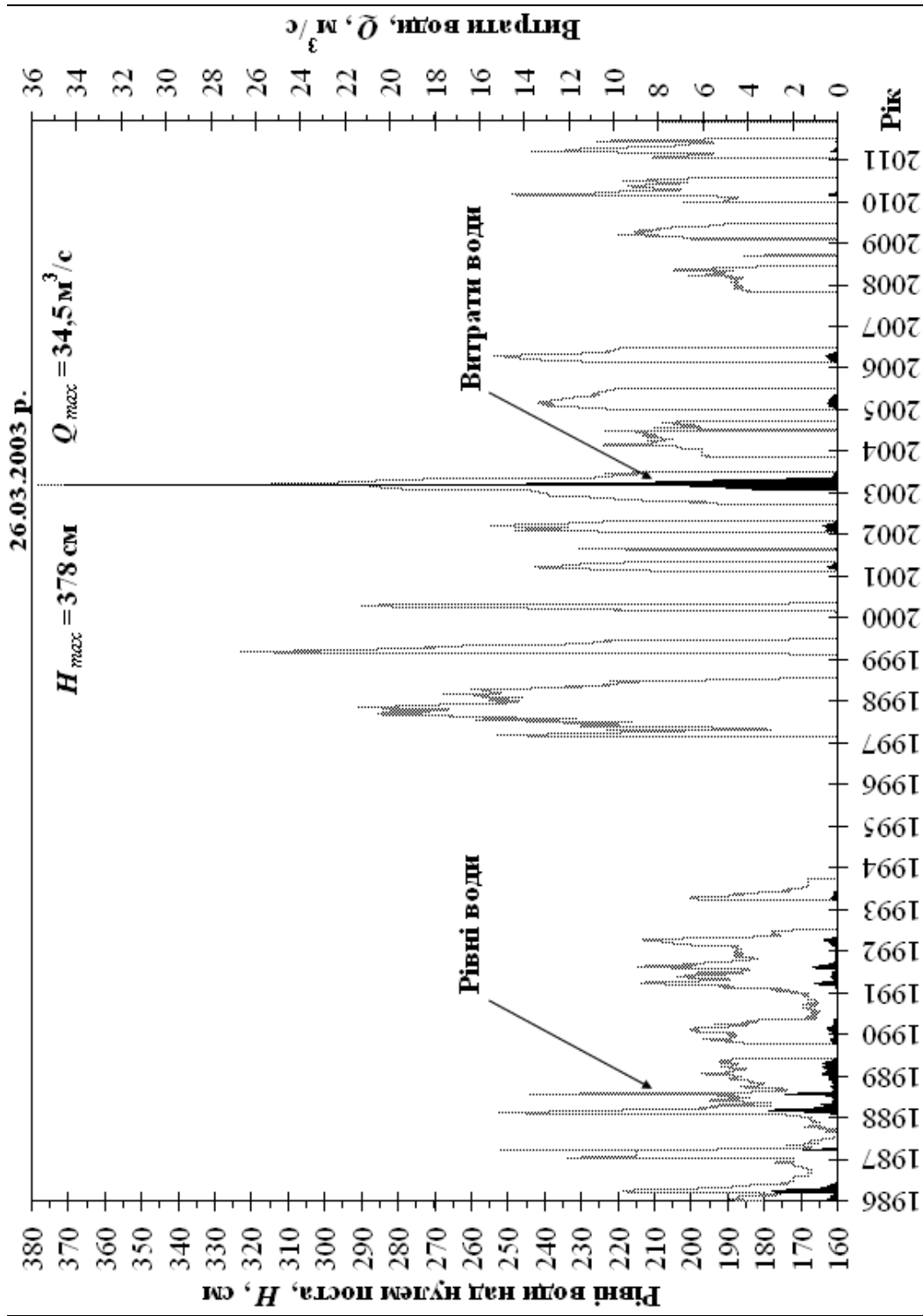


Рис. 4.8 – Мінливість середньодобових рівнів і витрат води, річки В. Куяльник – с. Северинівка, за період з 01.01.1986 р. по 31.12.2011 р.

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.

Шлюзи – регулятори здатні перекрити русло і спричинити підняття рівнів води, 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. 4.8), коли високим рівням відповідає відсутність стоку, наприклад, у 1997-2001, 2004, 2008-2011 рр., а також графіках зв'язку витрат і рівнів води при вільному руслі (рис. 4.9).

Наприклад, у 1989 р. стік води в гирловій ділянці річки регулювався лише одним шлюзом, який знаходився вище поста. Це видно з чіткої ступінчатої форми гідрографу рівнів і витрат води (рис. 4.10), коливання яких майже повністю синхронні. Крім того, одночасно з відсутністю стоку 03.06.1989 р. пересохло русло річки, а з появою води в руслі (після його пересихання впродовж 131 доби) 12.10.1989 р. – одночасно з'являється стік, хоча річка на ділянці поста вже тривалий час була заросла водяною рослинністю, розвиток якої почався 11 квітня і тривав до кінця 1989 р. [18].

4.4 Водогосподарські споруди на річках і балках східного берега лиману

З використанням топографічних карт, супутникових знімків, довідникової літератури та результатів експедиційних досліджень ОДЕКУ [3, 4, 13, 15, 23-26] 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. 4.11.

Крім того, за результатами досліджень ОДЕКУ [26] для річок Кубанка та Довбока визначені площі водних поверхонь F_{max} (м^2) та об'єми W_{max} (м^3) ШВ при їхньому максимальному наповненні, а також описані основні характеристики ГТС станом на середину 2012 р. (табл.4.1).

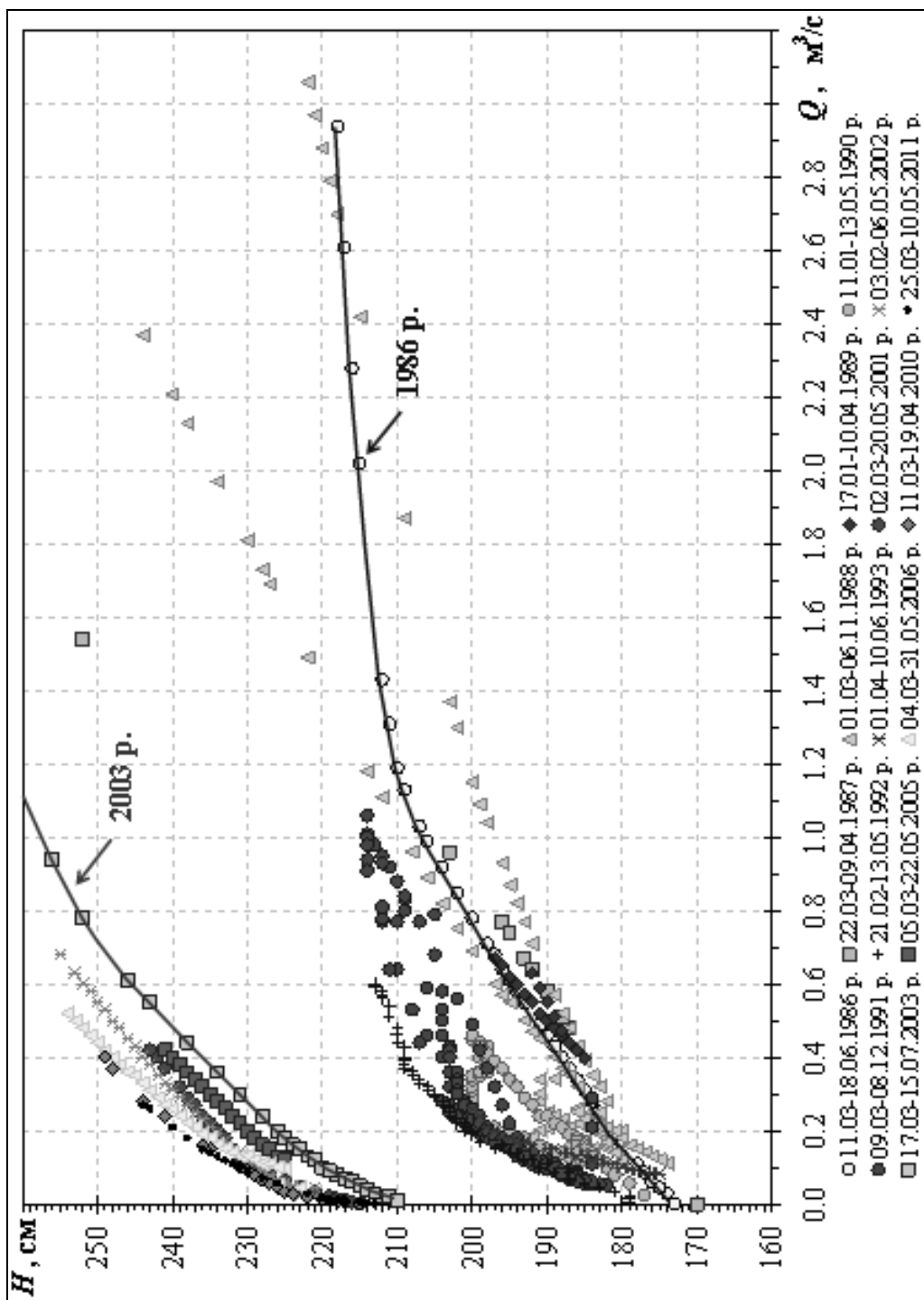


Рис. 4.9 – Зв'язок середньодобових рівнів і витрат води при вільному руслі, річки В. Куяльник – с. Северинівка, за період 1986-2011 рр. (при $H = 160\text{-}260 \text{ cm}$)

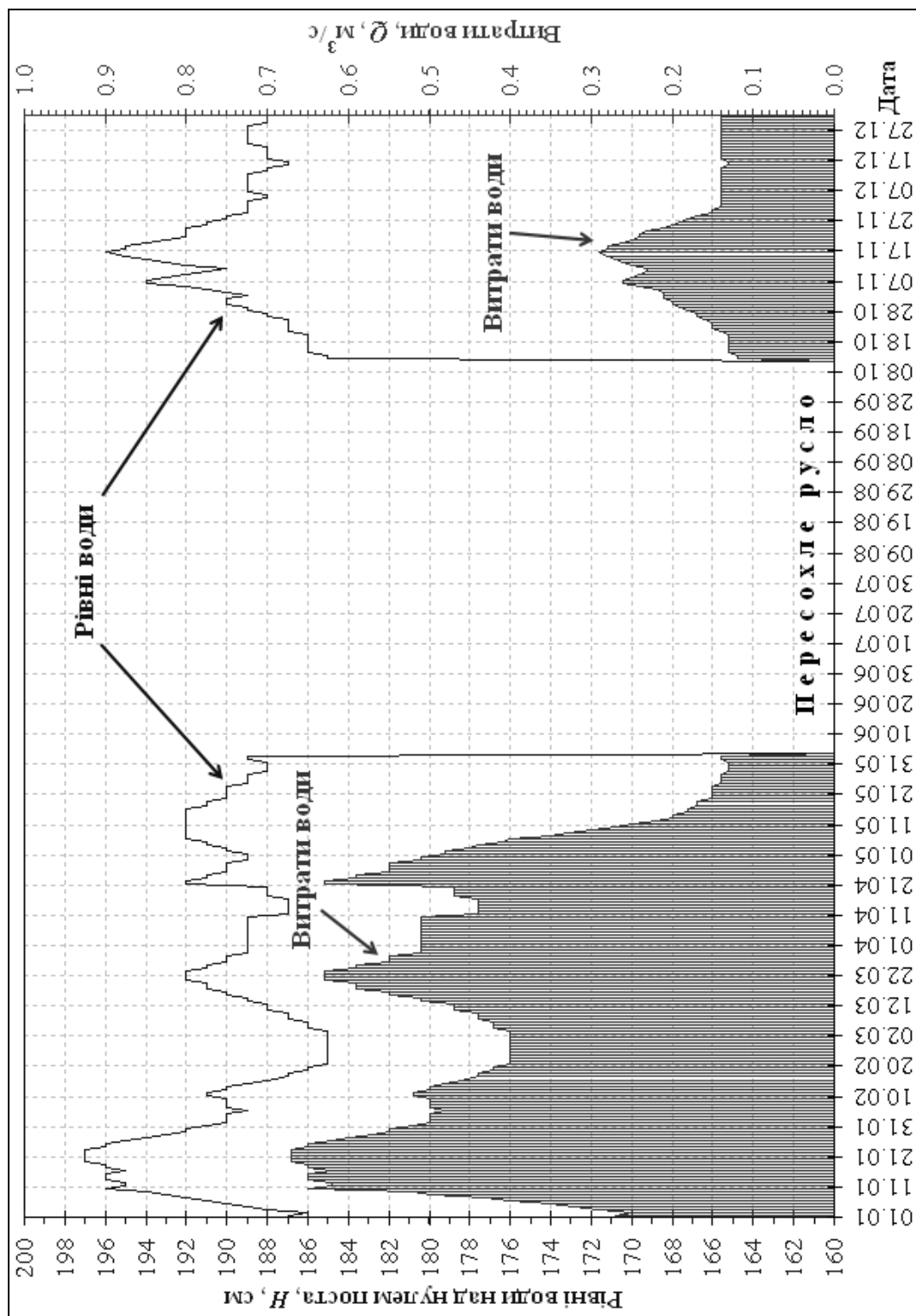


Рис. 4.10 – Гідрограф середньодобових рівнів і витрат води, річки В. Куяльник – с. Северинівка, 1989 р.

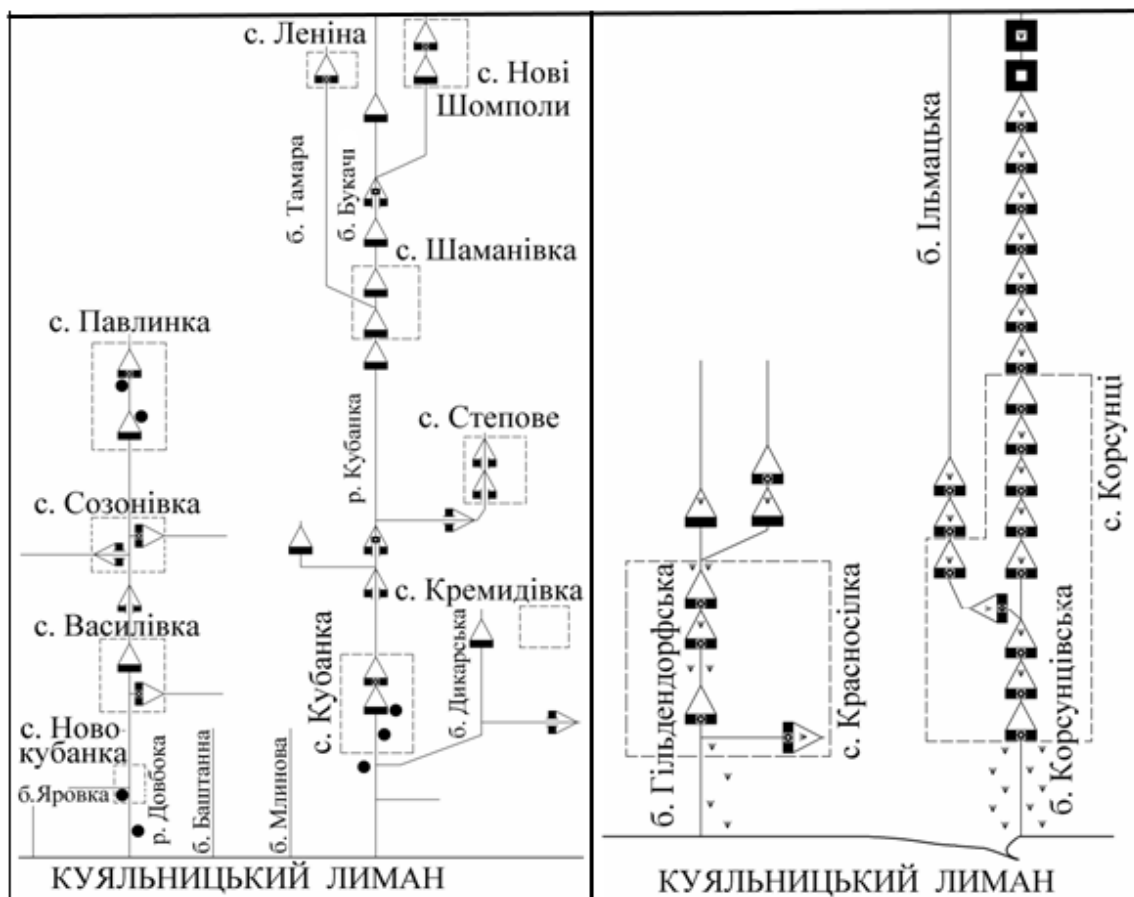


Рис. 4.11 – Положення ГТС, ШВ та колодязів на річках Довбока і Кубанка (схема зліва) та на балках Гільдендорфська і Корсунцівська (схема справа)

В табл. 4.1 використані такі позначення:

F_{max} – площа водної поверхні ШВ, при максимальному заповненні, m^2 ;

W_{max} – об'єм ШВ, при максимальному заповненні, m^3 ;

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

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

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

З табл. 4.1 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) становить 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. 4.1) сумарна площа водної поверхні ставків (при їх максимальному заповненні) становить майже $0,2 \text{ км}^2$ ($0,198 \text{ км}^2$), що також становить приблизно 0,3% площі водозбору річки ($69,5 \text{ км}^2$).

Таблиця 4.1 – Місцезаположення, тип і характеристика ГТС та ШВ в басейні річок Кубанка та Довбока (за даними ОДЕКУ станом на 2012 р.) [26]

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 (вимоїною) з лівого берега (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 (вимоїною) 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-вимоїна з лівого берега)	35500	53250
с. Степове, нижня дамба (залишки від ГТС ставка) в селі	земляна, з проривом (вимоїною) з лівого берега дамби (шириною 10 м)	$\frac{7975}{0}$	$\frac{15950}{0}$
с. Степове, верхня дамба (залишки від ГТС ставка) в селі	земляна, з проривами (вимоїнами) в центрі та з правого берега 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 (вимоїною) до дна в центрі дамби (шириною 10 м)	$\frac{15000}{0}$	$\frac{22500}{0}$

Продовження табл. 4.1

1	2	3	4
с. Шаманівка, ставок в 0,5 км нижче села	земляна, з водопропускною спорудою (канал-вимоїна) з правого берега (шириною 15 м)	60160	90240
с. Шаманівка, нижня дамба (залишки від ГТС ставка) в селі	земляна, з прорізом (вимоїною) 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-вимоїна) з правого берега (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-вимоїна) з правого берега (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-вимоїна з правого берега)	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-вимоїна з лівого берега)	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

На р. Кубанка максимальний об'єм існуючих штучних водойм становить 0,974 млн. м³, що в 1,4 раза 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 млн. м³, тобто всі водні ресурси річки виявилися майже рівними цьому об'єму.

4.5 Оцінка замулювання річок Довбока та Кубанка у сучасних умовах (після паводка 24 травня 2012 року)

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 підчас паводків, які пройшли на цих річках в кінці травня 2012 р. після інтенсивних зливових опадів 24.05.2012 р., з величиною 70,9 мм, що більш ніж в 2 рази перевищує 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 [26-28].

За даними вимірювань [26, 27] встановлено, що максимальні витрати води під час паводка склали: 8,65 м³/с – на р. Довбока, 78,6 м³/с – на р. Кубанка. Поява такої великої максимальної витрати води на р. Кубанка зумовлена не тільки зливовими опадами, а й проривом водою «дамби» з сміттям (залишки сільгоспкультур, гілки дерев тощо) на б.Дикарська. Стік води під мостом на початку паводка було перекрито цим штучним затором зі сміття, Схиловий та русловий стік, утворений зливою, прорвав цю тимчасову загалу і вода ринула 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 паводка 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 м³/с) і швидкості течії води (1,03 м/с), але короткочасний за періодом проходження [26, 27]. Цей приклад ілюструє високий ступінь чутливості водних ресурсів малих та середніх річок зони недостатнього зволоження на вплив водогосподарської діяльності, наслідки якої суттєво перетворюють природні показники їх стоку.

Аналізуючи наслідки паводка 24.05.2012 р. на рр. Довбока і Кубанка треба також відзначити 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 зливом 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 паводка 24.05.2012 р. була деякий час перекрита сміттям, тому швидкість течії зменшилась, а відповідно завислі і рухомі наноси відклалися на дно річки, замуливши таким чином її русло новим шаром відкладів товщиною до 35-40 см [26, 27].

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.

4.6 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 відновлення самого лиману. Попередньо визначено, що відновлювальні заходи мають включати в себе підвищення водності річок за рахунок оптимізації роботи штучних водойм, очищення русел від донних відкладів, посилення водообміну та умов для інтенсифікації самоочищення, реконструкції планових форм русел річок на ділянках зі штучно зміненими, наприклад спрямленими, формами русел.

Важливу роль при розробці рекомендацій мають відігравати оцінки наслідків зміни клімату для природного стану водних ресурсів з використанням заданих кліматичних сценаріїв. Крім того, необхідним є установлення ролі стоку річок і балок у формуванні водності та якості вод лиману як у минулому, так і оцінка впливу штучних водойм на водні ресурси р. В. Куяльник та інших водотоків в залежності від кліматичних умов та масштабів водогосподарської діяльності у майбутньому (не менш ніж на 25 років або до середини XXI ст.). Це дозволяє оцінити можливе збільшення об'ємів надходження прісних вод до лиману, головним чином, за рахунок скорочення чисельності штучних водойм у басейні річки Великий Куяльник та інших водотоків у басейні Куяльницького лиману.

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.

I 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 виконується 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 та інфільтрації) 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 в такій послідовності.

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»* [29].

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 водойми 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. Залісення 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). Дерев та кущі також сприятимуть збільшенню водності шляхом затримки та накопичення у своїх заростях додаткової кількості атмосферних опадів (насамперед, при від'ємних температурах повітря) [30].

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 (в сухих балках, що наповнюються винятково водами поверхневого стоку) надати форму подібну меандру, як це показано на рис. 4.12*a* та на рис. 4.12*б* [31].

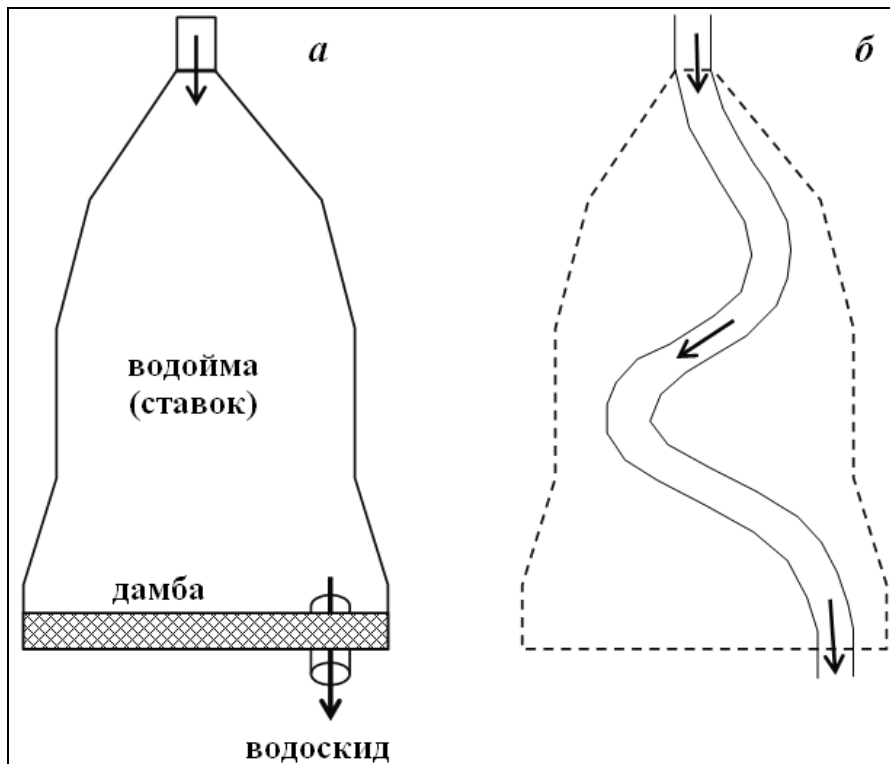


Рис. 4.12 – Схема зміни конфігурації звичайної (традиційної) штучної водойми форми (а) на водойму (русло) у вигляді правильного слабковигнутого меандру (б)

Об'єм штучної водойми в цьому випадку може залишитись незмінним, але площа поверхні води, а відповідно і об'єм випареної води, зменшиться у три-п'ять разів. Для цього в місці існуючої штучної водойми (рис. 4.12*a*) споруджується копань (рис. 4.12*б*), наприклад, у вигляді русла за формою правильного слабковигнутого меандру з вигином рівномірної крутості [31]. Визначення нових морфометричних характеристик штучних водойм може виконуватись таким чином.

Наприклад, є водойма з морфометричними характеристиками, які властиві багатьом ставкам басейну Куяльницького лиману [21, 26]: 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 будуть 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 «зеконмлений» 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.

РОЗДІЛ 5

ГІДРОХІМІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТА ЯКІСТЬ ВОДИ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ БАСЕЙНУ КУЯЛЬНИЦЬКОГО ЛИМАНУ

5.1 Хімічний склад атмосферних опадів в басейні лиману

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. (рис. 5.1-5.3) [1, 2]. Крім того, для оцінки хімічного складу вод, що надходили на водну поверхню Куяльницького лиману з атмосферними опадами в період з 1962 по 1985 рр., використані середні та фонові дані багаторічних гідрохімічних спостережень в районі м. Одеса (табл. 5.1) [3] та результати вимірювань ОДЕКУ за період з 2013 по 2015 рр. (рис. 5.4 та 5.5) [4, 5]. Хімічний склад атмосферних опадів в цих пунктах визначався за даними про концентрації головних іонів (аніонів і катіонів), азоту амонійного і нітратного, мінералізації та рН води.

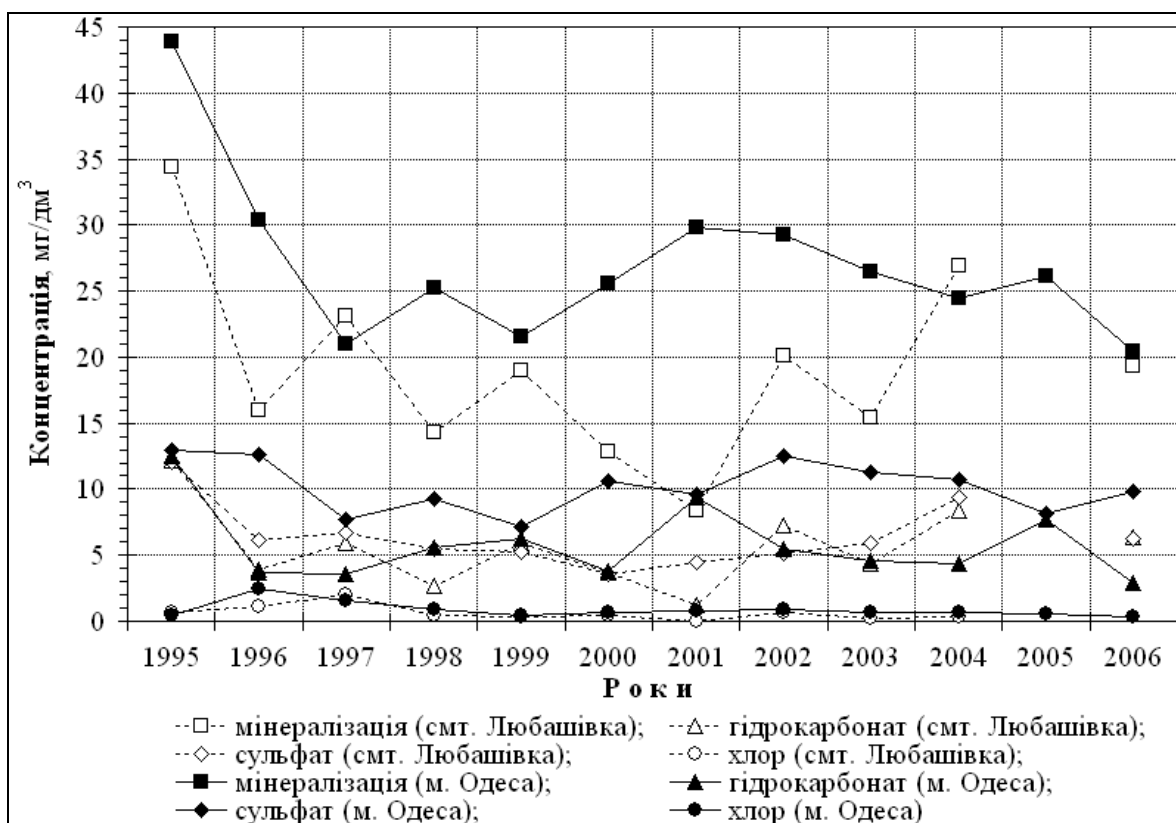


Рис. 5.1– Мінливість середньорічних значень мінералізації та концентрацій (мг/дм³) аніонів у воді атмосферних опадів в пунктах м. Одеса та смт. Любашівка за період 1995-2006 рр.

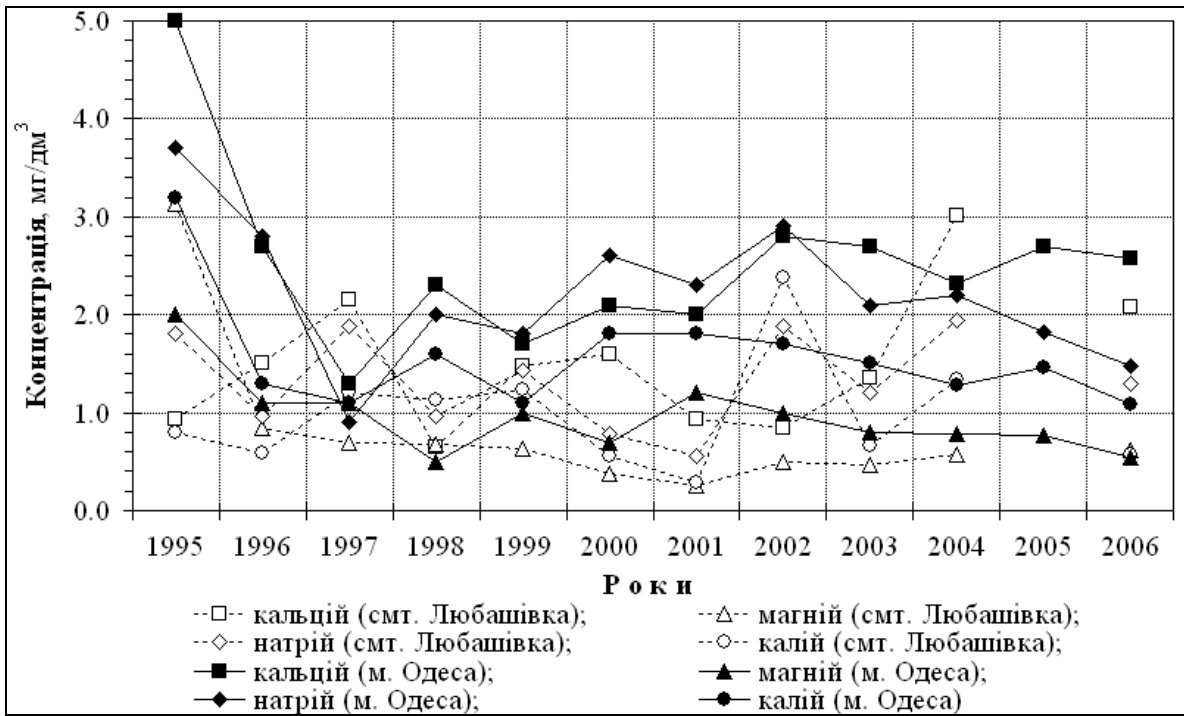


Рис. 5.2 – Мінливість середньорічних концентрацій (мг/дм³) катіонів у воді атмосферних опадів в пунктах м. Одеса та с.м.т. Любашівка за період 1995-2006 рр.

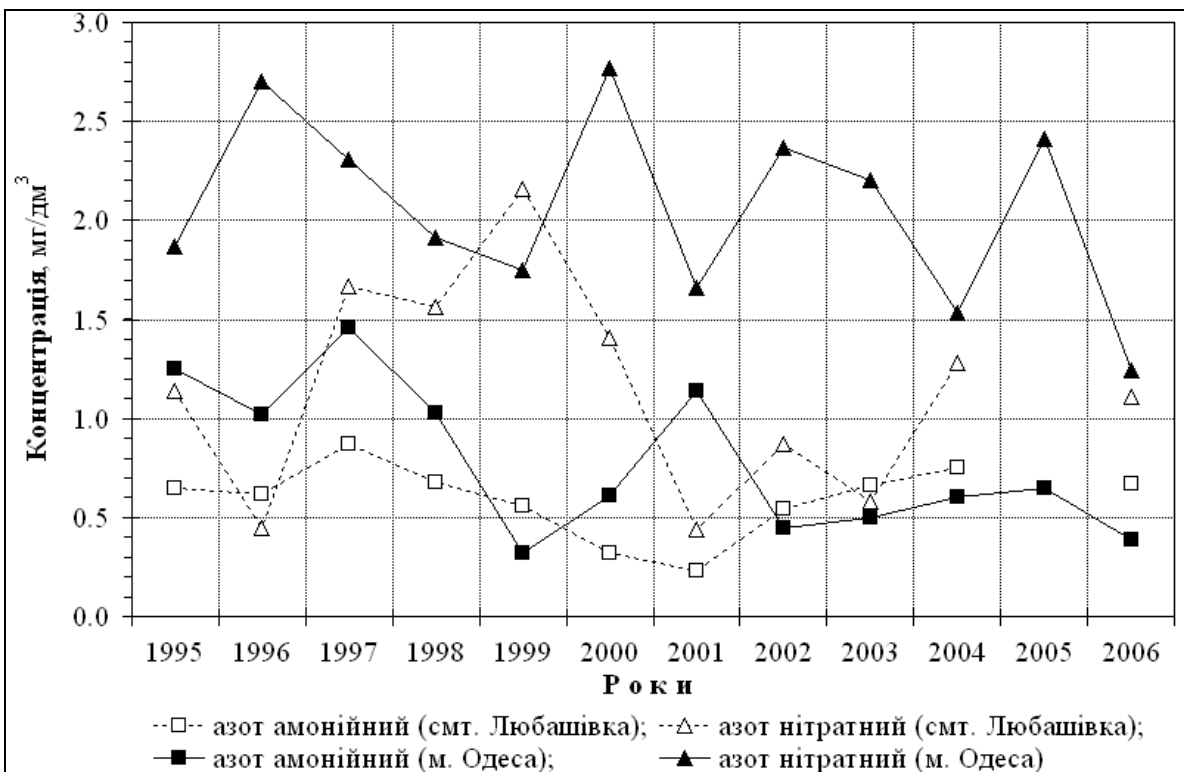


Рис. 5.3 – Мінливість середньорічних концентрацій (мг/дм³) азоту амонійного і нітратного у воді атмосферних опадів в пунктах м. Одеса та с.м.т. Любашівка за період 1995-2006 рр.

Таблиця 5.1 – Середні та фонові значення показників хімічного складу атмосферних опадів в районі м. Одеса за період з 1962 по 1985 рр. [3]

Показник	Значення показника, мг/дм ³	
	Середні	Фонові
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

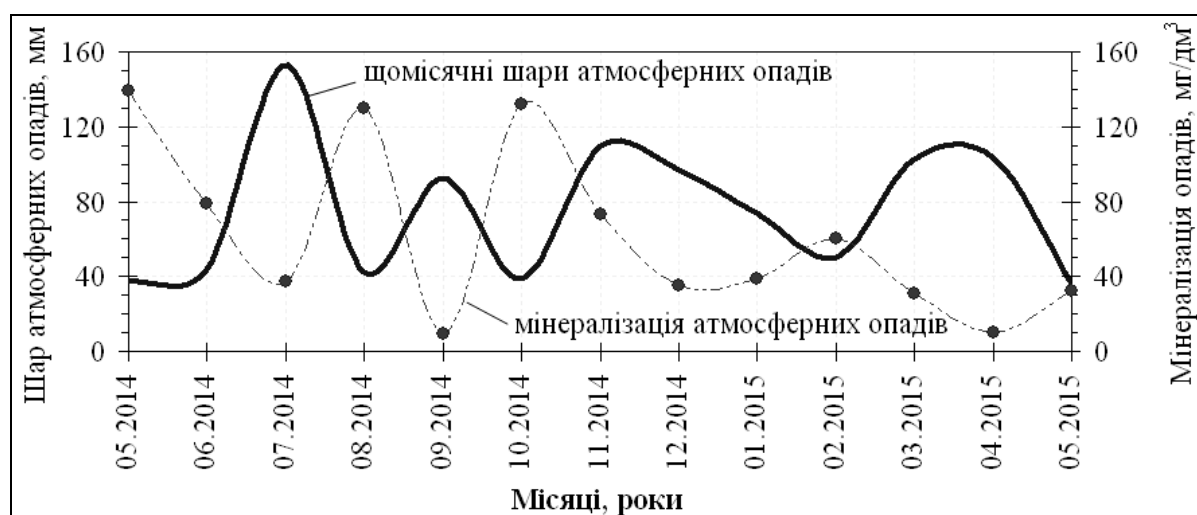


Рис. 5.4 – Мінливість мінералізації води (S_p , мг/дм³) та щомісячних шарів атмосферних опадів (P_o , мм) в районі Куяльницького лиману за період з травня 2014 р. по травень 2015 р. (P_o – дані метеостанції «Одеса-Обсерваторія» [6]; S_p – дані ОДЕКУ [4, 5])

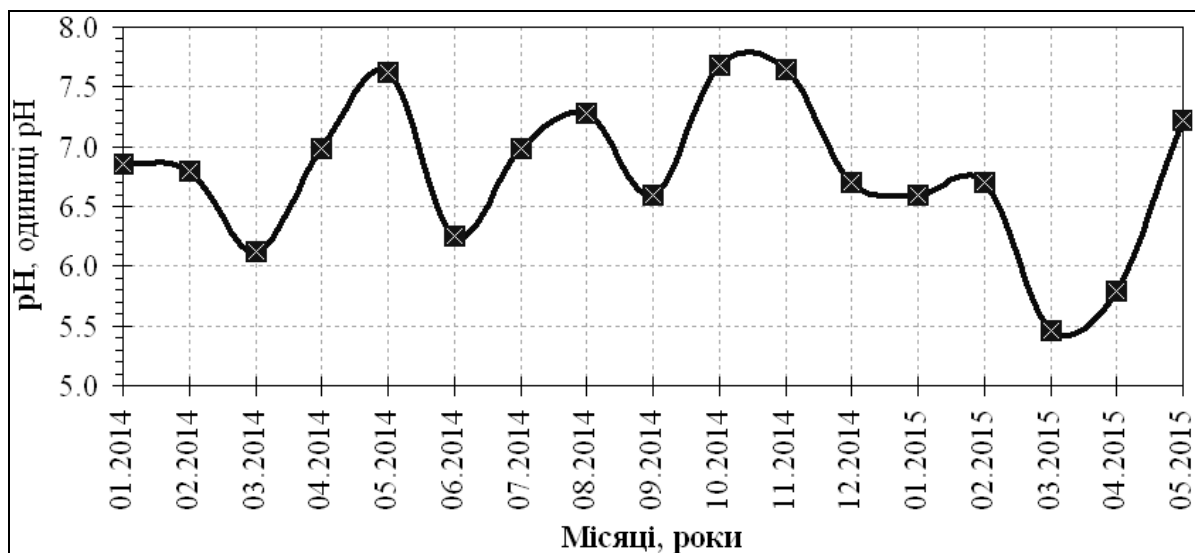


Рис. 5.5 – Мінливість рН води атмосферних опадів у пункті м. Одеса за період з січня 2014 р. по травень 2015 р. (дані ОДЕКУ) [4, 5]

За період з 1962 по 1985 рр. в районі Куяльницького лиману (пункт м. Одеса) середні (фонові) значення показників хімічного складу води атмосферних опадів становили: 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. 5.1) 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. 5.2) – 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. 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. Значний вміст у атмосферних опадах півдня України сульфату іонів пов'язаний з природними і антропогенними процесами, він зумовлює високу окисну здатність і сильну кислотну агресивність атмосферних опадів [7].

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. Курилом [2], 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 δ – $S_{\text{H}60,035}^{\text{MgCa}0,34}$. 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. становила 6,0 од. рН (змінюючись від 5,9 до 6,1 од. рН) [2], атмосферні опади в районі лиману (пункт м. Одеса) належали до слабкокислих вод. Однак, за даними ОДЕКУ (рис. 5.5) 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.). Крім того, за даними вимірювань мінералізації атмосферних опадів у період 2013-2015 рр. визначено, що її середньомісячні значення в м. Одеса в окремі місяці теплого періоду року перевищують 120 мг/дм³, зменшуючись при зростанні кількості опадів за місяць (рис. 5.1) [4, 5].

Високий вміст головних іонів і сполук азоту в атмосферних опадах в басейні Куяльницького лиману пов'язаний з тривалими посушливими періодами, коли атмосфера зазнає значного запилення мінеральними аерозолями при еоловій ерозії орних земель. Через недостатню лісистість певну роль відіграє зливовий характер випадіння атмосферних опадів, надходження аерозолів з боку Чорного моря, забруднення атмосфери промисловими і автотранспортними викидами. Таким чином, атмосферні опади в басейні Куяльницького лиману можуть досить помітно впливати на хімічний склад поверхневих вод в цьому районі і це необхідно враховувати при здійсненні гідролого-гідрохімічних розрахунків.

5.2 Гідрохімічна характеристика підземних вод в басейні лиману

Водозбір Куяльницького лиману розташований в межах Причорноморського артезіанського басейну. Водоносні горизонти знаходяться у відкладах четвертинної, неогенової, палеогенової, крейдяної систем. Четвертинні відклади утворені делювіальними лесоподібними суглинками на червоно-бурих пліоценових глинах [8].

Комплекс неогену у верхній своїй частині утворений відкладами понтичного ярусу (вапняками, глинами), які підстилаються піщано-глинистими утвореннями меотичного ярусу, що залягають на піщано-глинистих відкладах верхньосарматського під-ярусу (з малопотужними прошарками вапняку та ракуші з піском). Останні розташовуються на середньосарматських утвореннях. У межах басейну Куяльницького лиману виділяють 8 водоносних горизонтів. Гідравлічний зв'язок поверхневих і підземних вод, як правило, відсутній, за винятком горизонту в сучасних алювіальних відкладах.

Водоносний горизонт в сучасних алювіально-делювіальних відкладах поширений в заплавах річок і тальвегах балок. Водовмісними породами є піски, супіски, суглинки, з включеннями гравію і гальки. Живлення горизонту відбувається за рахунок інфільтрації атмосферних

опадів, фільтрації з поверхневих водотоків, надходження вод з інших водоносних горизонтів. Розвантаження водоносного горизонту відбувається в річки (в межень), дренаж (колодязі). Глибина залягання горизонту змінюється від 0 до 8 м, потужність – від 0 до 12 м. Води використовуються для господарсько-побутових потреб. В іонному складі [8] у водах цього горизонту переважають іони хлоридів і кальцію, рН води становить 6,5-7,9, мінералізація – 600-6700 мг/дм³, загальна твердість – 9,4-56 ммоль/дм³, вміст нітратного азоту – 0-1,5 мг/дм³, азоту загального – 0-279 мг/дм³. Горизонт не захищений від забруднення.

Водоносний горизонт у еолово-делювіальних відкладеннях розташований на вододільному плато і його схилах. Водовмісними породами є лесоподібні суглинки. Живлення горизонту відбувається за рахунок інфільтрації атмосферних опадів. Розвантаження водоносного горизонту відбувається шляхом випаровування, природного і штучного дренажу. Глибина залягання горизонту змінюється від 0 до 15 м, потужність становить 1-5 м. Води використовуються для господарських і питних потреб. В іонному складі [8] вод цього горизонту переважають іони сульфатів і магнію. рН води дорівнює 7,2-8,0; мінералізація – 1300-13300 мг/дм³; загальна твердість становить 4-157 ммоль/дм³; вміст нітратного азоту – 0-4,5 мг/дм³; азоту загального – 0-3373 мг/дм³. Горизонт не захищений від забруднення.

Водоносний горизонт у понтичних відкладах розташований в середній і південній частині басейну в межах вододільних плато і їх схилів, переважають води спорадичного поширення. Водовмісними породами є піски, вапняки. Живлення горизонту відбувається за рахунок інфільтрації атмосферних опадів, перетікання з верхніх водоносних горизонтів. Розвантаження водоносного горизонту здійснюється шляхом випаровування, дренажу руслами річок, природного та штучного перетікання в нижні водоносні горизонти. Глибина залягання горизонту змінюється від 0 до 25 м, потужність знаходиться у межах 1,5-14 м. Води використовуються для господарських та питних потреб. Контроль якості води проводиться в районі с. Северинівка з 1988 р. на свердловині № 111. У іонному складі [8] вод цього горизонту переважають іони сульфатів, хлоридів, магнію, рН води становить 7,3-7,5, мінералізація – 500-17800 мг/дм³, загальна твердість 5-118 ммоль/дм³, вміст нітратного азоту – 0,01-0,6 мг/дм³. Горизонт слабо захищений від забруднення.

Водоносний горизонт в неогенових балтських відкладах розташований в північно-західній частині басейну лиману (в межах вододільного плато і його схилів). Водовмісними породами є піски, алеврити, пісковики. Живлення горизонту відбувається за рахунок інфільтрації атмосферних опадів, перетікання з вище і нижче розташованих водоносних горизонтів. Розвантаження водоносного горизонту відбувається шляхом випаровування і дренажу (джерела).

Глибина залягання водоносного горизонту змінюється від 0 до 25 м, потужність – від 0,2 до 15 м. Води використовуються для водопостачання та господарських потреб. У іонному складі [8] вод цього горизонту переважають гідрокарбонат, сульфат, магній, мінералізація становить 400-1600 мг/дм³. Горизонт недостатньо захищений від забруднення.

Водоносний горизонт в неогенових відкладах меотичних глин розташований в середній і південній частинах басейну в межах вододільних плато та його схилів, переважають води спорадичного поширення. Водовмісними породами є прошарки пісків серед глин. Живлення горизонту відбувається за рахунок інфільтрації атмосферних опадів, перетікання з верхніх водоносних горизонтів. Розвантаження водоносного горизонту здійснюється у вигляді випаровування, дренажування в долину річки, перетікання в нижні водоносні горизонти. Глибина залягання водоносного горизонту знаходиться у межах від 5 до 70 м, потужність – 1-3 м. Води використовуються для господарських потреб. Іонний склад [8] води цього горизонту складний з переважанням іонів натрію, рН води становить 7,2-8,0, мінералізація – 400-10100 мг/дм³, загальна твердість – 9,4-104 ммоль/дм³, вміст нітратного азоту – 0-2 мг/дм³, азоту загального – 0-197 мг/дм³. Горизонт недостатньо захищений від забруднення.

Водоносний горизонт у верхньосарматських відкладах розташований в середній і південній частинах басейну. Водовмісними породами є прошарки пісків і вапняків, ракуші. Живлення горизонту відбувається за рахунок інфільтрації атмосферних опадів, перетікання вод з верхніх водоносних горизонтів і підтікання – з нижчих. Розвантаження водоносного горизонту відбувається 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 [8] вод цього 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. Горизонт умовно захищений від забруднення.

Водоносний горизонт у середньосарматських відкладах залягає у межах усього басейну Куяльницького лиману. Водовмісними породами є прошарки вапняків, пісків, мергелів. Живлення горизонту відбувається за межами басейну лиману за рахунок інфільтрації атмосферних опадів в областях виходу порід на поверхню, підтікання від сусідніх водоносних горизонтів. Розвантаження водоносного горизонту відбувається 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 відбувається 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 [8] води цього 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. Горизонт умовно захищений від забруднення.

5.3 Фізико-хімічні властивості та мінералізація ропа лиману

В умовах ізоляції Куяльницького лиману від моря в його водних масах відбуваються процеси, що призвели до утворення шару грязьових відкладів. Грязі та ропа лиману за сполученням солей мають унікальні лікувальні властивості, відповідають стандартам лікувальних грязей [9]. Бальнеологічні ресурси лиману вважаються одними з найцінніших в Україні та світі.

Гідрохімічний режим закритого Куяльницького лиману визначається природними та антропогенними чинниками: надходженням стоку річки Великий Куяльник, прісних вод та вод з пониженою мінералізацією (< 500 мг/дм³) із водойм і водотоків пересипу лиману і прилеглих територій, надходженням атмосферних опадів і випаровуванням, фільтрацією морської води через пересип, поверхневим і підземним стоком, розвитком внутрішньоводоймних гідробіологічних процесів.

Оскільки підземне живлення і фільтрація вод з моря несуттєві в закритих лиманах [10], а стік річки Великий Куяльник затримується штучними водоймами, то на формування гідрохімічного режиму основний вплив справляє стік поверхневих вод зі схилів, атмосферні опади 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'язане з тим, що солоність більша за 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 [11]. Основним компонентом біоти лиману є галорезистентний зяброногий рачок *Artemia parthenogenetica*, здатний до життя в гіпергалінних водоймах, і деякі види мікрроводоростей.

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 [12-14]. 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) [14], кліматичні особливості останнього десятиріччя сприяли поступовому зменшенню площі водного дзеркала, осолоненню лиману і перетворенню його на гіпергалінну водойму. Так, максимальна солоність води зафіксована в Куяльницькому лимані за період з 1987 р. по 2009 р. [9, 12], 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 ‰ [15]. Навіть після інтенсивних паводків і атмосферних опадів солоність води в лимані досить швидко збільшувалася за рахунок вилуговування сотень тисяч тонн солі з поверхневого шару донних відкладів та прилеглих до узбережжя солончаків, а також завдяки випаровуванню.

Дослідження іонного складу ропи Куяльницького лиману (за класифікацією природних вод, води з мінералізацією вищою за 50 ‰ відносяться до розсолів або ропи [9]) 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 [16, 17]. Однак значення хлорного коефіцієнта (відношення кількості солей, які містяться в природній воді, до вмісту хлору) залишається стабільним – 1,55-1,65 (табл. 5.2).

В роботі [10] 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 [16] вона відноситься до 1 класу розсолів, для яких характерний вміст хлоридів натрію і магнію та сульфатів натрію, магнію й кальцію.

При солоності вищій за 150 ‰ в лимані неодноразово спостерігався процес осідання солі [17], 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, проходив процес розчинення гіпсу. Але при цьому не увесь гіпс повертався в лиман. В періоди низьких концентрацій солоності води, які сприяють життєдіяльності сульфаторедуруючих бактерій, значна частина гіпсу відновлювалась і перетворювалась на вуглекислий кальцій і сірководень, велика кількість яких скрізь відмічалась в мулових відкладах лиману. Відсутність кристалічного гіпсу у грязях було підтверджено численними бальнеологічними дослідженнями Е.С. Бурксеро [10, 18].

Таблиця 5.2 – 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
Веріго 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

Гідрохімічні дослідження в 1978-1979 рр. хімічного складу води і порових розчинів донних відкладів в південній частині Куяльницького лиману також показали, що вони відносяться до хлоридно-натрієвого типу, а за класифікацією Курнакова-Валяшко [9] до I класу розсолів.

Дослідження 2000-2005 рр. [13], 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 більшою мірою врівноважуються катіонами натрію (вміст NaCl порядку 65 %), і меншою мірою – магнію (табл. 5.3).

Таблиця 5.3 – Основний іонний склад ропи Куяльницького лиману в 2005 р. (середні значення) [13]

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

За класифікацією О.А. Альокіна [2, 16] ропа Куяльницького лиману відноситься до розряду хлоридно-натрієвих, де відсоткова сума гідрокарбонатів і сульфатів менша 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. 5.3 видно, що основну масу солей становлять хлориди натрію і магнію. Вміст мікрокомпонентів у воді лиману в 2005 р. коливався в межах: бромю – 200-800 мг/дм³, 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 близька до морських хлоридно-натрієвих вод, на що вказує і середнє багаторічне значення хлорного коефіцієнта Куяльницької води – 1,62 (для Чорного моря – 1,82) [10].

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 відмічаються зниження їх вмісту до аналітичного нуля. Згідно з [10], концентрація біогенних сполук в лимані змінювалась в межах: нітриту – 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 [19]. Було відмічено, що в південній і центральній частинах лиману, куди надходять слабо очищені і неочищені антропогенні стоки, діапазони мінливості і середні концентрації біогенних речовин максимальні (табл. 5.4).

Дослідження гідрохімічного режиму лиману у 2001-2002 рр. [14, 19] також показали значну сезонну мінливість майже всіх гідрохімічних показників, що пов'язано з нестійким гідрологічним режимом Куяльницького лиману (табл. 5.5).

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 зумовлене, головним чином, погіршенням умов мінералізації органічної речовини через різке підвищення солоності і зниження насичення вод лиману киснем.

Таблиця 5.4 – Мінливість вмісту біогенних речовин в акваторії Куяльницького лиману за період 1999-2002 рр. [19]

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	–

Таблиця 5.5 – Діапазон і середні значення деяких гідрохімічних показників Куяльницького лиману (2001-2002 рр.) [14]

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 – 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. [10] 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 депонування в донних відкладах, де відбуваються складні біохімічні процеси перетворення органічної речовини у пелоїдах [20, 21].

Як правило, у воді лиману, при солоності більшій за 150 ‰, відзначали 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 ($7,38 \text{ мгO}_2/\text{дм}^3$) було зафіксоване навесні 2002 р. при температурі ропи $10,5^\circ\text{C}$ і максимальній величині первинної продукції фітопланктону – $2,68 \text{ мгO}_2/\text{дм}^3 \cdot \text{д}^{-1}$. Мінімальне значення кисню встановлене у серпні при температурі води $31,4^\circ\text{C}$ і солоності 227,1 ‰ [14, 19].

Близькість розташування об'єктів енергетичного і нафтоперевального комплексів, транспортних магістралей, скид неочищених стічних, зливних і талих вод, водотоків антропогенного походження, фільтрація ґрунтових вод призвели до забруднення акваторії Куяльницького лиману. В минулі десятиріччя в ропі лиману, особливо в його південній частині, реєструвались високі концентрації забруднювальних речовин – нафтопродуктів, важких металів та інше [14, 22, 23]. 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 стоки. 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 таких 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

– 39-55 мг/дм³, хром – 4,1-9,6 мг/дм³ [19]. Подальші (до 2008 р.) дослідження ропи і донних відкладів лиману щодо вмісту свинцю [19] показали зміну його концентрації в воді в межах 0,0022-0,087 мг/дм³, в донних відкладах – 4-43 мг/кг. Це свідчить про міграції цього металу з ропи в донні відклади і акумуляцію в них.

Результати моніторингу екосистеми лиману в період 1999-2011 рр. показали [15], що в ропі лиману і водах сполучених водойм реєструється перевищення ГДК по нафтопродуктах і продуктах їх окислення (формальдегід і феноли), а також високий рівень вмісту металів – ванадію, свинцю і кадмію.

Донні відклади лиману є важливими факторами впливу на гідрохімічні показники ропи і являють собою потужні запаси лікувальної грязі (пелоїдів), в яких проходять специфічні хімічні і бактеріальні процеси. Пелоїди лиману містять значні запаси 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 [18, 24].

Аналіз даних за вмістом мінеральних й органічних речовин у порових розчинах пелоїдів лиману показав, що концентрації мінерального і органічного фосфору, мінеральних сполук азоту в них на один-два порядки вищі, ніж у ропі; органічного азоту і розчиненої органічної речовини – вищі в 2-3 рази [14]. Це свідчить про інтенсивне накопичення і слабку мінералізацію органічної речовини як у ропі, так і в пелоїдах. Така ситуація, в цілому, типова для гіперсолоних водойм, в яких перевищення продукції над деструкцією веде до накопичення автохтонної органічної речовини [19].

Вміст у 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. 5.6) 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 мг/дм³, вміст іонів натрію і калію – 34,00-44,72 мг/дм³, магнію – 5,598,97 мг/дм³. Серед специфічних біологічно активних компонентів та сполук (табл. 5.7) в терапевтично значимій кількості виявлені: йод 2,33-13,2 мг/дм³, бром – 278-398 мг/дм³, ортоборна кислота – 36,4-101 мг/дм³. Середній хімічний склад ропи Куяльницького лиману в період з 1996 по 2007 р. (більш 400 досліджень) наведений в табл. 5.8.

Таблиця 5.6 – Макрокомпонентний склад ропи Куяльницького лиману за період 2005-2007 рр. [25]

Дата відбору	Концентрації компонент, мг/дм ³							рН
	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 5.7 – Вміст біологічно активних компонент та сполук (мг/дм³) у ропі Куяльницького лиману за період 2005-2007 рр. [25]

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 5.8 – Середній хімічний склад ропи південної частини Куяльницького лиману за період 2005-2007 рр. [25]

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

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, коливання мінералізації практично не впливають на співвідношення основних компонентів.

За класифікацією, що 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 води Куяльницький лиман можна поділити на три частини: північну, середню та південну [25]. 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 [9, 25]) внаслідок мілководості лиману та сильного вітрового перемішування водних мас.

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 [9, 25].

Солоність води Куяльницького лиману тісно пов'язана з водним режимом водойми [25], 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 вигляді степеневим рівнянням

$$S = 23330 \cdot (10 + H)^{-3,5506}, \quad (5.1)$$

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 вигляді таким степеневим рівнянням

$$S = 161 \cdot H^{1,12}, \quad (5.2)$$

де S – солоність води (ропи), ‰; H – рівень води над нулем графіка поста, м.

Ропа гіперсолоного Куяльницького лиману при зниженні рівнів води в літні періоди 2009-2015 рр. перетворювалась на перенасичений («міцний») водно-сольовий розчин, мінералізація якого, за даними ОДЕКУ, в серпні 2009 р. сягала 390 ‰, а з квітня по серпень 2012 р. зросла з 266 до 365 ‰, «опріснюючись» тільки в періоди весняного водопілля та

короткочасних інтенсивних зливових опадів, як, наприклад, в кінці травня 2012 р., коли солоність ропи лиману зменшилась до 206 ‰ [25].

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. Отже, існуючий водно-сольовий режим Куяльницького лиману може спричиняти такі наслідки у функціонуванні екосистеми:

- повне зникнення своєрідної флори та фауни лиману при солоності ропи більшій за 200 ‰, наприклад, зяброногого рачка – артемія (*Artemia parthenogenetica*), та червоно-буре «цвітіння» води за рахунок масового розвитку й 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) [25];

- зниження рекреаційного та бальнеологічного потенціалу Одеської області та України, втрата лиману як курорту.

За даними спостережень науковців ОДЕКУ, у липні-серпні 2009 р. було визначено, 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 гнилісний запах, інтенсивністю 3-5 балів. Прозорість води становила 0,60 м – на акваторії лиману та 0,03 м – в гирлі р. В. Куяльник. Значення рН води коливалися від 6,69 – в нижній частині лиману до 7,50 – в верхній; в гирлі р. В. Куяльник рН дорівнював 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 становила в середньому по акваторії водойми 390‰, в центральній частині лиману вона була меншою і становила 380 ‰. В гирлі р. В. Куяльник солоність води дорівнювала 7,70 ‰ [9].

5.4 Гідрохімічна характеристика водойм басейну р. В. Куяльник

Наявність мілководних зон, зарегульованість русла, розораність берегової зони під земельні угіддя та садиби, велика кількість населених пунктів вздовж русла р. В. Куяльник та на території водозбору призводять до посилення антропогенного навантаження на річкову екосистему, що позначається, в першу чергу, на зростанні мінералізації води (табл. 5.9), підвищенні концентрацій неорганічних сполук азоту, фосфору (табл. 5.10) та органічних сполук – загальних фенолів, формальдегідів (табл. 5.11).

Таблиця 5.9 – Вміст головних іонів (аніонів і катіонів) у воді р. Великий Куяльник (2004-2007 рр.) [26, 27]

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

Таблиця 5.10 – Основні гідрохімічні показники біологічної характеристики вод р. Великий Куяльник (2004-2007 рр.) [26, 27]

Граничнодопустимі концентрації (ГДК), мг/дм ³	Ph	Нітриди, 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
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 5.11 – Вміст пріоритетних токсикантів органічного і неорганічного походження (мг/дм³) у воді р. Великий Куяльник (2004-2007 рр.) [26, 27]

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
ГДК _В	0,03	0,05	0,001
ГДК _{ВР}	0,1	0,1	0,001

В табл. 5.9-5.11: 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).

З наведених в табл. 5.10 даних можна зробити висновки, що на високий рівень забруднення органічними сполуками вказують і величини

інтегральних показників органічного забруднення ХСК та БСК₅. Крім того, з табл. 5.10 та 5.11 видно, що вміст амонійного азоту, фосфатів, фенолу та свинцю перевищує величини ГДК для водойм як культурно-побутового і господарчо-питного, так і рибогосподарського призначення. Беручи до уваги те, що на території водозбору відсутні інші значні джерела забруднення водойми, таку ситуацію логічно розглядати, як результат впливу неочищених скидів комунально-побутових стоків з довколишніх населених пунктів та сільськогосподарських стоків з удобрених полів і тваринницьких ферм. Кисневий режим у руслі річки, незважаючи на високі показники БПК₅ (табл. 5.10), які свідчать про істотний антропогенний вплив, у цілому сприятливий, рН річкової води за вегетаційні періоди 2004-2007 рр. коливалася від нейтральної до слабо лужної. За іонним складом вода р. Великий Куяльник солонувата, хлоридно-сульфатного класу, переважно натрієвої групи, третього типу.

Восени 2010 р. в басейні р. В. Куяльник науковцями ОДЕКУ на 12 гідрохімічних станціях були проведені гідрохімічні дослідження (рис. 5.6). Дані гідрохімічних спостережень [27] в деяких штучних водоймах в басейні р. В. Куяльник показали, що температура води восени 2010 р. коливалася в межах від 5,2 до 12,5°C, що пов'язано з теплотапасами водойм, а вони, в свою чергу, залежать від об'ємів води в ставках. Запах води відчувався в пробах води тільки з трьох ставків; слабкий гнилісний запах, з інтенсивністю близько до 2 балів, відзначався тільки в одній пробі (гідрохімічна станція № 8, ставок в с. Вестернічани). Характер запаху був сірчистий. Для цієї ж водойми встановлено, що вміст кисню в ній найменший – 3,47 мгО₂/дм³ (36,7 %О₂). Вірогідніше за все, це пов'язане з деструкцією та розкладанням речовин органічного походження в осінній період, при ще сприятливих для цього температурах води (в цій водоймі вона була найвищою серед усіх водойм). Середня прозорість води в ставках на басейні р. В. Куяльник становила 0,35 м, максимальна – сягала 0,80м (гідрохімічна станція № 3, ставок в с. Северинівка), а мінімальна становила 0,12 м (ставка на р. Суха Журівка, с. Новоолександрівка). В цій же водоймі спостерігалася найбільша рН, яка становила 8,86, при середньому значенні 8,00.

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

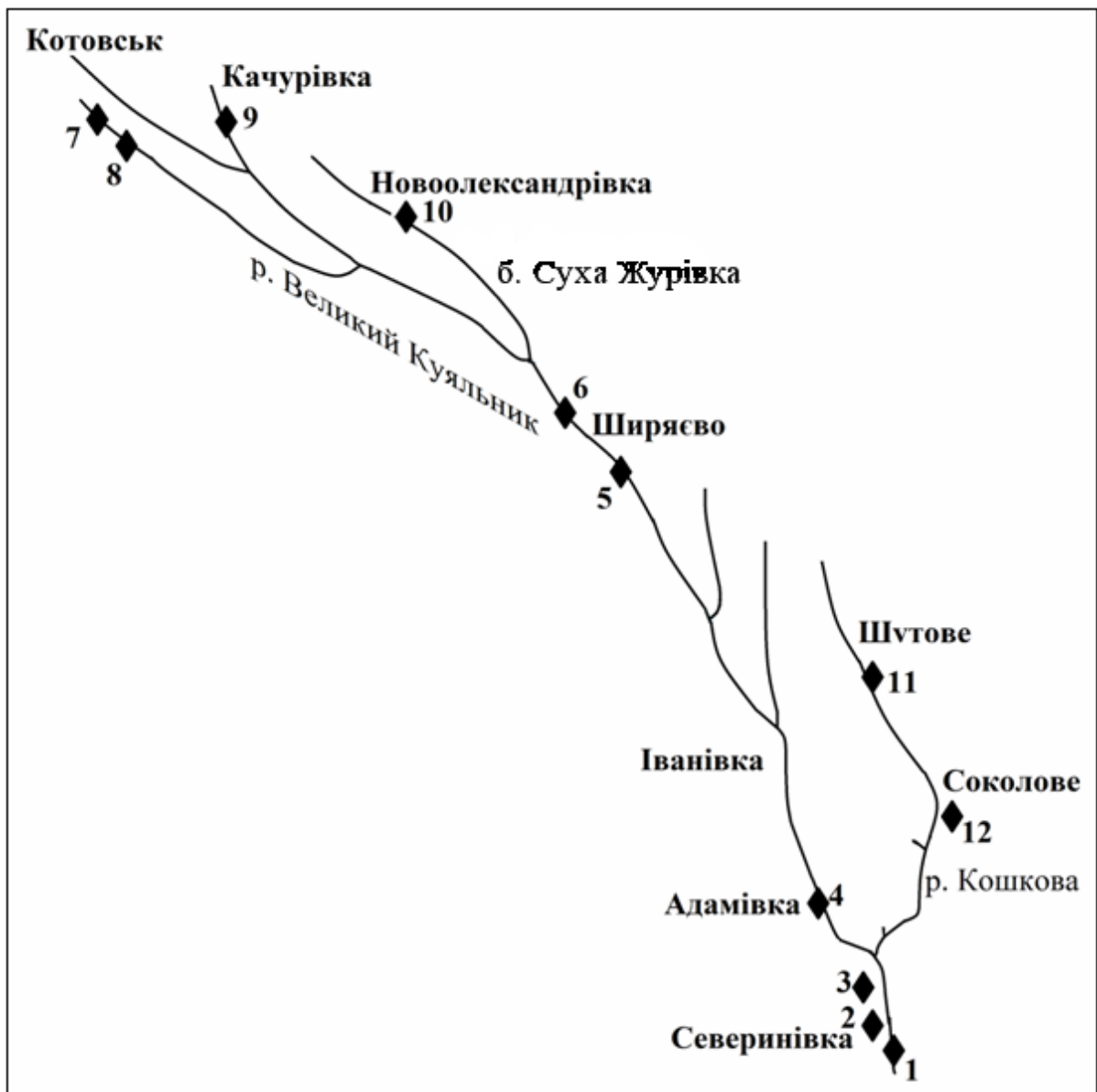


Рис. 5.6 – Місцезнаходження гідрохімічних станцій ОДЕКУ в басейні річки Великий Куяльник восени 2010 р.

5.5 Гідрохімічна характеристика річок Довбока та Кубанка, балок Гільдендорфська та Корсунцівська

В процесі виконання працівниками ОДЕКУ натурних експедиційних гідроекологічних досліджень водних об'єктів в басейнах водотоків і водойм східного і південного берегів Куяльницького лиману в 2012 р. були проведені гідрохімічні дослідження поверхневих і підземних вод в річок Довбока та Кубанка, балок Гільдендорфська та Корсунцівська [28].

Роботи виконувались 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 (температури, запаху, прозорості, кольоровості), 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 землястий, 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 становила 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 басейнів зазначених річок – від 2,5 до 4,63 ммоль/дм³. За іонним складом річки 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 становила від 0 до 8,84 мгО₂/дм³, по басейну р. Довбока – від 5,13 до 14,1 мгО₂/дм³. Сполуки азоту були виявлені на всіх ГХС у рр. Кубанка і Довбока, що свідчить про їх постійне забруднення. Серед сполук азоту найбільші концентрації по всіх 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 басейнів 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 ґрунтових вод в басейні р.Кубанка становила 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 – змінювалася 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 становила 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 басейну 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 за течією і становила 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 становила 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 зростає 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 зростає 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.

Таким чином, при вивченні гідрохімічних показників штучних водойм балок Корсунцівська і Гільдендорфська в басейні Куяльницького лиману було встановлено, що водні об'єкти балок зазнають забруднення і простежуються просторові особливості зміни вмісту в них біогенних сполук. Найбільш забрудненими виявилися поверхневі води в балці Гільдендорфська (в районі с. Красносілка). В цьому районі біля ШВ в південній частині с. Красносілка виявлене величезне несанкціоноване звалище сміття і скид неочищених господарсько-побутових стічних вод від приватних будинків безпосередньо в балку.

5.6 Загальна гідрохімічна характеристика ставків пересипу між лиманом і морем

За результатами гідроекологічних досліджень (у тому числі гідрохімічних зйомок) ОДЕКУ в 2012 р. [25, 28, 29] штучних водойм пересипу (див. розділ 4, рис. 4.5) встановлено, що площа водної поверхні ставка 1 становила 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 майже пересохлими (станом на середину травня 2012 р.). Також встановлено, що мав місце перетік води впродовж періоду з квітня по вересень 2012 р. був 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, що пояснюється сучасними умовами формування водного режиму цих ставків. Такий водний режим ставків має вплив на їх гідрохімічний режим.

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 водойм [29]. 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 встановлена. Вміст розчиненого кисню був від 3,13 (ставок 2) до 6,55 мгО₂/дм³ (ставок 1), БСК₅ – від 1,35 до 0,13 мгО₂/дм³.

На узбережжі ставків розташовані несанкціоновані звалища сміття, на ділянках прибережних смуг акваторії водойм (особливо прилеглих до Об'їзної дороги м. Одеси) була виявлена нафтова плівка, а в деяких місцях дна водойм виявлені нафтопродукти (мазут).

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

Оцінка якості води та екологічного стану річок Кубанка, Довбока, балок Корсунцівська, Гільдендорфська та озер пересипу здійснювалась на основі даних натурних спостережень, здійснених ОДЕКУ в 2012 р. за «Методикою екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями» [30]. 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 повною (за всіма показниками) і орієнтовною (за не повним переліком показників, які передбачені в методиці).

За обсягом і переліком наявних даних по гідрохімічних показниках 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 основі значень блокових індексів якості води визначалася їх приналежність до певного класу і категорії якості води (за допомогою систем екологічної класифікації цієї методики). Розрахунок виконувався за середніми та екстремальними (найгіршими) значеннями показників.

За визначеними екологічними індексами (I_1 – індекс забруднення компонентами сольового складу, I_2 – індекс трофо-сапробіологічних

показників) обчислювались значення екологічного (інтегрального) індексу якості води I_e . Перелік показників, за якими здійснювалося оцінювання якості води за відповідними категоріями, наведений в табл. 5.12, а розрахункові блоки та екологічний індекси – в табл. 5.13.

Таблиця 5.12 – Показники екологічної оцінки якості води

Показники сольового складу	Трофо-сапробіологічні показники
Мінералізація, мг/дм ³	Прозорість, м
	pH
	Розчинений кисень, мгО ₂ /дм ³
Хлор, мг/дм ³	БСК ₅ , мгО ₂ /дм ³
	Азот амонійний, мгN/дм ³
	Азот нітритний, мгN/дм ³
Сульфат, мг/дм ³	Азот нітратний, мгN/дм ³
	Фосфор фосфатний, мгP/дм ³

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.

Води балок Гільдендорфська і Корсунцівська за критерієм мінералізації є солонуватими мезогалінними, за критеріями іонного складу характеризуються приналежністю до сульфатного класу, відрізняючись переважним 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. 5.13) показала, що за інтегральним (екологічним) індексом за середніми значеннями показників екологічний стан річок Довбока і Кубанка та балки Корсунцівська відповідають II класу (3 категорія), тобто за станом оцінюється як «добрий», за ступенем чистоти вони є «досить чисті», за трофністю – «мезоевтрофні», за сапробністю – «β'-мезосапробні».

Таблиця 5.13 – Результати екологічної оцінки якості води річок Довбока та Кубанка, балок Гільдендорфська та Корсунцівська, водойм пересипу (згідно [26]) за даними ОДЕКУ в 2012 р. [28, 29]

Показники	Блокові індекси		Інтегральний екологічний індекс					
	I ₁	I ₂	I _e	Клас (категорія)	Екологічна класифікація			
					за станом	за ступенем чистоти	трофність	сапробність
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 забруднені	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 забруднені	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 забруднені	Евтрофні	β''-мезо-сапробні
балка Гільдендорфська								
середні	6,00	5,13	5,56	III (5)	Посередні	Помірно забруднені	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 забруднені	Евполі-трофні	α'-мезо-сапробні
найгірші	6,67	4,50	5,58	III (5)	Посередні	Помірно забруднені	Евполі-трофні	α'-мезо-сапробні

Рівень забруднення речовинами трофо-сапробіологічного блоку (передусім, біогенними сполуками, погіршеним кисневим режимом, високим вмістом органічних речовин) в 2-4,4 раза 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 – «слабко забруднені» та «помірно забруднені», за трофністю – «евтрофні» та «евполітрофні», за сапробністю – « β' »- та « α' »-мезосапробні». 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 – «політрофні», 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 [30] 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, яка 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, ставок 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 свідченням протікання зворотного процесу трансформації азотних сполук в умовах значного біогенного навантаження.

5.8 Оцінка якості води річок Довбока та Кубанка, балок Гільдендорфська та Корсунцівська, водойм пересипу за гідрохімічними показниками

В цьому розділі представлені результати оцінки якості води річок і балок та штучних водойм в басейні Куяльницького лиману за методом Гідрохімічного інституту (ГХІ) [31], який розроблений і 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.

Для оцінки якості води поверхневих вод в басейні Куяльницького лиману за методом ГХІ були використані рибогосподарські нормативи ГДК, виходячи з сучасного та перспективного напряму господарського використання досліджуваних водних об'єктів і особливостей хімічного складу води в них.

Метод ГХІ для встановлення рівня якості водних об'єктів передбачає проведення трьохступеневої класифікації за ознаками повторюваності випадків забруднення, кратності перевищення нормативів, а також з урахуванням характеру забрудненості води окремими гідрохімічними показниками. В результаті якості води оцінюється за різними класами забрудненості, що відповідним чином впливає на придатність води для певних цілей (табл. 5.14).

Таблиця 5.14 – Вплив забруднення на можливість використання води водотоків [31]

Стан води	Види водокористування					
	Господарсько-питне	Рекреація	Побутове	Рибне господарство	Промисловість	Зрошення
Слабко забруднена	Придатна з очисткою	Використовується	Придатна	Придатна для деяких видів риб	Придатна для всіх видів	Придатна
Забруднена	Не придатна	Не придатна	Не придатна	Не придатна	Ускладнене	Придатна з обмеженнями
Брудна	Не придатна	Взагалі не придатна	Не придатна	Не придатна	Можливе для спеціальних цілей після очистки	Ускладнене
Дуже брудна	Не придатна	Не використовується	Взагалі не можливе	Не можливе	Можливе в окремих випадках	Можливе в окремих випадках

В результаті застосування методики ГХІ за кожним гідрохімічним показником окремо і за їх сукупністю встановлюється рівень забруднення водного об'єкта і речовини ЛОЗ (лімітуючі ознаки забруднення), тобто гідрохімічні показники, які найбільше забруднюють воду, роблячи її непридатною для певного виду водокористування.

Для оцінки якості води були використані дані гідрохімічних досліджень в басейнах рр. Довбока, Кубанка, бб. Гільдендорфська, Корсунцівська, ставків пересипу, одержані в результаті гідрохімічних спостережень ОДЕКУ в 2012 р. [25, 28, 29] Розрахунок виконувався для 13 гідрохімічних показників згідно рибогосподарських нормативів (ГДК_{р-г}). Результати оцінки якості води за методом ГХІ наводяться в табл. 5.15.

Загальна характеристика якості води р. Довбока (табл. 5.15) продемонструвала переважання IV класу якості («Дуже брудна»), з найгіршою якістю води (розряд *a*) в середній ділянці річки (ставок в гирлі лівої притоки річки, вище с. Созонівка) до витоку (розряд *в*). Винятком є ставок у верхів'ях річки (в межах с. Павлінка), де вода за якістю належала до III класу та була «Брудною». Питомий комбінаторний індекс забруднення (ПКІЗ) змінювався від 2,9 до 7,1 балів. Найбільшим забруднювачем води був азот нітритний. Крім того, відзначено погіршення кисневого режиму.

Таблиця 5.15 – 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. [28, 29]

Річка, балка, ставок	Речовини ЛОЗ	КІЗ	ПКІЗ, бал	Клас якості (згідно табл. 5.14)
Гирло р. Довбока (в руслі нижче с. Новокубанка)	–	57	4,4	IV, <i>a</i> – «Дуже брудна»
Середня ділянка р. Довбока (ставок вище с. Созонівка)	O_2 , NO_2^-	92	7,1	IV, <i>в</i> – «Дуже брудна»
Верхів'я р. Довбока (ставок в межах с. Павлінка)	–	38	2,9	III – «Брудна»
Гирло р. Кубанка (нижче впадіння б. Дикарська)	–	72	5,5	IV, <i>a</i> – «Дуже брудна»
В руслі р. Кубанка (в створі моста нижче с. Кубанка)	NO_2^-	78	6,0	IV, <i>б</i> – «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, <i>в</i> – «Дуже брудна»
Нижній ставок на б. Гільдендорфська	NO_2^-	67	5,2	IV, <i>a</i> – «Дуже брудна»
Ставки 1 та 2 на пересипу між лиманом і морем	SO_4^{2-}	74	5,7	IV, <i>б</i> – «Дуже брудна»

Результати оцінки якості води в басейні р. Кубанка (табл. 5.15) свідчать про переважання в нижній частині річки (нижче с. Кубанка) IV-го класу якості («Дуже брудна», розряди *a*, *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. 5.15) свідчить про переважання IV класу якості води («Дуже брудна», розряди *a*, *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.

Стан води ставків пересипу (табл. 5.19) характеризується IV класом якості води («Дуже брудна», розряд б). Крім того, визначено, що ПКІЗ дорівнював 5,7 балів, а найбільшим забруднювачем води були сульфати.

Результати визначення класів 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 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 водозбірного басейну та інтенсивного випаровування з водної поверхні штучних водойм, надходження забруднених господарсько-побутових вод з приватного сектора, зі звалищ, забрудненого поверхневого стоку призводять до накопичення у водах надлишкових концентрацій головних іонів, біогенних речовин, до розвитку дефіциту (відсутності) розчиненого у воді кисню та, як наслідок, до значного біогенного навантаження, а отже й 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.

5.9 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. [28]. Оцінка виконувалась з використанням ДСанПіН 2.2.4-171-10 «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» [32], а також ДСТУ 4808:2007 «Джерела централізованого питного водопостачання. Гігієнічні та екологічні вимоги щодо якості води і правила вибирання» [33].

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

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 раза, за максимальними значеннями – в 3,2 раза; сульфати – в середньому перевищують норматив у 1,0 раз, за максимальними значеннями – в 2,4 раза; 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 рази, 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 перевищує встановлені межі; твердість – за середніми значеннями є перевищення в 1,2 рази; сульфати – перевищення 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 використання 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 [32] 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. 5.16. Етапи визначення за цією методикою є аналогічними до наведених в методиці [30].

У 2012 р. підземні (грунтові) води в колодязях басейну р. Довбока за середніми значеннями були (табл. 5.16): «відмінними» або дуже чистими – за органолептичними показниками (запах, присмак) та NO_3^- ; «добрими» або чистими вони – за загально-санітарними показниками (Cl^- , рН) та забарвленістю; «задовільними» або слабкозабрудненими – 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 рН; «задовільними» або слабкозабрудненими – за Cl^- ; «посередніми» або небажаної якості – за мінералізацією, SO_4^{2-} , Mg^{2+} , NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} та твердістю.

Таблиця 5.16 – Класи якості підземних вод у колодязях річок Довбока та Кубанка (згідно [32]) за даними ОДЕКУ в 2012 р. [28]

Групи показників якості води	Показники якості підземних вод у колодязях	Клас якості підземних вод в басейні			
		р. Довбока		р. Кубанка	
		середній	найгірший	середній	найгірший
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	–

З табл. 5.16 видно, що в 2012 р. підземні (грунтові) води у колодязях басейна р. Кубанка за середніми значеннями були: «відмінними» або дуже чистими – за органолептичними показниками (запах, присмак), NO₃⁻, NH₄⁺ та PO₄³⁻; «добрими» або чистими вони – за загально-санітарними показниками (NO₂⁻), «задовільними» або слабкозабрудненими – за SO₄²⁻, pH; «посередніми» або небажаної якості – за мінералізацією, Cl⁻, Mg²⁺ та твердістю. За максимальними значеннями підземні (грунтові) води були: «відмінними» або дуже чистими – за запахом; «добрими» або чистими – за присмаком; «задовільними» або слабкозабрудненими – 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, засвідчило, що за середніми значеннями показників якості (табл. 5.17) 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 наближенням до класу «відмінної», дуже чистої. За максимальними значеннями: вода в колодязях р. Довбока належала до 3 класу підкласу 3(2), тобто була «Задовільна», слабкозабруднена вода з ухилом до класу «доброї», чистої, вода р. Кубанка належала до 2 класу підкласу 2(3) – «Добра», чиста вода з наближенням до класу «задовільної», слабо забрудненої прийнятної якості.

Таблиця 5.17 – Оцінка придатності підземних вод річок Довбока і Кубанка для питного водопостачання (згідно [33]) за даними ОДЕКУ в 2012 р. [28]

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 наближенням до класу «доброї», чистої води бажаної якості	«Добра», чиста вода прийнятної якості	«Відмінна», дуже чиста вода	«Відмінна», дуже чиста вода з наближенням 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 наближенням 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 наближенням до класу «доброї», чистої	«Добра», чиста вода з наближенням до класу «відмінної», дуже чистої	«Добра», чиста вода з наближенням до класу «задовільної», слабо-забрудненої прийнятної якості

Згідно з [33], такі води при їх використанні для централізованого водопостачання потребують додаткової очистки (кондиціонування за органолептичними показниками та показниками хімічного складу води).

РОЗДІЛ 6

ВОДНІ РЕСУРСИ БАСЕЙНУ КУЯЛЬНИЦЬКОГО ЛИМАНУ В УМОВАХ ЗМІН КЛІМАТУ

Водними ресурсами називаються запаси поверхневих та підземних вод певної території [1]. За В.М. Тимченком [2], приплив підземних вод до Куяльницького лиману 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, що акумульовані 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 зумовлює часову неоднорідність рядів спостережень. Головним чинником водогосподарської діяльності у басейні є вплив штучних водойм, який проявляється у вигляді акумуляції стоку річок численними ставками й малими водосховищами та подальшому його витрачання на випаровування з водної поверхні та споживання води населенням.

Розрахунки водних ресурсів річок басейну Куяльницького лиману доцільно виконувати у два етапи. На першому етапі необхідне їх визначення для природних (непорушених водогосподарською діяльністю) умов формування стоку, на другому – для побутових (трансформованих діяльністю людини) умов. У останні десятиріччя на стан водних ресурсів України впливають зміни глобального клімату Землі [3,4]. За даними В.В. Гребеня [5], “переламним” став 1989 рік, починаючи з якого зміни температурного режиму на території України набули значущості. 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 (сумою опадів, температурою повітря, дефіцитом вологи у повітрі та інше). У метеорологічному відношенні територія Північно-Західного Причорномор’я вивчена набагато краще, ніж у гідрологічному. Нестача необхідної гідрологічної інформації може компенсуватись математичним моделюванням характеристик стоку на основі використання метеорологічних даних та матеріалів про масштаби водоспоживання. В Одеському державному екологічному університеті (ОДЕКУ) під керівництвом проф. Є.Д. Гопченка та проф. Н.С. Лободи [6] була розроблена математична 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 визначаються характеристики природного та побутового стоку у різних кліматичних умовах. Оскільки побудована в ОДЕКУ математична модель формування стоку базується на даних про клімат, вона одержала назву модель “клімат-стік”. Вона вміщує у собі два блоки. Перший блок слугує для оцінки природного річного стоку на основі метеорологічних даних, другий – для оцінки побутового (перетвореного водогосподарською діяльністю) стоку. Теоретичною базою першого блоку моделі є рівняння водно-теплогового балансу водозбору, другого – рівняння водогосподарського балансу, 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 зазнає зовнішніх (кліматичних) та внутрішніх (водогосподарських) впливів 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 [7,8,9,10] й увійшла складовою частиною до нормативних документів з розрахунків характеристик річного стоку за відсутності та недостатності даних спостережень України [11] та республіки Молдова [12].

6.1 Оцінка водних ресурсів за даними спостережень

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 постачає більшу частину прісної води з усього водозбору. На цій річці гідрометслужбою були організовані досить тривалі гідрологічні спостереження, які проводились у створі с.Северинівка у періоди 1986-2011рр. Відстань створу від гирла становить 5 км, площа водозбору дорівнює 1840 км², відмітка нуля графіка поста дорівнює мінус 4,15 м БС [13].

Згідно із просторово-часовими узагальненнями побутового стоку, виконаними А.І. Шерешевським та П.Ф. Вишневським [14], 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 про стік р. В. Куяльник в створі Северинівка визначено, що найбільший річний стік спостерігався у 2003 р. (34 мм), найменший – у 1994-2000 рр., 2004 р., 2007-2009 рр. і становив 0 мм [15]. Середня багаторічна величина річного стоку р. В. Куяльник за період 1986-2011 рр. становить 2,4 мм, коефіцієнт варіації C_V дорівнює 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 зумовлено високою варіацією річного стоку та коротким періодом спостережень (табл. 6.1). З 26 років спостережень річний стік дорівнював нулю у 11 випадках.

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. 6.1). 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.

Таблиця 6.1 – 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

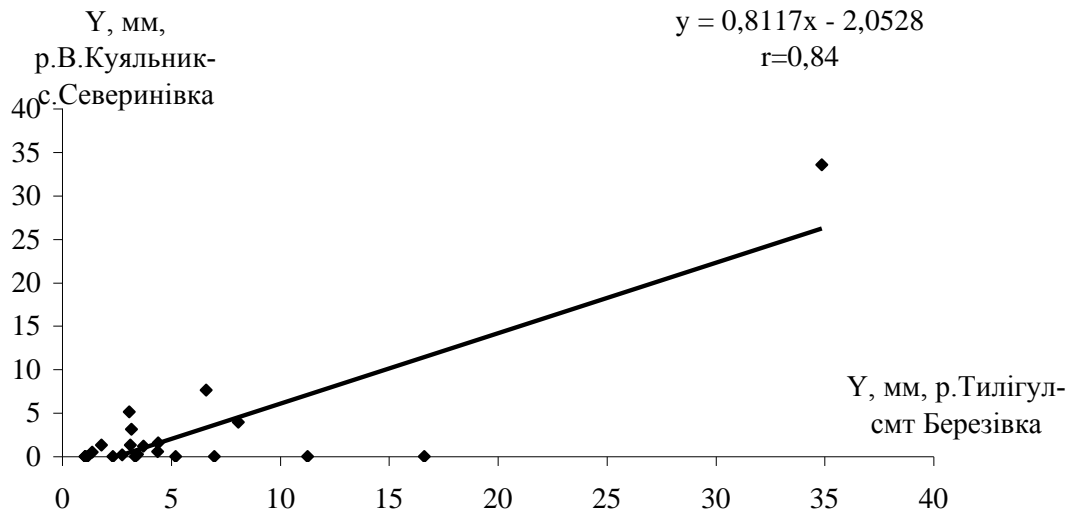


Рис. 6.1 – Зв'язок річних шарів стоку Y р.Тилігул – смт Березівка, р.В.Куяльник – с.Северинівка (1986-2011 рр.)

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 дорівнює нулю. Річка пересихала у всі роки спостережень, окрім 1986-1988 рр., 1990-1991 рр. В середньому у період після 1989 р. річка пересихає 195 днів на рік. У 1986-1987 рр., 2010-2011 рр. відбувалося перемерзання річки.

Формування високих максимальних витрат води можливе у роки із стійкими від'ємними температурами повітря, коли створюються умови для накопичення снігового покриву. Так, наприклад, у 2003 році від'ємні температури повітря спостерігалися протягом усього зимового сезону. Найбільш холодними були грудень (середня місячна температура становила мінус $7,9 \text{ }^\circ\text{C}$) та лютий (мінус $7,4 \text{ }^\circ\text{C}$). Найнижча середньодобова температура повітря відмічена у січні (мінус $19,5 \text{ }^\circ\text{C}$). Перехід температури повітря до додатних значень відбувся 25.03.2003 р. Найбільша витрата води дорівнювала $35,9 \text{ м}^3/\text{с}$ (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 [16]. 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 за даними характерних років показало (табл. 6.2), що більшу частину року річка пересихає. У багатоводні роки річка пересихає з червня – серпня до грудня або січня включно.

Таблиця 6.2 – Внутрішньорічний розподіл стоку по місяцях для характерних за водністю 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

У середні за водністю роки пересихання спостерігається і у зимові місяці. У маловодні роки річка пересихає протягом року.

Оскільки річка пересихає протягом основної частини року, то можна зробити висновок, що її підземне живлення вкрай незначне. Це припущення підтверджується роботою В.Г. Сорокіна [17], 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 (рис. 6.2). У роботах з визначення характеристик максимального стоку весняного водопілля річок Причорноморської низовини, виконаних під керівництвом Є.Д. Гопченка [18,19], 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 спричинити катастрофічні паводки, які будуть мати місце, якщо кількість опадів перевищить 160 мм [20].

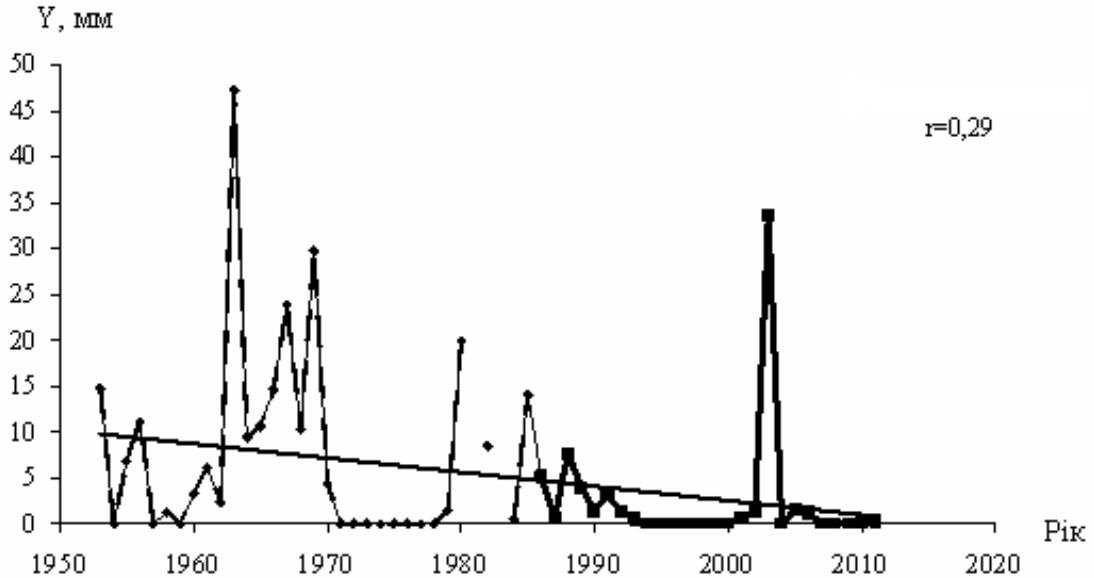


Рис. 6.2 – Хронологічний хід річних шарів стоку Y у створі р.В.Куяльник – с.Северинівка за період 1953-2011 рр. (..... 1953-1985 рр. (відновлені дані), — 1986-2011 рр. (спостережені дані))

6.2 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 [21]

$$\bar{Y} = \bar{X} - \bar{E}, \quad (6.1)$$

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 розглядаються як кліматичні чинники формування річного стоку, які розподіляються у просторі згідно із закономірностями широтної або вертикальної зональності. Оскільки норма річного стоку залежить від кліматичних чинників, то її просторовий розподіл також визначається широтою місцевості або висотою, якщо йдеться про гірські райони.

Величина випаровування з поверхні суші \bar{E} залежить від зволоження підстильної поверхні та теплоенергетичних ресурсів клімату [22]. Кількісна оцінка зволоження підстильної поверхні за багаторічний період надається у вигляді середньобагаторічної суми опадів \bar{X} . Теплоенергетичні ресурси клімату визначаються надходженням до земної поверхні сонячної радіації, яка зумовлює термічний режим приземного

шару повітря. Досить часто температури повітря використовуються як основний чинник при розрахунках теплоенергетичних ресурсів та випаровування [23]. 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 загальному випадку температури повітря та опади розглядаються як головні кліматичні чинники формування стоку.

Зміни глобального клімату, а разом із ним й регіонального клімату, які спостерігаються впродовж останніх десятиріч, впливають на умови формування стоку річок України, а, отже, зумовлюють зміни її поверхневих водних ресурсів [24]. За даними В.В. Гребеня [25], середня річна температура повітря на метеостанції Роздільна зросла на $0,7^{\circ}\text{C}$ 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 виконані для метеорологічних станцій, розташованих на водозборі Куяльницького лиману або прилеглих до нього територій: Роздільної, Любашівки, Одеси, Затишся та Сербки. Розглядалися середні температури повітря й кількість опадів за рік, середні температури повітря та кількість опадів за 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 Затишся – 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.; і надалі за період 1989-2012 рр.

На усіх розглянутих метеорологічних станціях установлене зростання температури повітря (табл. 6.3), яке більш виражене для холодного періоду. Інтенсивність зростання середніх температур повітря за рік та теплий період після 1988 р. посилилася (рис. 6.3, 6.4). Лінія регресії, яка апроксимує хронологічний хід середніх температур холодного періоду, після 1989 р. перейшла з області від'ємних у область додатних значень (рис. 6.5). Наприклад, у 1951-1988 рр. середня температура за холодний період на метеостанції Затишся повністю знаходилася у межах від'ємних значень і змінювалася від $-0,2^{\circ}\text{C}$ до $-1,4^{\circ}\text{C}$. Починаючи з 1989 р., її значення варіюють в інтервалі від $-0,2^{\circ}\text{C}$ до $0,8^{\circ}\text{C}$.

На відміну від температур повітря суттєвих змін опадів у минулі два десятиріччя не відбулося (табл. 6.4). Суми опадів теплового періоду збільшилися на усіх розглянутих станціях, а у холодний період, навпаки, дещо зменшилися, за винятком метеорологічної станції Одеса.

Таблиця 6.3 – 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

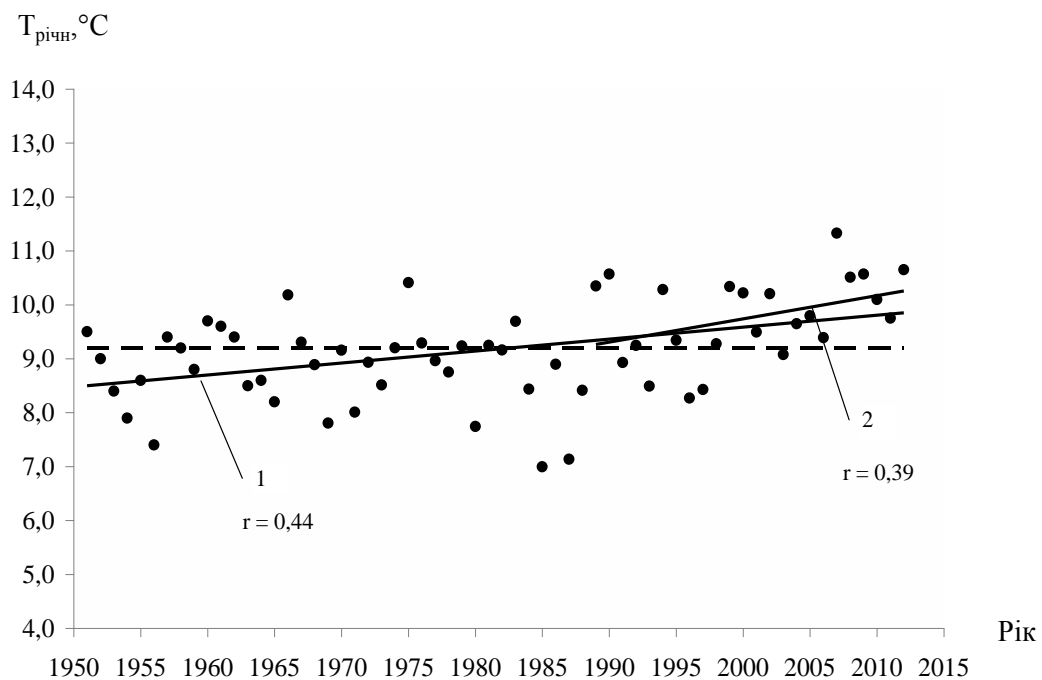


Рис. 6.3 – Хронологічний хід річної температури повітря за даними метеорологічної станції Затишшя (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренда, 1 – лінія тренда за 1951-2012 рр., 2 – лінія тренда за період 1989-2012 рр.)

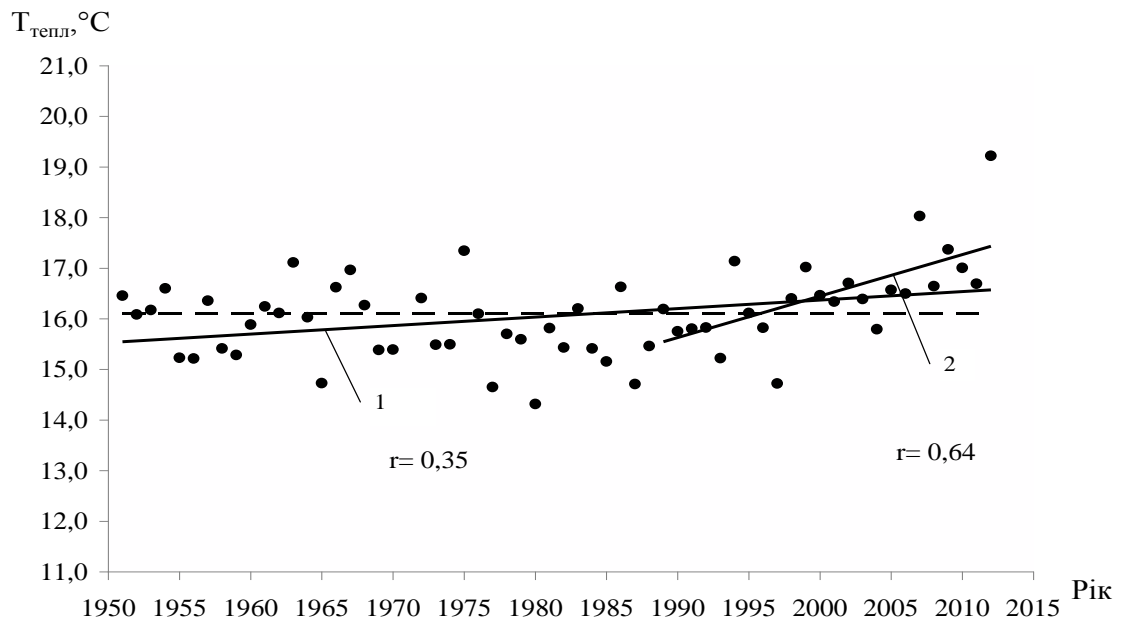


Рис. 6.4 – Хронологічний хід середніх температур повітря теплого періоду (IV-X) за даними метеорологічної станції Затишшя (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренда; 1 – лінія тренда за період 1951-2012 рр., 2 – лінія тренда за період 1989-2012 рр.)

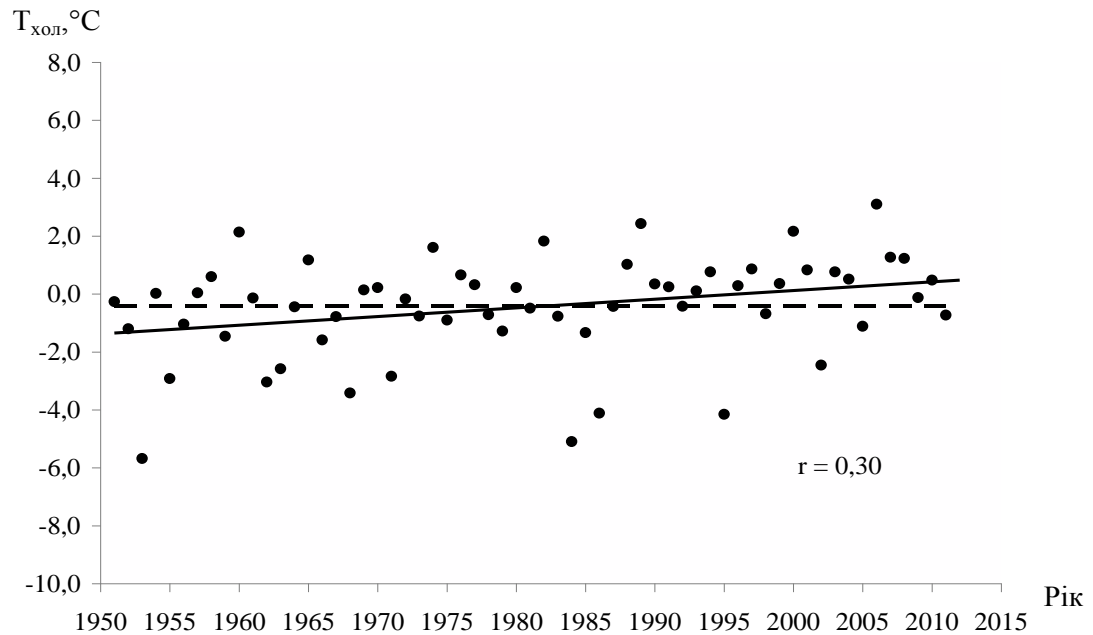


Рис. 6.5 – Хронологічний хід температури повітря холодного періоду (XI-III) за даними метеорологічної станції Затишшя, 1951-2012 рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренда)

Таблиця 6.4 – Зміна сум опадів у абсолютних величинах (ΔX , мм) при порівнянні періодів до та після 1989 р.

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

Перевірка на статистичну значущість коефіцієнтів кореляції для рівнянь регресії, які описують зміни опадів у часі (рис. 6.6-6.8), показала, що більшість з них є статистично незначущими [26]. Таким чином, за минулі десятиріччя, починаючи з 1989 р., на водозборі Куяльницького лиману відбувається зростання температур повітря (на фоні практично незмінних опадів).

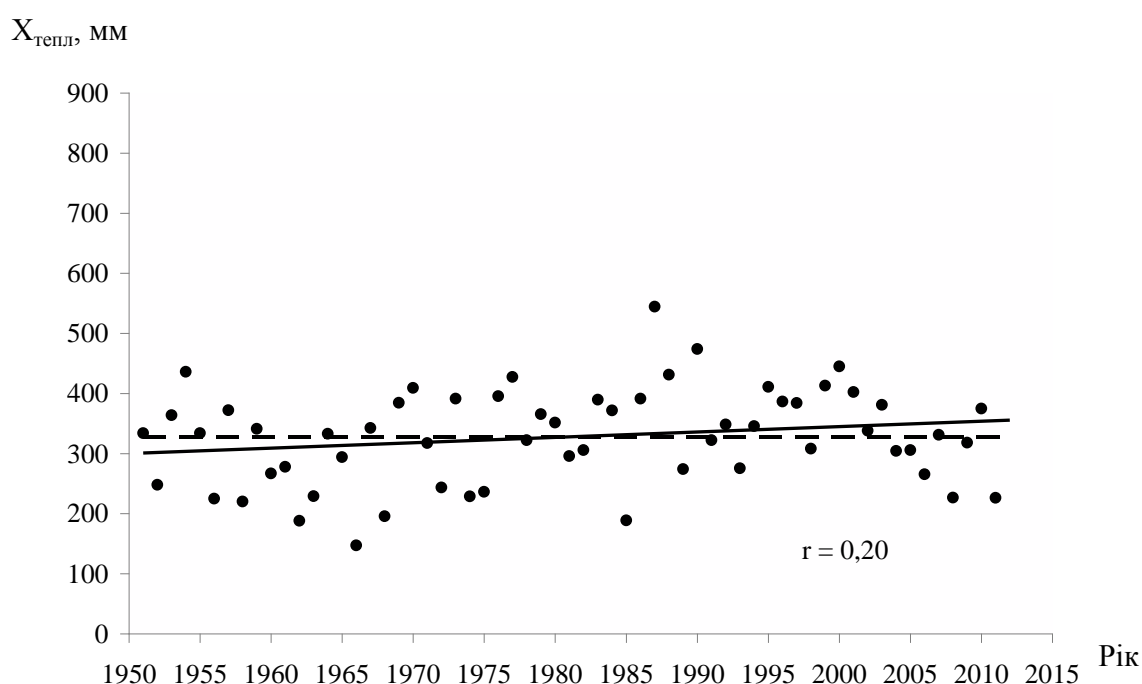


Рис. 6.6 – Хронологічний хід сум опадів теплого періоду (IV-X) за даними метеорологічної станції Затишся, 1951-2012 рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренда)

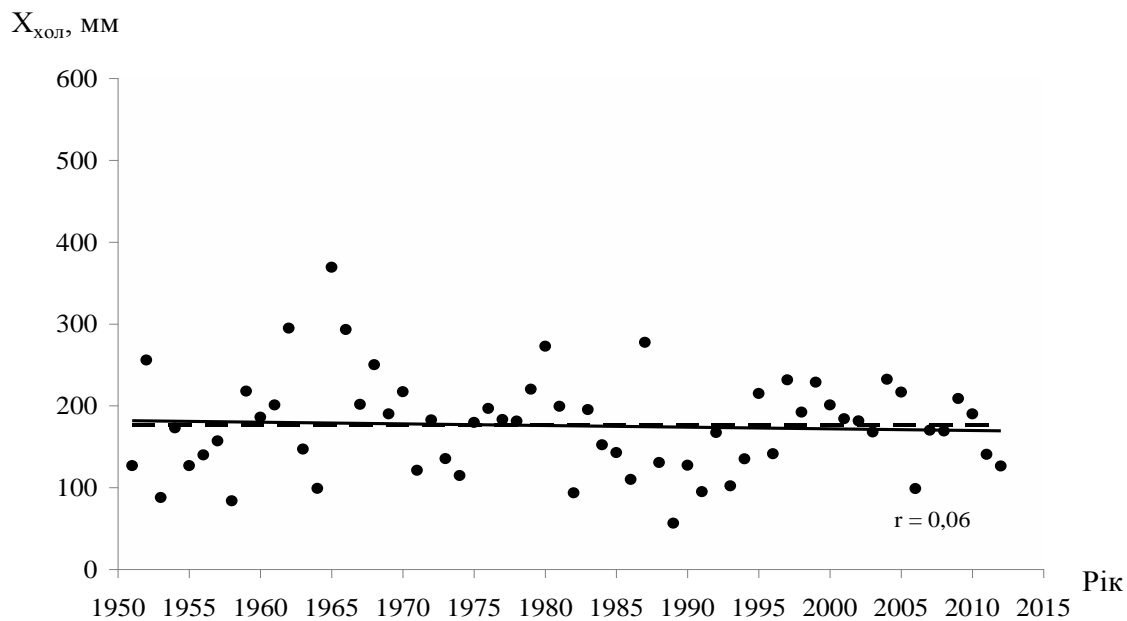


Рис. 6.7 – Хронологічний хід сум опадів холодного періоду (XI- III) за даними метеорологічної станції Затишшя, 1951-2012 рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренда)

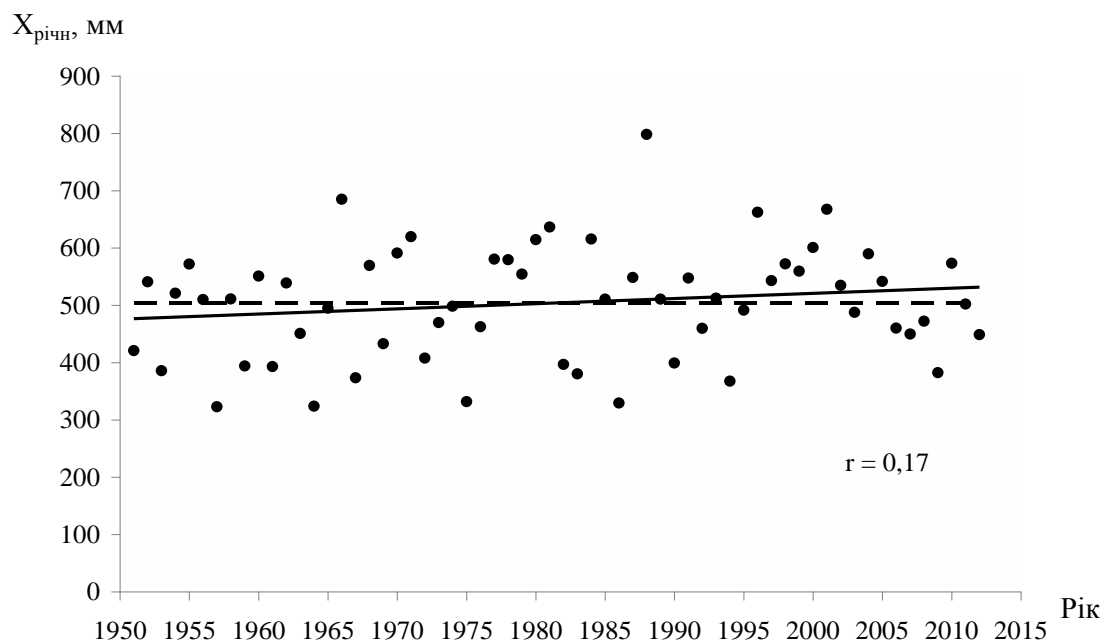


Рис. 6.8 – Хронологічний хід річних сум опадів за даними метеорологічної станції Затишшя, 1951-2012 рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренда)

Проведений аналіз змін кліматичних чинників на водозборі Куяльницького лиману вказує на несприятливі умови для формування стоку річок, оскільки зростання температур повітря теплого періоду року обумовлює, насамперед, зростання втрат на випаровування з поверхні суші та з водного дзеркала лиману. В холодний період зростання температур повітря приводить до збільшення кількості та тривалості відлиг, незначної глибини промерзання ґрунту, що зменшує максимальні витрати води весняного водопілля та збільшує втрати поверхневого талого стоку на інфільтрацію. Зменшення суми опадів холодного періоду сприяє зменшенню об'єму стоку в період весняного водопілля навіть при сприятливих для його формування температурах. Зростання опадів теплого періоду несуттєво впливає на умови формування стоку внаслідок інтенсивного зростання температур повітря. При високих температурах повітря й глибокому заляганні ґрунтових вод опади теплого періоду витрачаються, головним чином, на випаровування.

Хід різницевих інтегральних кривих середніх річних температур повітря, сум опадів, річного стоку (рис. 6.9) показує, що з 1989 р. коливання температур повітря знаходяться у додатній фазі; коливання опадів – у від'ємній (з 2005 р.). 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. 6.9).

Потепління в зоні степу супроводжується посухами. Посуха є явищем, протягом 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 [27]. 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 можна розрахувати для будь-якого пункту за допомогою тривалого ряду спостережень за опадами і ґрунтується на понятті стандартизованих опадів [28]. Під стандартизованими опадами розуміють відхилення їх величини для певного періоду часу від середньої багаторічної величини, поділене на середньоквадратичне відхилення, тобто використовуються нормовані величини.

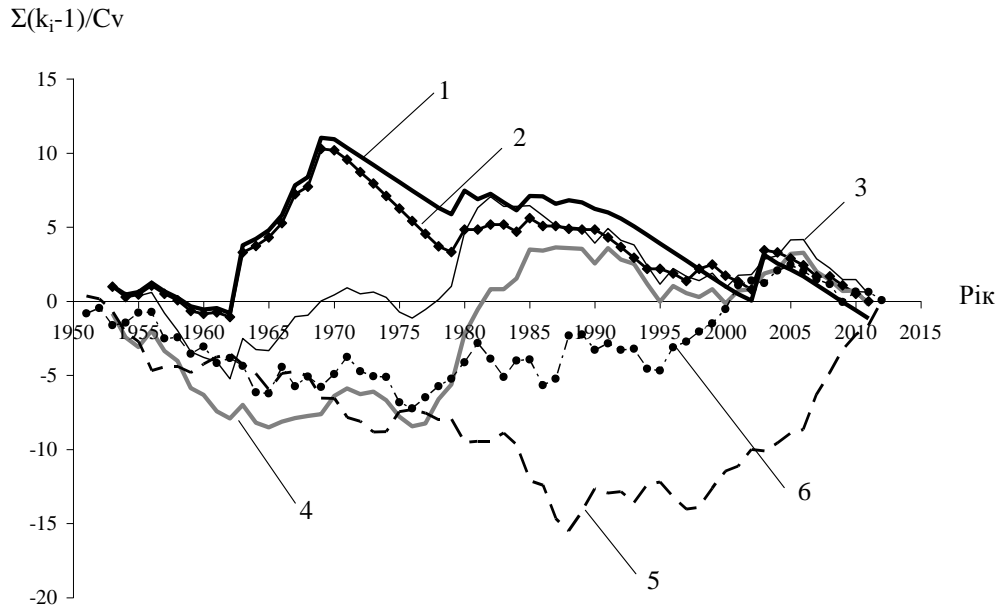


Рис. 6.9 – Різницеви інтегральні криві гідрометеорологічних характеристик межиріччя Дністер-Південний Буг (1 – річний стік р. В.Куяльник - с. Северинівна, з 1953 р. до 1985 р. відновлений на основі кореляційного зв'язку із стоком р. Тилігул; 2 – річний стік р. Тилігул – смт Березівка; 3 – річний стік 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)

Далі цей індекс було модифіковано залученням поняття про потенціальне сумарне випаровування PE [29], після чого розглядуваний індекс дістав назву стандартизований індекс опадів та сумарного випаровування (СІОСВ) або (SPEI). Установлена класифікація посух в залежності від значення, яко набула величина SPEI (табл. 6.5).

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. 6.6. Розрахунок індексів SPEI проводився за допомогою спеціального комп'ютерного забезпечення [30]. У вхідному файлі містилася інформація про середньомісячні температури повітря, суми опадів та координати метеостанцій [31].

Аналіз динаміки посух у часі виконувався за інтенсивністю посух та їх тривалістю [32]. 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.

Таблиця 6.5 – Класифікація значень SPEI [27]

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

Установлено, що після 1989 р. на досліджуваній території відбувається зменшення частоти появи інтенсивних посух та зростає частота появи слабких, помірних та екстремальних посух (табл. 6.6).

Таблиця 6.6 – 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
Затишшя	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. 6.7). 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%.

Таблиця 6.7 – Тривалість посух різних категорій (за даними метеостанцій Північно-Західного Причорномор'я), у місяцях

Метеостанція	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
Затишся	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

Оцінка внеску тривалості посух кожної категорії у загальну їх тривалість (табл. 6.8) також виявила зростання частки слабких, помірних та екстремальних посух.

З хронологічного ходу індексу SPEI (рис. 6.10, 6.11) видно, що метеорологічні посухи переривалися помірно вологими періодами та періодами близькими до нормального зволоження, проте, саме на початку XXI сторіччя відбуваються “екстремальні посухи”. На метеостанції Любашівка найбільш тривала посуха спостерігалася з липня 2005 р. по червень 2008 р., а з травня 2007 р. по квітень 2008 р. набула категорії «екстремальна посуха» із $SPEI \leq -2,00$ (рис. 6.10). Формуванню цієї метеорологічної посухи передувало найбільш тривале бездощів'я (з 06.04.2007 р. по 22.06.2007 р. - 78 діб), визначене за період з 1989 р. по 2011 р. 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.6.11). 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 [33].

Таблиця 6.8 – Внесок посухи кожної категорії у загальну їх тривалість, %

Метеостанція	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

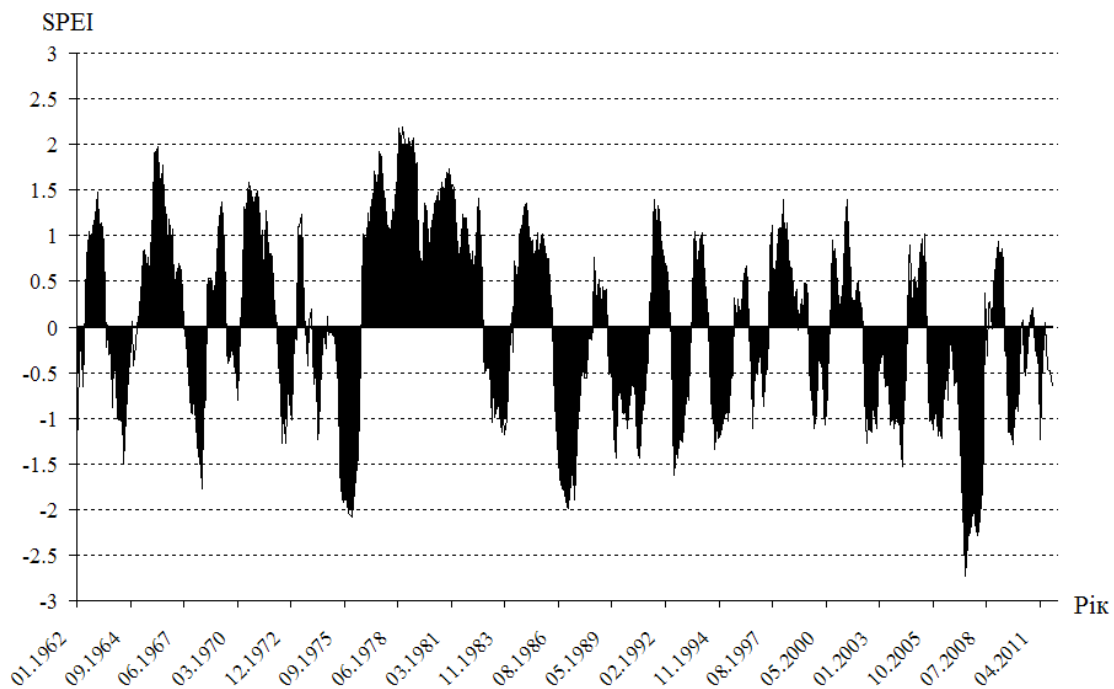


Рис. 6.10 – Хронологічний хід індексів посушливості SPEI, метеостанція Любашівка, 1962-2011 рр.

Аналіз тривалості бездошових періодів до та після 1989 року показав, що у останні десятиріччя тривалість бездошових періодів зростає (табл. 6.9). Зменшення водності річок або повне припинення припливу прісних вод до лиманів спричиняє їх обміління, що призводить до певних екологічних, соціальних та економічних проблем [34,35].

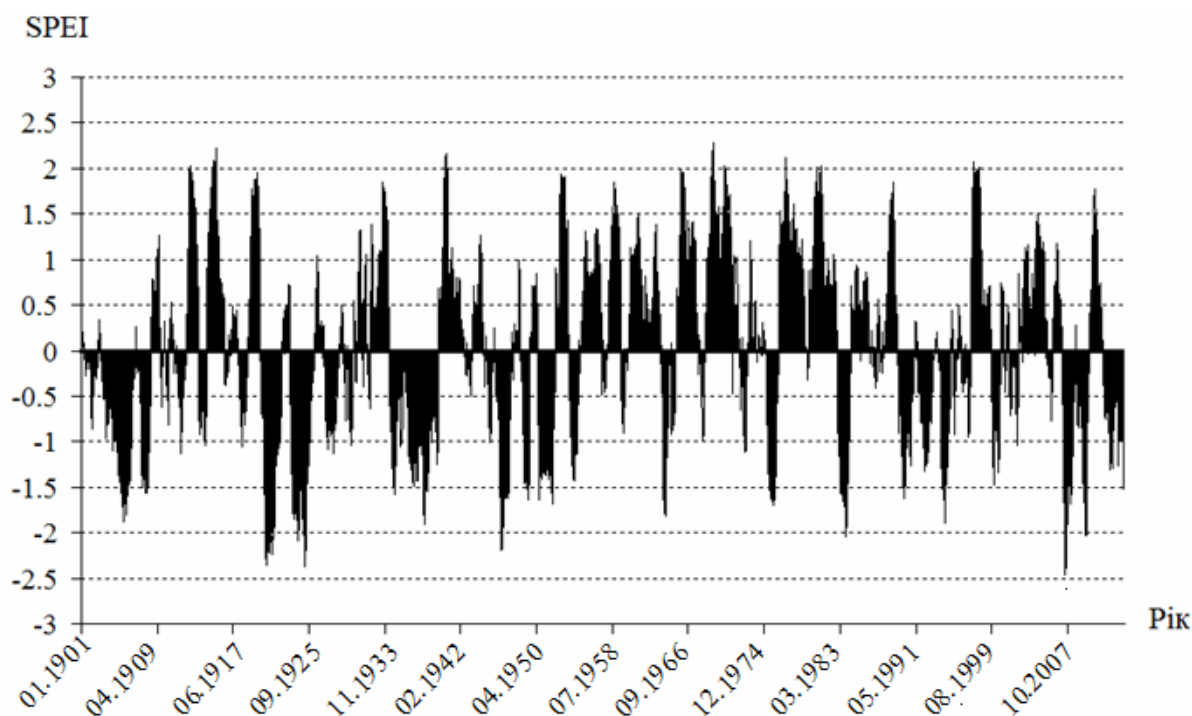


Рис. 6.11 – Хронологічний хід індексів посушливості SPEI, метеостанція Одеса, 1901-2013 рр.

Таблиця 6.9 – Найбільша тривалість (днів) бездощових періодів різної забезпеченості на метеостанціях Північно-Західного Причорномор'я

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

6.3 Теоретичні основи визначення природних водних ресурсів за моделлю «клімат–стік»

При відсутності даних гідрометричних спостережень або їх трансформації водогосподарською діяльністю доцільно використовувати просторово-часові узагальнення у вигляді карт ізоліній або порайонних залежностей головних характеристик стоку від стокоформуєчих чинників. На території України практично не залишилось річок, стік яких не був би перетворений антропогенним впливом. Особливо проблематичним з точки зору оцінки характеристик стоку за даними спостережень є південь України, для території якого ізолінії характеристик стоку проводилися пунктиром [36,37,38]. 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” [39].

Теоретичним базисом моделі “клімат–стік” при розрахунках природного стоку є рівняння водно-теплового балансу в модифікації, запропонованій В.С. Мезенцевим [40]. 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 вигляді

$$H = E + Y, \quad (6.2)$$

де H - характеристика зволоження території.

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

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

$$R^+ + P^+ + B_1 - B_2 = LE + P^- + I_H - LC, \quad (6.3)$$

де R^+ - приходна частина радіаційного балансу; P^+ - додатна складова турбулентного теплообміну або тепло, що надходить 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 (від'ємна частина турбулентного теплообміну); I_H - довгохвильове випромінювання земної поверхні у нічні часи доби; LC - витрата тепла на конденсацію.

Ліва (приходна) частина рівності (6.3) розглядається як граничні ресурси енергії, що забезпечують процес випаровування у визначених кліматичних умовах й називаються “теплоенергетичними ресурсами клімату”

$$LE_m = R^+ + P^+ + (B_1 - B_2) , \quad (6.4)$$

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

$$E_m = \frac{R^+ + P^+ + (B_1 - B_2)}{L} . \quad (6.5)$$

Таким чином, теплоенергетичний еквівалент E_m є величиною, яка за своїм фізичним змістом наближена 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 тім же комплексі метеорологічних умов, що і над сушею” (Н.А.Багров); ”випар з поверхні полів, вкритих рослинністю, коли вологість ґрунту наближена до найменшої польової вологості” (А.Р. Константинов). На відміну від інших авторів, В.С. Мезенцеву вдалося надати однозначний фізичний зміст поняттю “випаровуваність” [41].

Введення характеристики теплоенергетичних ресурсів у рівняння водного балансу (6.2) досягається діленням лівої і правої частин цього рівняння на величину E_m

$$\frac{H}{E_m} = \frac{E}{E_m} + \frac{Y}{E_m} . \quad (6.6)$$

Складові рівняння (6.6) H, E, Y після ділення позначаються як $\beta_H, \beta_E, \beta_Y$, відповідно. Отже вираз (6.6) можна записати у вигляді

$$\beta_H = \beta_E + \beta_Y . \quad (6.7)$$

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

Граничні умови складових рівняння (6.7) є такими

$$0 \leq \beta_E \leq 1 \text{ при } 0 \leq \beta_H \leq \infty \text{ та } 0 \leq \beta_Y \leq \beta_H \leq \infty . \quad (6.8)$$

Після диференціювання рівняння (6.7) за величиною співвідношення ресурсів вологи і тепла β_H , В.С. Мезенцев одержав рівняння такого виду

$$\frac{\partial \beta_E}{\partial \beta_H} + \frac{\partial \beta_Y}{\partial \beta_H} = 1. \quad (6.9)$$

Наближений розв'язок виразу (6.9) наданий В.С. Мезенцевим у такий спосіб:

$$\beta_E = (1 + \beta_H^{-n})^{\frac{1}{n}}, \quad (6.10)$$

де n - параметр, що інтегрує вплив фізико-географічних умов формування стоку. З урахуванням позначень виразу (6.6), прийдемо до рівняння вигляду

$$E = E_m \left[1 + \left(\frac{H}{E_m} \right)^{-n} \right]^{\frac{1}{n}}. \quad (6.11)$$

Відповідно до рівняння водного балансу (6.2) набуде вигляду

$$H = Y + E_m \left[1 + \left(\frac{H}{E_m} \right)^{-n} \right]^{\frac{1}{n}}. \quad (6.12)$$

Рівняння водного балансу (6.12) містить складову, яка визначається через складові теплового балансу земної поверхні і позначається як E_m , у зв'язку з чим вираз (6.12) є рівнянням водно-теплового балансу.

Балансове співвідношення (6.12), виражене відносно величини стоку Y , записується у такий спосіб

$$Y = H - E_m \left[1 + \left(\frac{H}{E_m} \right)^{-n} \right]^{\frac{1}{n}}. \quad (6.13)$$

З урахуванням, що $H = X + w_1 - w_2$, визначення шару стоку Y за розрахунковий інтервал часу набуде вигляду

$$Y = X + w_1 - w_2 - E_m \left[1 + \left(\frac{X + w_1 - w_2}{E_m} \right)^{-n} \right]^{\frac{1}{n}}. \quad (6.14)$$

Різниця $(w_1 - w_2)$, яка представляє собою зміну вологовмісту розрахункового шару ґрунту, набирає істотних додатних та від'ємних значень для внутрішньорічних інтервалів часу. Для багаторічного періоду, коли виконується умова

$$w_1 - w_2 = 0, \quad (6.15)$$

рівняння водно-теплового балансу має вигляд

$$\bar{Y} = \bar{X} - \bar{E}_m \left[1 + \left(\frac{\bar{X}}{\bar{E}_m} \right)^{-n} \right]^{\frac{1}{n}}, \quad (6.16)$$

де $\bar{Y}, \bar{X}, \bar{E}_m$ - багаторічні величини (норми) річного стоку, опадів та теплоенергетичного еквівалента, відповідно [43].

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 (6.5), 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 вважати

$$E_m = \frac{R^+ + P^+}{L}. \quad (6.17)$$

Через невелику кількість актинометричних станцій, дані яких мають використовуватися для розрахунків за формулою (6.17), для території України Є.Д. Гопченком та Н.С. Лободою отримана залежність середніх

багаторічних величин максимально-можливого випаровування від температур повітря [39]

$$\bar{E}_m = 13,3 \sum_V^{IX} \bar{T}_M - 307, r = 0,94; \quad (6.18)$$

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 (з травня по вересень, включно); r – коефіцієнт кореляції.

Норма річного стоку \bar{Y} , розрахована за (6.16), визначається кліматичними чинниками – нормою річних опадів \bar{X} й нормою максимально-можливого випаровування \bar{E}_m , які підлягають географічній зональності та подаються у вигляді карт ізоліній. Величини стоку, розраховані за метеорологічними даними з використанням рівнянь (6.14) або (6.16), отримали назву “кліматичного”. Норма кліматичного стоку, визначена за рівнянням (6.16), у подальшому позначена як \bar{Y}_K .

Карти ізоліній середніх багаторічних величин (норм) річних опадів, максимально-можливого випаровування та розрахованого за (6.16) 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 віднесені до точок, які відповідають географічному положенню кожної з цих метеорологічних станцій. При визначенні норми річного кліматичного стоку з виділених водозборів за побудованою картою ізоліній шукана величина \bar{Y}_K має визначатися як середня зважена по частинних площах водозборів, 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 [45] 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. Ці коефіцієнти описують вплив чинників підстильної поверхні у процесі формування річного стоку.

Територія Північно-Західного Причорномор'я розташована у зоні недостатнього зволоження і поділяється на області додатних виправлень до норми річного кліматичного стоку та області від'ємних виправлень. Межею між ними є межа 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 враховують нерівномірність випадіння дощів та розподілу снігового покриву по площі водозборів [44]

$$k_{ПЕР,1} = 2,4 - 0,7(\lg(F + 1) - 1) - \text{при } F < 1000 \text{ км}^2; \quad (6.19)$$

$$K_{ПЕР,1} = 1 - \text{при } F \geq 1000 \text{ км}^2, \quad (6.20)$$

де F – площа водозборів, км².

В області від'ємних поправок до норм річного кліматичного стоку велике значення у формуванні стоку річок мають втрати вологи 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:

$$K_{ПЕР,2} = 1 - 0,003(280 - H_{СЕР}), \text{ при } H_{СЕР} < 280 \text{ м}, \quad (6.21)$$

$$K_{ПЕР,2} = 1, \text{ при } H_{СЕР} \geq 280 \text{ м}, \quad (6.22)$$

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

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

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

$$\bar{Y}_{ПР} = K_{ПЕР} \bar{Y}_K. \quad (6.23)$$

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 [44]:

$$C_V = \frac{1,5}{\left(\frac{\bar{Y}_K}{10}\right)^{0,62}}, \quad (6.24)$$

де C_V – коефіцієнт варіації річного стоку.

Значення у чисельника, 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 відповідає кліматичним умовам узбережжя Чорного моря до початку суттєвого впливу змін глобального клімату.

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

$$C_S = 1,7C_V, \quad (6.25)$$

де C_S – коефіцієнт асиметрії.

Вважається, що закономірності, описані рівняннями (6.24) та (6.25), справедливі як для кліматичного, так і для природного стоку.

На основі методу сумісного аналізу складових просторової дисперсії статистичних параметрів стоку [45] було визначено, що коефіцієнт автокореляції природного річного стоку $r(1)$ для річок Північно-Західного Причорномор'я можна брати 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 [9]. 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 ізолій норм річного кліматичного стоку, наведені у роботах [43,44], відповідають умовам, які були характерними до початку суттєвих змін клімату України. 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.

6.4 Оцінка природних водних ресурсів за моделлю «клімат-стік»

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 [46,47,48] з використанням розрахункових формул (6.16-6.25). 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 [44]. У межах водозбору Куяльницького лиману норми річного кліматичного стоку у минулому сторіччі змінювалися від 30 мм до 15 мм (рис.6.12).

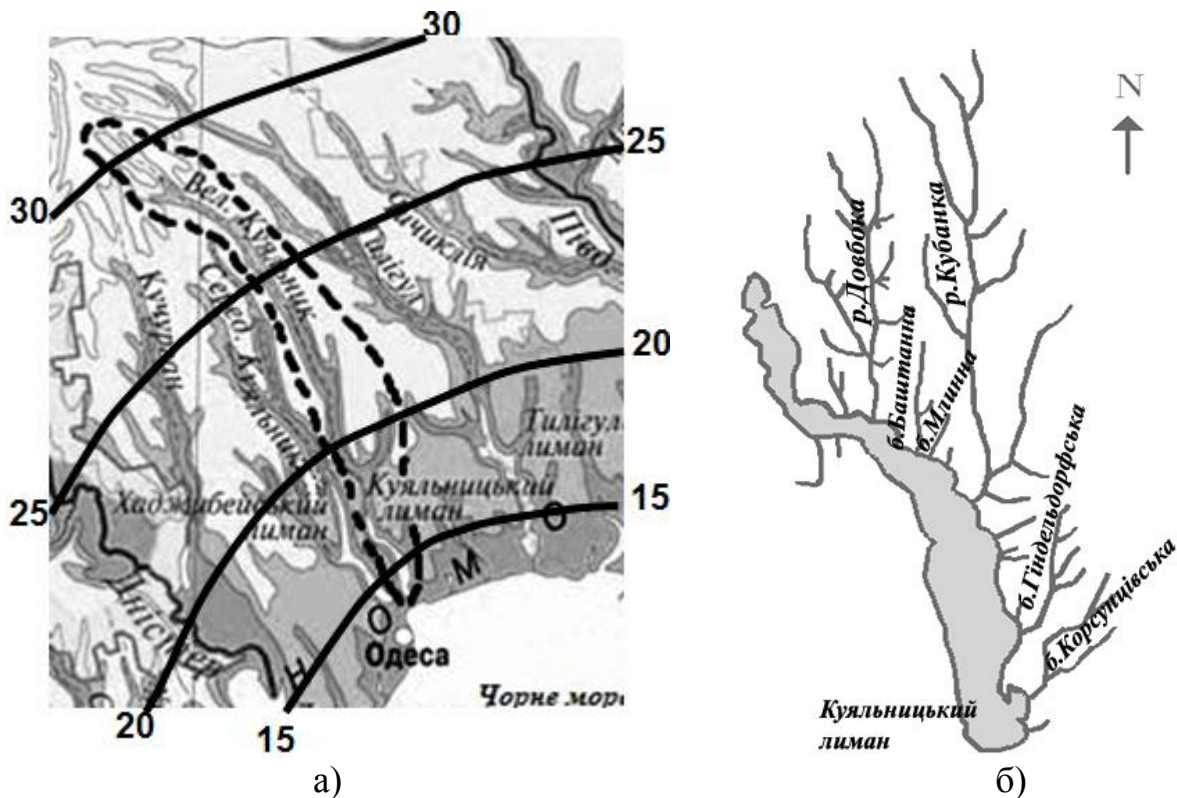


Рис. 6.12 – Карта-схема норм річного кліматичного стоку (мм) річок в басейні Куяльницького лиману до початку впливу глобального потепління (а), Куяльницький лиман з притоками (б)

Норма річного кліматичного стоку, визначена за картою ізоліній, для кожного із водозборів Куяльницького лиману змінюється від 23 мм до 15 мм (табл. 6.10). Усі розглянуті водозбори річок знаходяться в області від'ємних виправлень до норми кліматичного стоку, із середньою висотою водозборів менше 280м. Отже перехід від норм річного кліматичного стоку до природного виконувався на основі формули (6.21). Річний стік річок

характеризується значною багаторічною мінливістю та асиметрією (табл. 6.11). Коефіцієнт варіації C_V змінюється від 1,19 до 2,72. Коефіцієнт асиметрії C_S набирає значень 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.

Таблиця 6.10 – 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

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 більшою або рівною 95%). На річках Довбока та Кубанка відсутність річного стоку може з'являтися 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.6.12). У багатоводні роки (наприклад, 1-відсоткової забезпеченості) річний стік річки В.Куяльник становить 85% від загального надходження води до Куяльницького лиману, у роки 50-відсоткової забезпеченості – 98%, а у маловодні роки – 100%.

Таблиця 6.11 – Статистичні параметри природного річного стоку, визначені за моделлю «клімат-стік»

Річки та балки	Норма кліматичного стоку, \bar{Y}_K , мм	Середня висота водозбору, $H_{СЕР}$, 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		

Таблиця 6.12 – 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. Гіндельдорфська	1,77	1,21	0,64	0,30	0,05	0	0	0	0
б. Корсунцівська	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

6.5 Теоретичні основи визначення водних ресурсів в умовах водогосподарської діяльності за моделлю «клімат–стік»

Перетворення стоку в умовах антропогенного впливу описується таким еволюційним рівнянням [49]

$$Y(t) = Y(t_0) - \int L(\Lambda, Y)dt + \int \varepsilon dt, \quad (6.26)$$

де $Y(t)$ - стан водозбору в умовах антропогенного впливу; $Y(t_0)$ - вихідний стан водозбору в природних, тобто неперетворених 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 (6.26). Якщо $\varepsilon = 0$, то природний кліматичний фон формування водних ресурсів вважається 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 [50].

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

$$W_{ПБ} = W_{ПР} - \Delta W_{БП} + \Delta W_{СК}, \quad (6.27)$$

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 представлене у стохастичному вигляді, має такий вигляд

$$Y_{ПОб,Р} = Y_{ПР,Р} \pm \Delta Y_P(U_{P1}, f), \quad (6.28)$$

де $Y_{ПОб,Р}$ - 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 невідповідності 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 невідповідностей 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 розвитку водогосподарських заходів на водозборах (площі зрошування, осушення, водної поверхні штучних водойм) відносилися до числа невідповідностей 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 [51]. 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 зумовлені 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 [52].

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 [53]. 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 лежандрівською кореляцією, які приймалися за забезпеченості річного стоку [53].

Моделювання багаторічних рядів побутового стоку відбувалося за рівняннями водогосподарських балансів на основі імітаційних експериментів. У кожному випробуванні невідповідні 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 [55]. Апроксимація отриманих залежностей математичними функціями дозволила отримати узагальнені розрахункові рівняння, названі «функціями антропогенного впливу». Функції відгуку представляються через «коефіцієнти антропогенного впливу» [56]

$$k_A = \frac{A_f}{A_0}, \quad (6.29)$$

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 [44] 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 в міру 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 [43]. Сумісна дія m водогосподарських чинників може бути врахована за таким рівнянням

$$A_f = A_0[k_1 + k_2 + k_3 \dots + k_m - (m - 1)], \quad (6.30)$$

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 з розрахунків характеристик стоку України та Молдови [11,12].

Адекватність стохастичної моделі для визначення побутового річного стоку даним спостережень підтверджується задовільною узгодженістю характеристик побутового стоку, розрахованих за моделлю, із фактичними даними [8,9,10,43,44].

У наш час у басейні Куяльницького лиману зрошування та забезпечення водою населення здійснюється за рахунок підземних вод сарматських водоносних горизонтів, які розташовані глибоко і не беруть 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 [56].

За наявності на водозборі штучних водойм, з водної поверхні яких формуються втрати на додаткове випаровування, рівняння водогосподарського балансу набуває вигляду [57]

$$Y_{\text{ПОБ},P} = Y_{\text{ПР},P}(1 - f_B) - (E_B - X)_{100-P} f_B, \quad (6.31)$$

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

$$k'_{\bar{Y}} = e^{-\alpha_{\bar{Y}} f_B}; \quad (6.32)$$

$$k'_{C_V} = e^{\alpha_{C_V} f_B}; \quad (6.33)$$

$$k'_{C_S} = e^{\alpha_{C_S} f_B}, \quad (6.34)$$

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 A , 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

$$\alpha_{\bar{Y}} = 0,767 \bar{Y}_K^{(-0.49)}; \quad (6.35)$$

$$\alpha_{C_V} = 0,247 e^{(-0.0274 \bar{Y}_K)}; \quad (6.36)$$

$$\alpha_{C_S} = 0,179 e^{(-0.0246 \bar{Y}_K)}. \quad (6.37)$$

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

$$\frac{\bar{W}_{\text{ПР}} - \bar{W}_3}{\bar{W}_{\text{ПР}}} = \frac{W_{\text{ПОБ}}}{W_{\text{ПР}}} = k_{\bar{Y},3}, \quad (6.38)$$

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.

6.6 Оцінка водних ресурсів минулого сторіччя в умовах водогосподарських перетворень на основі моделі “клімат-стік”

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. Розміри штучних водойм на балках поки що не визначені. Вплив додаткового випаровування з водної поверхні штучних водойм, який оцінюється за рівняннями (6.32-6.37), показав, що цей антропогенний чинник за багаторічний період призводить до зменшення норми річного стоку на 10%, що зумовлено невеликою відносною площею водної поверхні, яка близька до 0,3%. Коефіцієнти антропогенного впливу $k_{\bar{Y}}^L$ знаходяться у межах значень 0,93-0,90 (табл.6.13). Більш суттєвими визнані втрати стоку на майже щорічне заповнення штучних водойм, які оцінюються через коефіцієнти антропогенного впливу $k_{\bar{Y},3}$. Через малу глибину, значне випаровування з водної поверхні та відсутність протифільтраційних заходів штучні водойми 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 вважати, 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.6.13). Зменшення середнього багаторічного річного стоку на річках В.Куяльник та Довбока досягло б 80%. При 50-відсотковому заповненні штучних водойм стік річок В.Куяльник та Довбока знизився б на 50%, а річки Кубанка – на 90% (табл. 6.14). При 25-відсотковому 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-відсоткового 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 можна досягнути при сумарному коефіцієнті антропогенного впливу $K_{\bar{Y}}$, рівному 0,62. Таке значення коефіцієнта можливо отримати, коли наповнення штучних водойм у середньому за багаторічний період становитиме 40% від їх повного сумарного об’єму (табл. 6.15).

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 багатководні і зростають у маловодні роки (табл. 6.16, табл.6.17). Саме через побудову штучних водойм зменшився приплив прісних вод до лиману.

Таблиця 6.13 – Оцінка впливу штучних водойм на водні ресурси річок водозбору Куяльницького лиману при їх 100-відсотковому заповненні

Річка	\bar{W}_{IP} , 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 6.14 – Оцінка впливу штучних водойм на водні ресурси річок водозбору Куяльницького лиману при їх 50-відсотковому заповненні

Річка	\bar{W}_{IP} , 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 6.15 – Оцінка впливу штучних водойм на водні ресурси річок водозбору Куяльницького лиману при їх 40-відсотковому заповненні

Річка	\bar{W}_{IP} , 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 6.16 – Характеристики побутового річного стоку (об'єми) у роки різної водності

Річка-пост	Статистичні параметри побутового річного стоку			Побутовий річний стік заданої забезпеченості, млн. м ³					
	\bar{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 6.17 – Зменшення припливу прісних вод від річок до Куяльницького лиману за рахунок впливу штучних водойм (%)

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

РОЗДІЛ 7

ОЦІНКА ЗМІН КЛІМАТИЧНИХ ЧИННИКІВ ТА ВОДНИХ РЕСУРСІВ БАСЕЙНУ КУЯЛЬНИЦЬКОГО ЛИМАНУ ЗА СЦЕНАРІЯМИ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛІННЯ

Дослідження майбутніх змін клімату на території України є дуже важливим для раціонального планування економічних та соціальних аспектів життя в Україні у XXI столітті [1].

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 [2]).

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 відзначається значний прогрес, пов'язаний із збільшенням обчислювальних ресурсів, що забезпечує кращу деталізацію та повноту модельних описів кліматичних процесів і дозволяє виконувати 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;

CCCМ - 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 водних ресурсів України, наведені в [3,4,5]. Ці моделі в більшості своїх реалізацій мають недостатню роздільну здатність, тому вони не придатні для досліджень регіональних особливостей кліматичних змін в Україні.

В 2000 р. Міжурядовою групою експертів зі змін клімату було опубліковано «Спеціальну доповідь по сценаріях викидів» (СДСВ) [6]. 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. 7.1) у чотири сюжетні лінії (A1, A2, B1 і B2) [7].

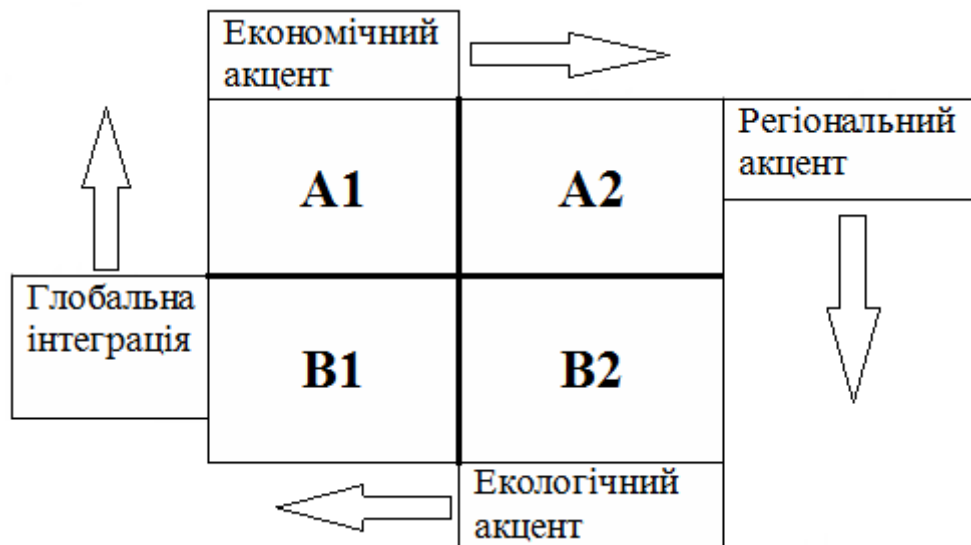


Рис. 7.1 – Сюжетні ліній СДСВ

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 В1 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 В2 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 А2, з проміжними рівнями економічного розвитку і менш швидкими й більш різноманітними технологічними змінами в порівнянні з сюжетними лініями А1 та В1. Хоча цей сценарій також орієнтований на охорону навколишнього середовища і соціальну справедливість, головна увага в ньому приділяється місцевим і регіональним рівням.

Сценарій зміни клімату А1В 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 [8] для розрахунків термодинамічних характеристик і блоку глобальної кліматичної моделі ECHAM4 [9].

В основі сценарію А2 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 [10].

В сучасних сценаріях А1В та А2 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 [11].

7.1 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 А1В та А2. У роботі, виконаній вченими ОДЕКУ [12,13] 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 [14]. Як базові були використані дані спостережень на метеостанції Любашівка за період 1998-2007рр. Установлено, що сценарій зміни “помірного” клімату А1В, 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 сценарії (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. [15].

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

1. Розрахунки середньомісячних температур (MT) та середніх місячних сум опадів (MP) для досліджуваного періоду за спостереженими й сценарними даними [12]:

$$MP_{m,i} = \frac{\sum_{i=1}^N P_{m,i}}{N}, \quad (7.1)$$

$$MT_{m,i} = \frac{\sum_{i=1}^N T_{m,i}}{N}, \quad (7.2)$$

$$MP_{0,i} = \frac{\sum_{i=1}^N P_{0,i}}{N}, \quad (7.3)$$

$$MT_{0,i} = \frac{\sum_{i=1}^N T_{0,i}}{N}, \quad (7.4)$$

де P – місячна сума опадів, мм; T – середньомісячна температура, $^{\circ}\text{C}$; 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.

2. Розрахунки різниць між середніми значеннями опадів (MP_m) і температур виконувалися (MT_m) за такими формулами

$$DMP_{m,i} = MP_{m,i} - MP_{0,i}, \quad (7.5)$$

$$DMT_{m,i} = MT_{m,i} - MT_{0,i}, \quad (7.6)$$

де $DMP_{m,i}$, $DMT_{m,i}$ – щомісячні відмінності опадів та температур.

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

$$ADMP_m = \frac{\sum_1^{12} \left| \frac{DMP_{m,i} * 100\%}{MP_{0,i}} \right|}{12}, \quad (7.7)$$

$$AMDT_m = \frac{\sum_1^{12} |DMT_{m,i}|}{12}. \quad (7.8)$$

Чим менша відмінність, яка представляється критеріями $ADMP_m$ та $AMDT_m$, тим більша відповідність сценарних та фактичних даних. Аналіз отриманих критеріїв показав, що сценарій А1В більше відповідає фактичним даним (табл. 7.1, 7.2). При використанні даних після 1988 р. відповідність сценарних та фактичних даних по температурах повітря покращується (табл.7.2). 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. 7.2, 7.3). Найгірші результати отримані для метеостанції Одеса, що можна пояснити впливом атмосферних процесів, які формуються над акваторією Чорного моря. У внутрішньорічному ході сум опадів за сценарієм А2 є прояви асинхронності коливань сценарних и фактичних характеристик у весняні та осінні місяці (рис. 7.3).

При порівнянні характеру коливань фактичних та сценарних метеорологічних даних за допомогою різницевої інтегральної кривої, виявлено, що хід розглянутих метеорологічних характеристик за сценарієм А1В більше відповідає реальним значенням ніж за А2 (рис. 7.4). Особливо це стосується температур повітря (рис.7.5).

Таблиця 7.1 – Значення критеріїв $ADMP_m$ та $AMDT_m$ для опадів та температур повітря за період 1951-2012 рр.

Метео-станція	А1В		А2	
	$ADMP_m$, %	$AMDT_m$, °С	$ADMP_m$, %	$AMDT_m$, °С
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 7.2 – 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
Затишся	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

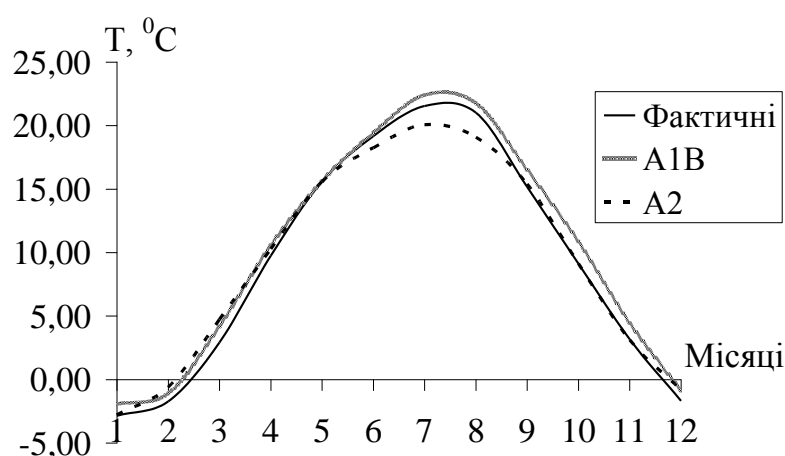


Рис. 7.2 – Осереднений внутрішньорічний хід середніх місячних температур повітря, за сценаріями A1B, A2 та за даними спостережень для періоду 1989-2012 рр. на метеостанції Любашівка

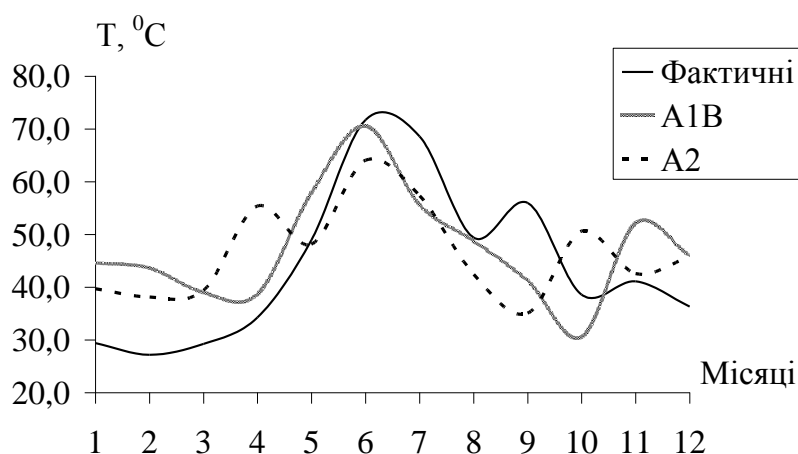


Рис. 7.3 – Осереднений внутрішньорічний хід сум місячних опадів за сценаріями A1B, A2 та за даними спостережень для періоду 1989-2012 рр. на метеостанції Любашівка.

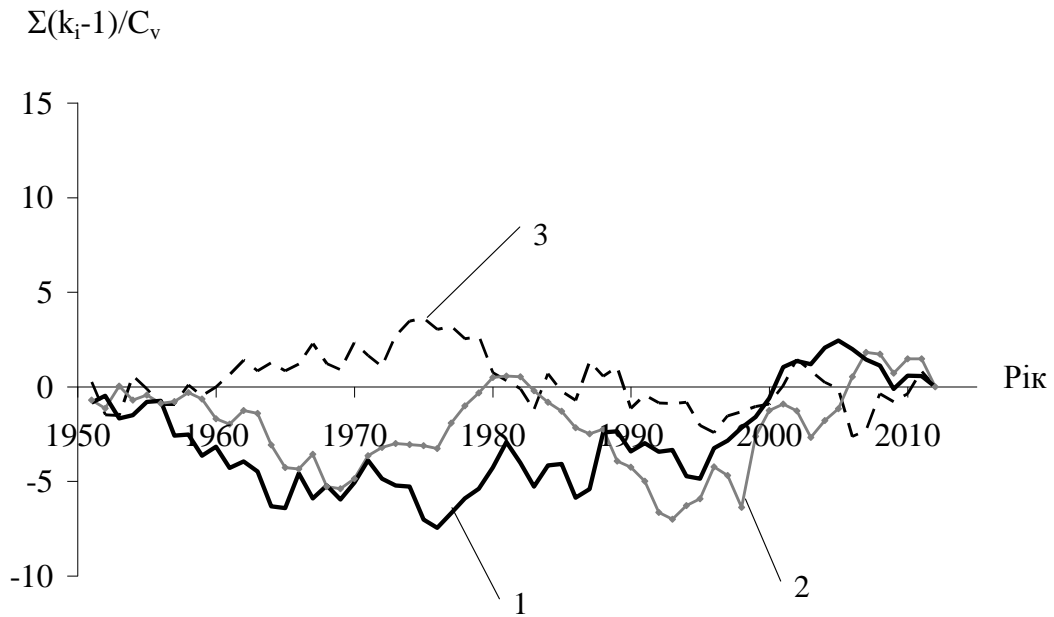


Рис 7.4 – Різницево-інтегральні криві середніх річних сум опадів на метеостанції Затишшя, 1951-2012 рр. (1 – за спостереженими даними, 2 – за даними сценарію А1В, 3 – за даними сценарію А2)

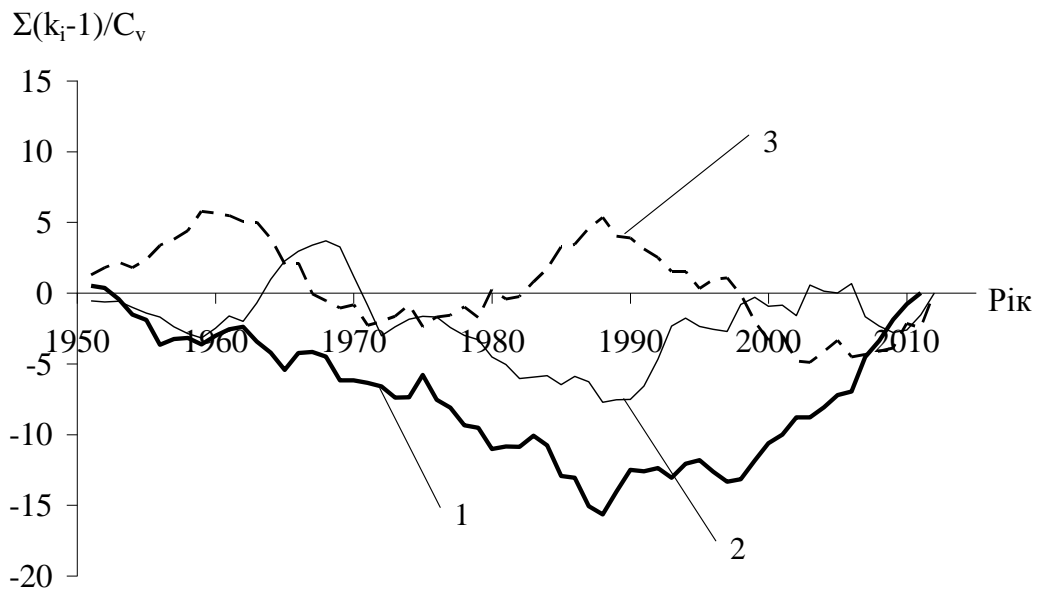


Рис. 7.5 – Різницево-інтегральні криві середніх річних температур повітря на метеостанції Любашівка, 1951-2012 рр. (1 – за спостереженими даними, 2 – за даними сценарію А1В, 3 – за даними сценарію А2)

Оскільки матеріали сценаріїв використовувались у подальшому для оцінки водних ресурсів за моделлю «клімат-стік», було виконано порівняння середніх багаторічних величин кліматичного річного стоку, визначених за цією моделлю по фактичних та сценарних метеорологічних даних (табл. 7.3, 7.4). Отримано, що точність оцінок \bar{Y}_K за сценарієм А1В вища ніж для сценарію А2. Крім того, обчислення за сценарієм А2 призводять до появи систематичної похибки: норма стоку визначена за цим сценарієм перевищує фактичне значення на усіх метеостанціях. Таким чином, для оцінок змін водних ресурсів річок басейну Куяльницького лиману у подальшому був обраний сценарій А1В.

Таблиця 7.3 – Порівняння норм річного кліматичного стоку, визначеного на основі фактичних та сценарних (А1В) метеорологічних даних за період 1989-2012 рр.

Метеостанція	Опади, мм		Максимально можливе випаровування, мм		Стік, мм		Відхилення, $\delta = \frac{\bar{Y}_{cy} - \bar{Y}_\phi}{\bar{Y}_\phi} \cdot 100\%$
	\bar{X}_ϕ	\bar{X}_{cy}	\bar{E}_ϕ	\bar{E}_{cy}	\bar{Y}_ϕ	\bar{Y}_{cy}	
Одеса	456	459	1014	1037	13	13	0
Роздільна	504	463	984	1028	21	13	-38
Затишшя	514	520	961	995	24	23	-4,2
Любашівка	531	569	923	966	30	34	13
Середнє відносне відхилення, %							±13,8

Таблиця 7.4 – Порівняння норм річного кліматичного стоку, визначеного на основі фактичних та сценарних (А2) метеорологічних даних за період 1989-2012 рр.

Метеостанція	Опади, мм		Максимально можливе випаровування, мм		Стік, мм		Відхилення, $\delta = \frac{\bar{Y}_{cy} - \bar{Y}_\phi}{\bar{Y}_\phi} \cdot 100\%$
	\bar{X}_ϕ	\bar{X}_{cy}	\bar{E}_ϕ	\bar{E}_{cy}	\bar{Y}_ϕ	\bar{Y}_{cy}	
Одеса	456	441	1014	951	13	14	+7,1
Роздільна	504	501	984	929	21	24	+14,3
Затишшя	514	540	961	906	24	33	+37,5
Любашівка	531	558	923	869	30	42	+40
Середнє відносне відхилення, %							+24,7

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

Структура рівнянь водно-теплового балансу, представлених у вигляді (3.16) для багаторічного періоду або у вигляді (3.14) 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-теплового балансу для розрахунків кліматичного стоку по місяцях та сезонах за даними кліматичних сценаріїв має вигляд

$$Y'_K = X' + (w_1 - w_2)' - E'_m \left[1 + \left(\frac{X' + (w_1 - w_2)'}{E'_m} \right)^{-n} \right]^{-\frac{1}{n}}, \quad (7.9)$$

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-теплового балансу відповідає рівнянню (6.16)

$$\bar{Y}'_K = \bar{X}' - \bar{E}'_m \left[1 + \left(\frac{\bar{X}'}{\bar{E}'_m} \right)^{-n} \right]^{-\frac{1}{n}}, \quad (7.10)$$

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 (3.18), 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 цієї величини, при зміні річних опадів на $\pm 3,5\%$ або при зміні сум середніх місячних

температур повітря за період червень-серпень на $\pm 2,5^{\circ}\text{C}$ [4]. 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 [17-21].

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.

7.3 Оцінка змін кліматичних чинників за сценаріями глобального потепління

Дослідження, виконані за сценарієм A1B для вузлів сітки, які відповідають положенню метеорологічних станцій Одеса, Любашівка, Затишшя, Роздільна, визначили існування статистично значущих додатних трендів у ході річних значень температури повітря, а також температур теплого та холодного періодів (рис. 4.6, 4.7, 4.8). 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. 7.9.

Згідно зі сценарієм 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. 7.10), видно, що за сценарієм A1B зростання температур повітря відбуватиметься більш інтенсивно, ніж за сценарієм A2.

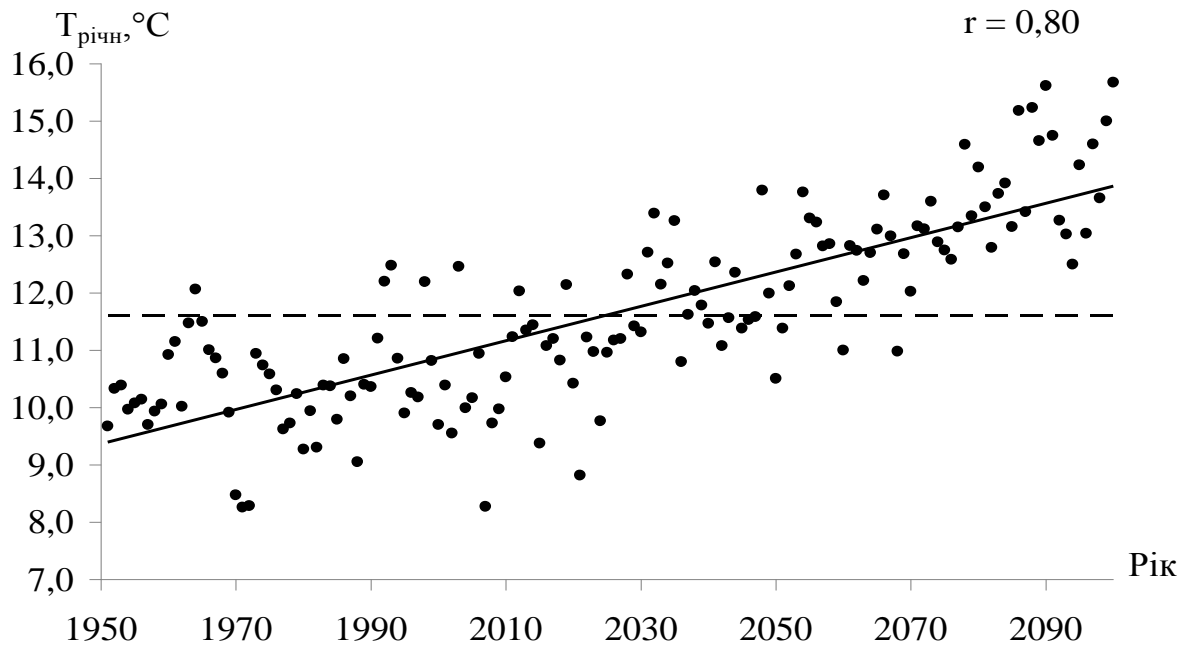


Рис. 7.6 – Хронологічний хід річної температури повітря за сценарієм А1В, метеостанція Затишшя, 1951-2100 рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренда)

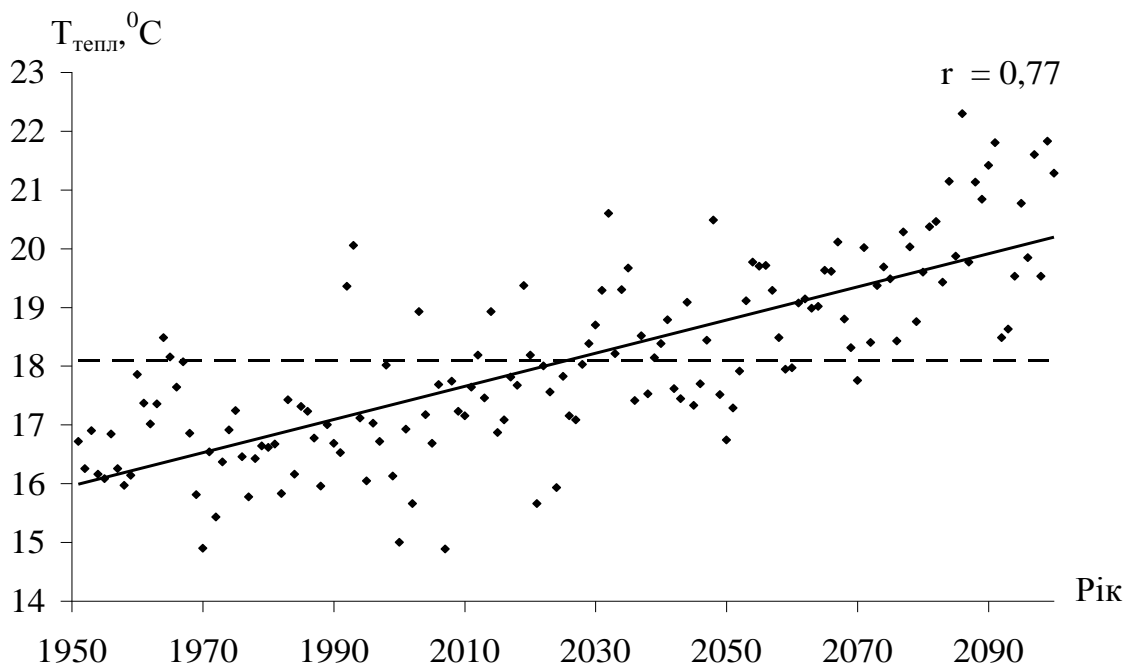


Рис. 7.7 – Хронологічний хід температури повітря теплого періоду (IV–X) за сценарієм А1В, метеостанція Затишшя, 1951-2100 рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренда)

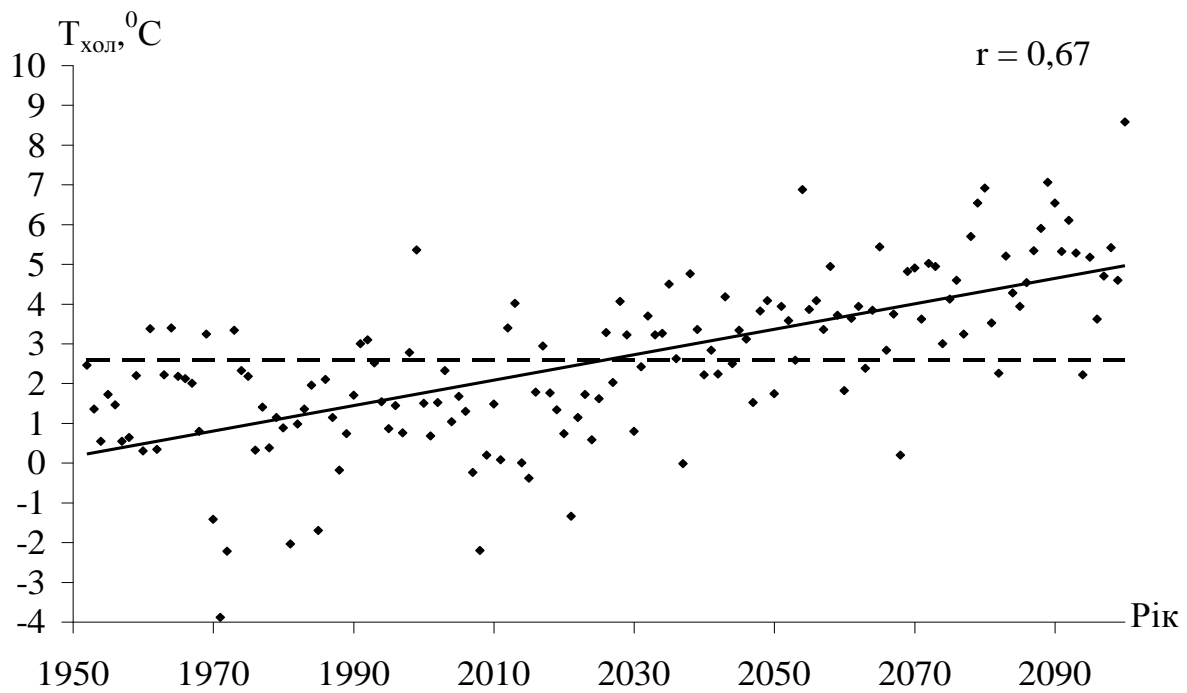


Рис. 7.8 – Хронологічний хід температури повітря холодного періоду (XI-III) за сценарієм А1В, метеостанція Затишшя, 1951-2100 рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренда)

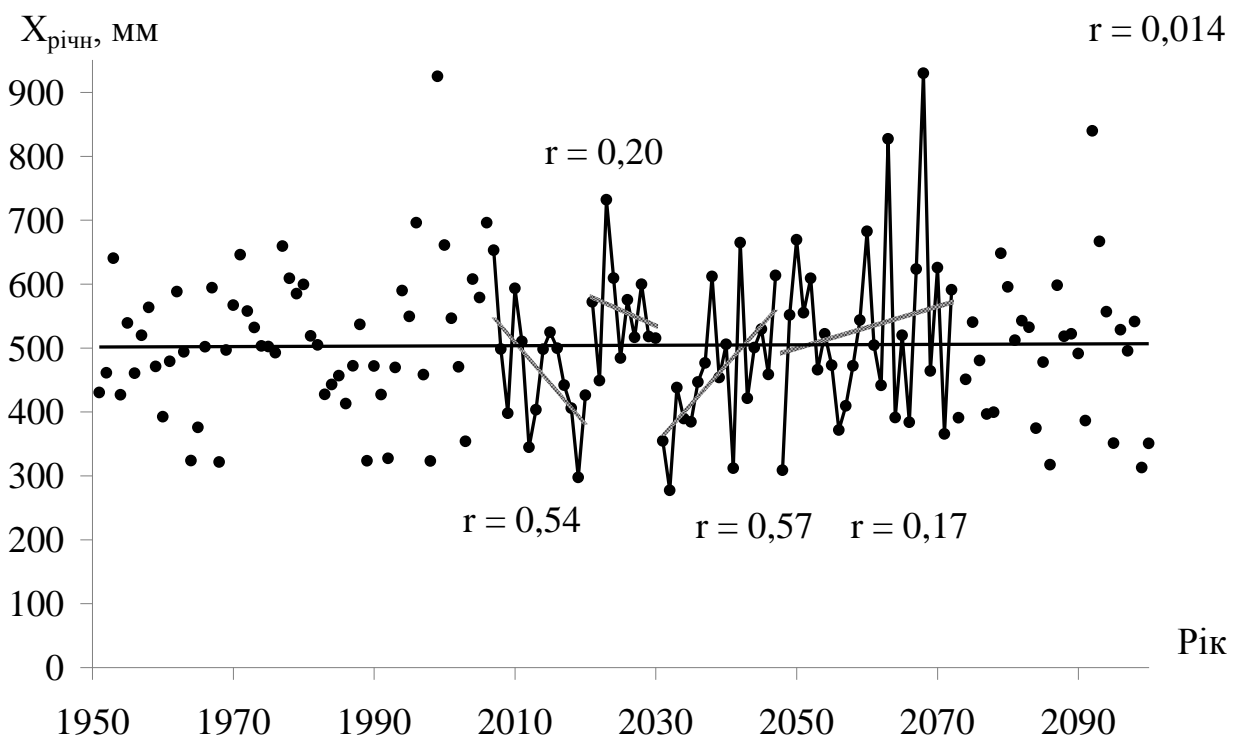


Рис. 7.9 – Хронологічний хід річних опадів за сценарієм А1В, метеостанція Затишшя, 1951-2100 рр. (— лінія тренда, яка співпадає із середнім багаторічним значенням)

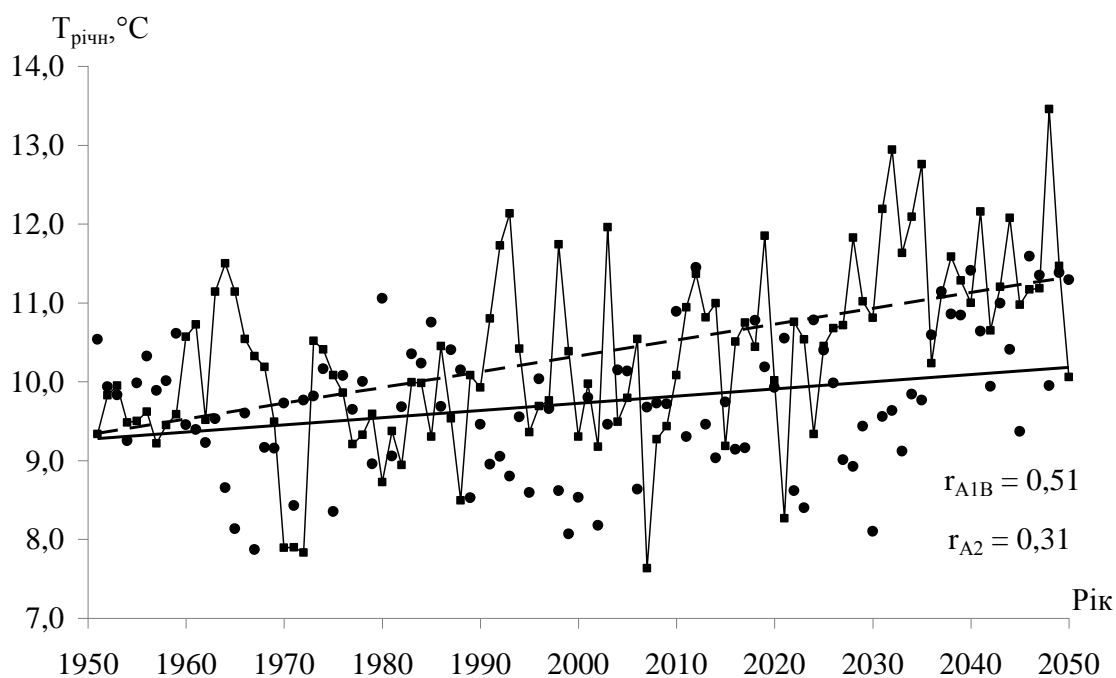


Рис. 7.10 – Хронологічний хід середньої річної температури повітря за даними сценаріїв А1В та А2 по метеорологічній станції Любашівка (— лінія тренда за А2, - - - лінія тренда за А1В) за період 1951-2050 рр.

Статистично значущих трендів у багаторічних змінах річних сум опадів, сум опадів теплого та холодного періодів для цього сценарію також не виявлено. При розгляді довготривалого періоду 1951-2050 рр., визначено, що протягом 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 А1В та А2 були побудовані різницево-інтегральні криві (рис. 7.11, 7.12). За сценарієм А1В у період 1951-2100 рр. температура повітря буде знаходитися у додатній фазі з 2027 р (рис. 7.11). Аналіз коливань річних сум опадів показав, що зволеними є періоди 1993-2007 рр., 2020-2030 рр., 2049-2072 рр., маловодними – 2008-2019 рр., 2031-2048 рр., 2073-2091 рр. (рис. 7.12). Від’ємні та додатні фази утворюють повні цикли водності.

За сценарієм А2 (1951-2050 рр.) річна температура повітря знаходиться у від’ємній фазі і перейде у додатну в 2034 р. (рис. 7.13). 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. 7.14).

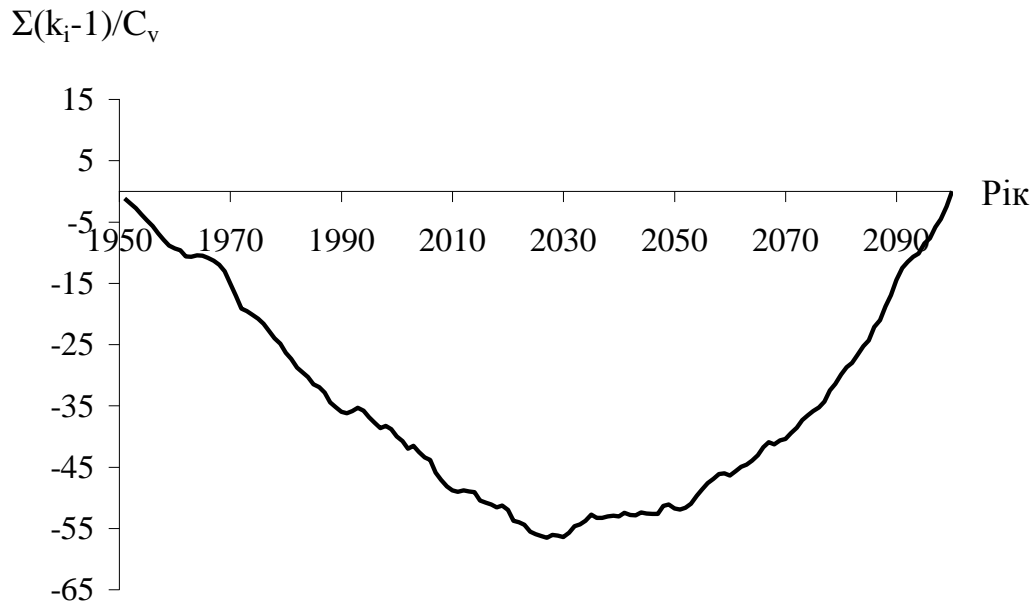


Рис. 7.11 – Різницево-інтегральна крива річних температур повітря за даними сценарію А1В на метеостанції Затишшя, 1951-2100 рр.

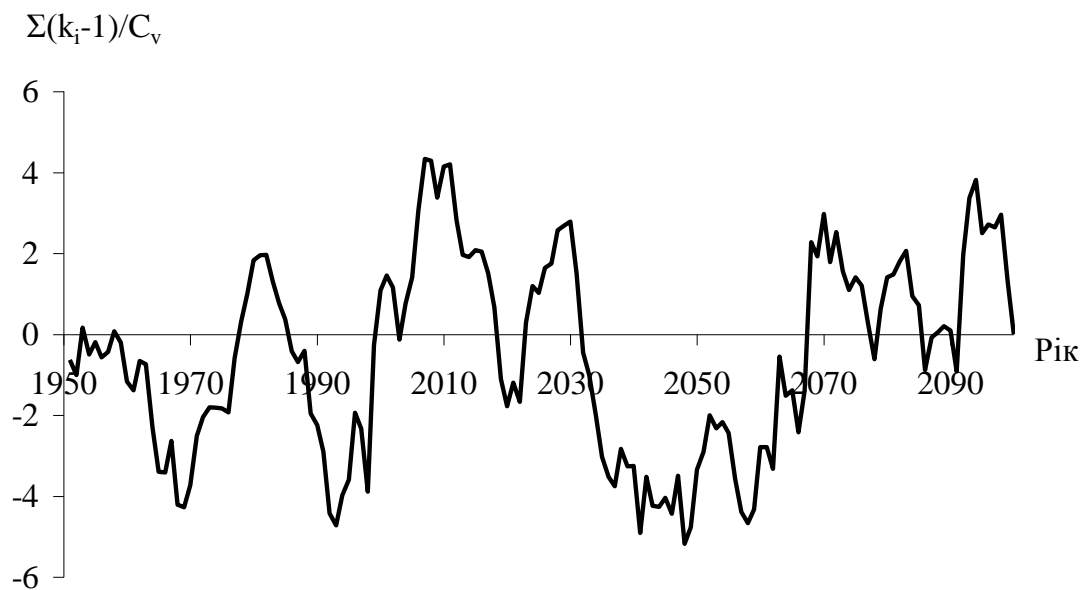


Рис. 7.12 – Різницево-інтегральна крива річних сум опадів за даними сценарію А1В на метеостанції Затишшя, 1951-2100 рр.

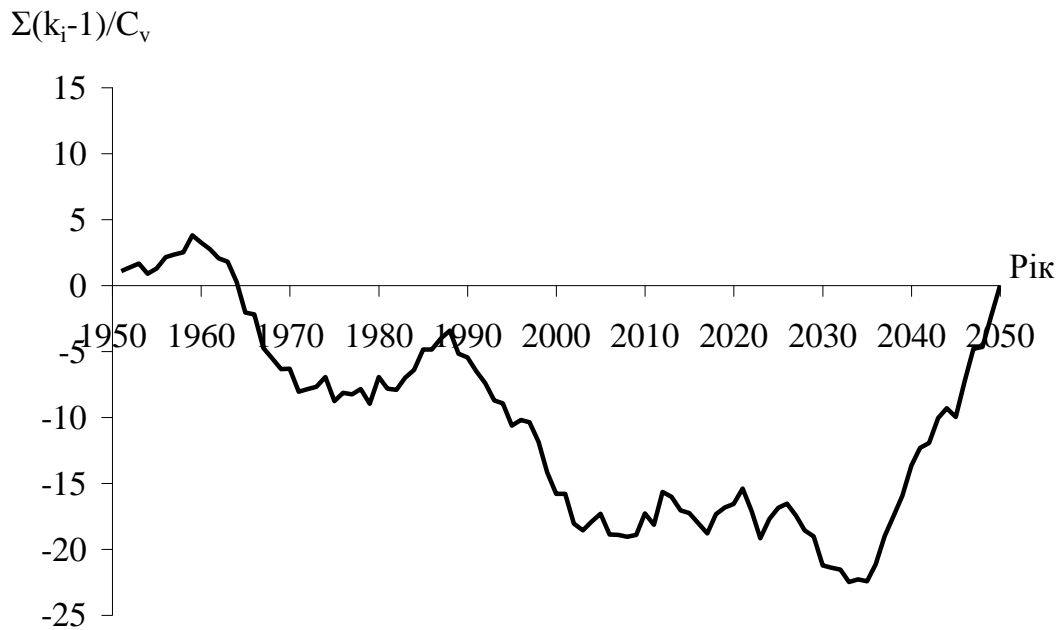


Рис. 7.13 – Різницево-інтегральна крива річних температур повітря за даними сценарію А2 на метеостанції Затишшя, 1951-2050 рр.

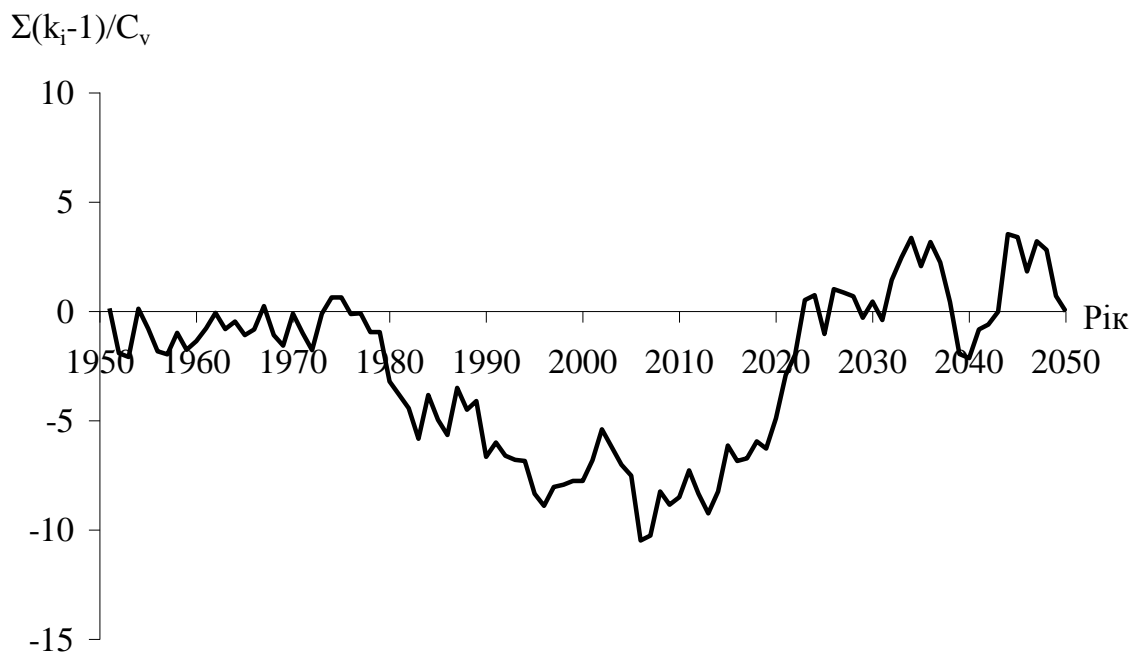


Рис. 7.14 – Різницево-інтегральна крива річних сум опадів за даними сценарію А2 на метеостанції Затишшя, 1951-2050 рр.

Подальші 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.

7.4 Оцінка змін характеристик посух за сценаріями глобального потепління

Як характеристику посух у роботі використано індекс SPEI (дивись п. 6.2). На розглядуваній території до середини ХХІ сторіччя за сценарієм А1В прогнозується від 11 (в південній частині) до 15 (в північній частині) випадків посух різної інтенсивності та тривалості, за сценарієм А2 – дещо менше (від 8 до 12) [23]. Найчастіше будуть спостерігатися слабкі посухи – частота їх появи за сценаріями в середньому по території становитиме 40% (табл. 7.5). Інтенсивних та екстремальних посух в порівнянні із фактичними даними побільшає (рис. 7.15). За тривалістю також переважатимуть слабкі посухи за обома сценаріями (табл. 7.6). У порівнянні із даними спостережень (до 2012 р.) за сценарієм А1В до 2050р. кількість місяців із інтенсивною посухою зменшиться, а із екстремальною – збільшиться. За сценарієм А2, навпаки.

Таблиця 7.5 – Частота появи (%) посух різної суворості згідно зі значеннями індексу SPEI

Метео-станція	Сценарій	Категорія посухи			
		близька до нормальної (слабка)	помірна (помірно суха)	інтенсивна (дуже суха)	екстремальна (вкрай суха)
Любашівка	А1В	53	20	7	20
	А2	33	25	25	17
Баштанка	А1В	25	50	8	17
	А2	40	20	20	20
Одеса	А1В	36	27	18	18
	А2	50	0	13	38

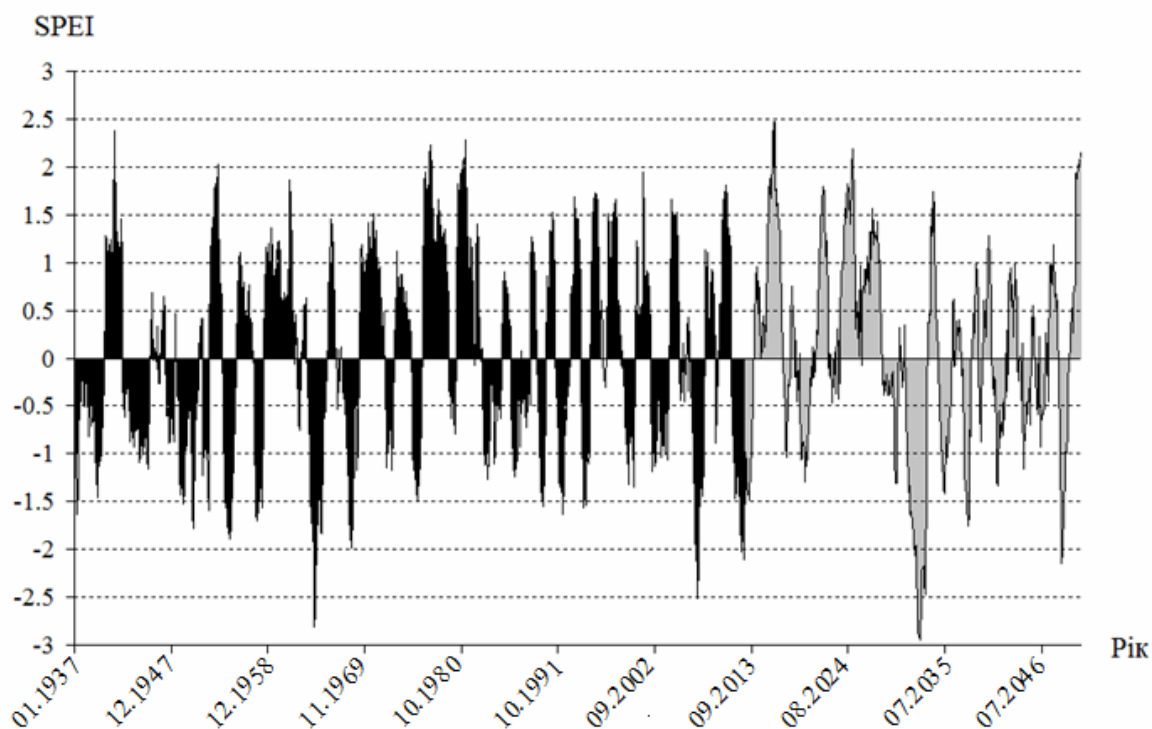


Рис. 7.15 – Хронологічний хід індексу SPEI, метеостанція Баштанка, 1937-2012 рр.(чорний колір) та 2013-2050 рр. (сірий колір) (за сценарієм А1В)

Таблиця 7.6 – Тривалість посух різних категорій по даним сценаріїв А1В та А2 на метеостанціях Північно-Західного Причорномор'я (у місяцях) у XXI сторіччі

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

7.5 Оцінка змін характеристик посушливості клімату за сценаріями глобального потепління

У сучасних оцінках показників посушливості частіше використовуються дані про опади та максимально можливе випаровування, яке також називають потенційним випаровуванням або потенційною евапотранспірацією (*PET*). Під цією величиною розуміється максимальна кількість води, яка могла б випаруватися в даних кліматичних умовах з поверхні суші, вкритою рослинністю, при наявності достатнього запасу вологи. За формулою Торнтвайта, *PET* виражається як функція сум температур за 12 місяців. Якщо кількість середньорічних опадів менша за *PET*, то розглянутий район класифікується, щонайменше, як напіваридний [24].

За рекомендаціями ЮНЕСКО [25], ступінь аридності визначається за такими співвідношеннями:

$$X / PET < 0,03 \text{ – гіпераридна зона,} \quad (7.11)$$

$$0,03 < X / PET < 0,20 \text{ – аридна зона,} \quad (7.12)$$

$$0,20 < X / PET < 0,50 \text{ – напіваридна зона,} \quad (7.13)$$

де X – шар середньорічних опадів, мм;

PET – потенційне випаровування, мм.

Неважко провести аналогію між величиною *PET* та максимально можливим випаровуванням або теплоенергетичним еквівалентом E_m , який розраховується за даними про додатні складові теплового балансу підстильної поверхні і трактується як максимально можливе випаровування з поверхні суші, яке мало б місце, якщо на процес випаровування були б витрачені всі теплоенергетичні ресурси клімату. За величиною $\beta_X = \frac{\bar{X}}{E_m}$, згідно з рекомендаціями В.С. Мезенцева [26], також може бути визначено ступінь посушливості (зволоженості) території

$$\beta_X \geq 1,0 \text{ – зона надмірного зволоження,} \quad (7.14)$$

$$0,8 < \beta_X < 1,0 \text{ – зона достатнього зволоження,} \quad (7.15)$$

$$0,5 \leq \beta_X < 0,8 \text{ – недостатнього зволоження.} \quad (7.16)$$

За величиною β_X також можна виділяти зволожені та посушливі роки. Значення $\beta_X=0,5$ розглядається як межа, яка характеризує перехід до посушливих років, коли кліматичні умови близькі до напіваридних та аридних. Аналізуючи хронологічний хід індексу β_X по роках можна зробити висновок, що у минулому сторіччі (період 1900-1988 рр.)

посушливі роки чергувалися із достатньо зволженими (рис. 7.16). За сценарієм А1В у 2015-2050 рр. практично на всьому інтервалі будуть спостерігатися роки, коли $\beta_X < 0,5$ (рис. 7.17), які відповідають проявам напіваридного клімату. За сценарієм А2 індекс посушливості β_X буде переважно менше за 0,5, але можливі роки, коли зволоження буде зростати (рис. 7.18).

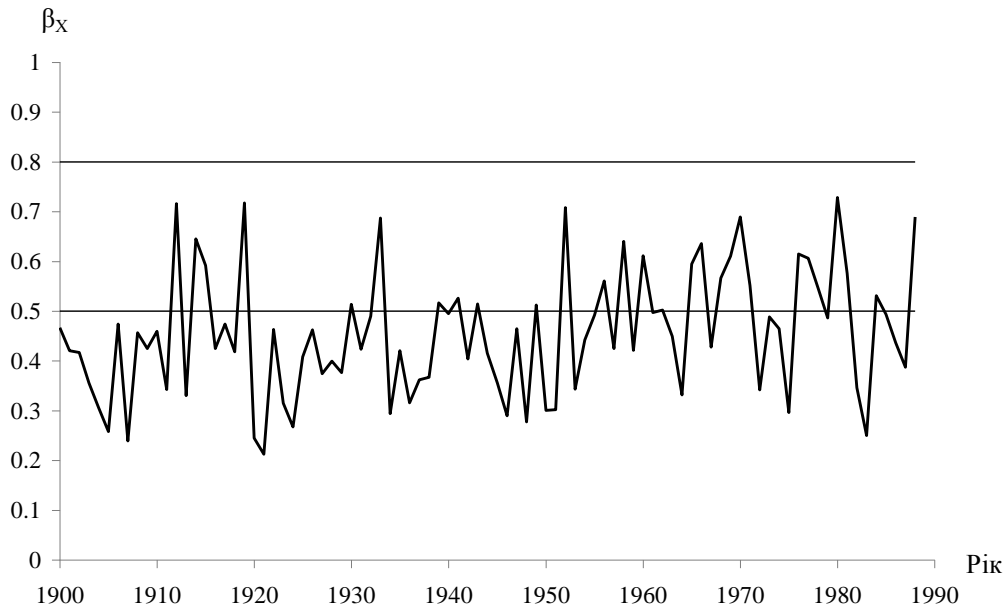


Рис. 7.16 – Хронологічний хід індексу β_X , метеостанція Одеса, 1900-1988 рр.

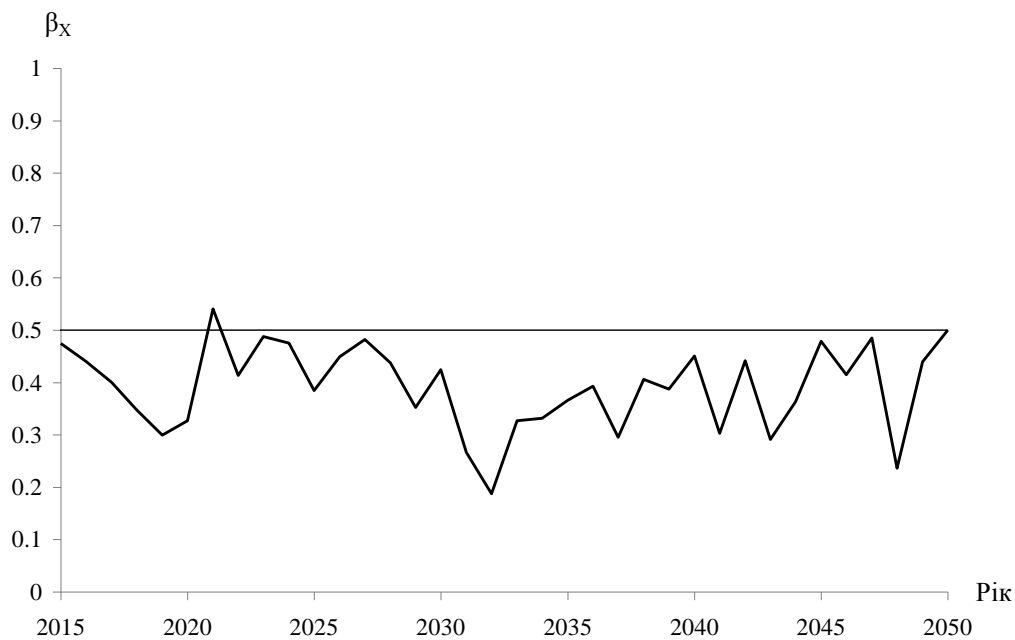


Рис. 7.17 – Хронологічний хід індексу β_X за сценарієм А1В, метеостанція Одеса, 2015-2050 рр.

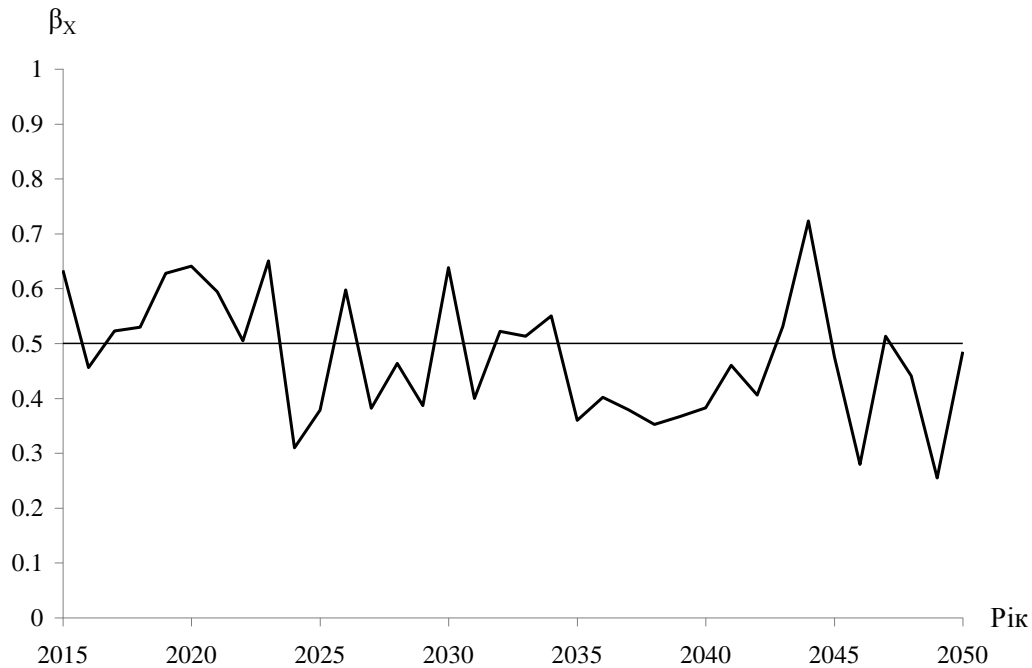


Рис. 7.18 – Хронологічний хід індексу β_x за сценарієм А2, метеостанція Одеса, 2015-2050 рр.

7.6 Оцінка можливих змін водних ресурсів за моделлю «клімат-стік» на основі кліматичних сценаріїв

Для оцінки наслідків впливу глобального потепління на формування водних ресурсів для території України в цілому були розглянуті сценарії А1В та А2 [27,28]. 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. 7.19) [27].

Згідно із результатами розрахунків, отриманими за сценарієм А2 [28], до 2030р. Україну очікує зростання водних ресурсів від 80-60% на півночі й північному сході та до 40% – у центрі (рис. 7.20). На півдні України як і у сценарію А1В буде відбуватися зменшення водних ресурсів, яке у Одеській області досягне 40%.

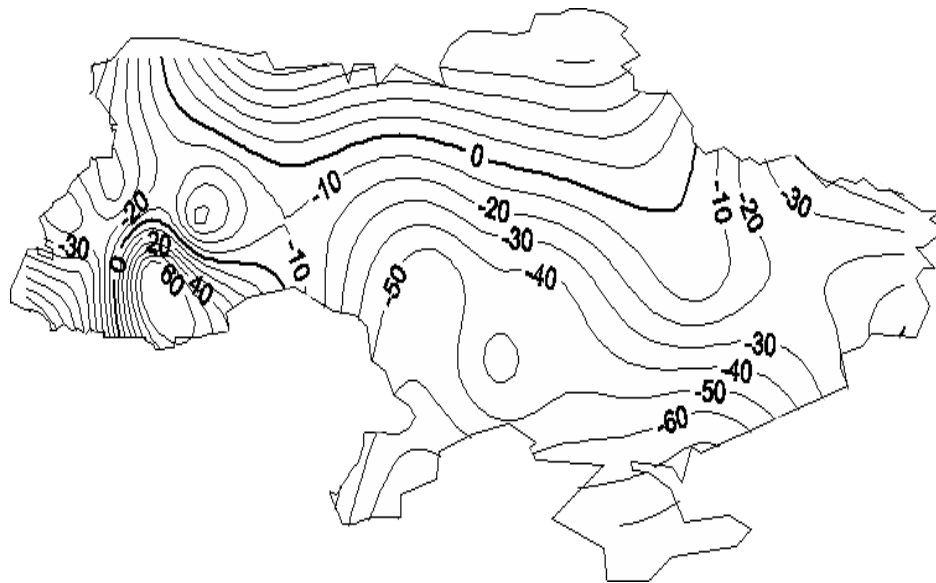


Рис. 7.19 – Просторовий розподіл відносних відхилень (%) норм річного кліматичного стоку за період 2031-2050 рр. від фактичних даних до 1989 р. (сценарій А1В)



Рис. 7.20 – Просторовий розподіл відносних відхилень норм річного кліматичного стоку за період 2011-2030 рр. у порівнянні із даними до 1989 р. (сценарій А2)

У період 2031-2050рр. на більшій частині України тенденція до зменшення водних ресурсів посилиться (рис. 7.21). У Одеській області водні ресурси зменшаться у порівнянні із періодом 2011-2030рр. ще на 30-35%, тобто буде досягнутий стан руйнування (більше 50 відсотків) та незворотного руйнування (більше 70 відсотків). Розвиток подій у ХХІ сторіччі за сценарієм А2 указує на зростання різниці між кількісними

характеристиками південних і північних областей України. Однак наслідки глобального потепління, які прогнозуються за сценарієм А2, будуть не такі катастрофічні як за сценарієм А1В.

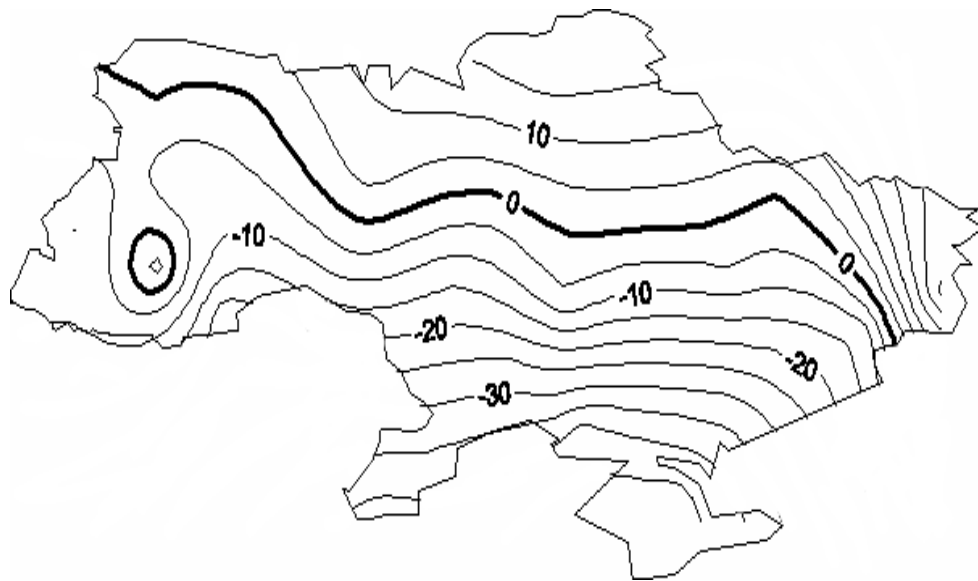


Рис. 7.21 – Просторовий розподіл відносних відхилень норм річного кліматичного стоку за період 2031-2050 рр. у порівнянні із періодом 2011-2030 рр. (сценарій А2)

Зроблені оцінки водних ресурсів на майбутнє знаходяться у відповідності із результатами розрахунків, отриманими С.І. Сніжком та І.В. Купріковим [29,30], 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 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. 7.7, де наведена інформація про зміни річних сум опадів, витікає, що на території Північно-Західного Причорномор'я за сценарієм А1В очікуватиметься їх зменшення, яке досягне -14,3% у 2031-2050 рр. Максимально можливе випаровування зростатиме до 19,6% (табл. 7.8). Внаслідок зростання теплоенергетичних ресурсів клімату на фоні 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. 7.9). Зменшення водних ресурсів досягне найбільших величин (-73%) на півдні Одеської області.

Таблиця 7.7 – Зміни ресурсів вологи на території Північно-Західного Причорномор'я за сценаріями зміни клімату А1В та А2 у різні часові інтервали

Метео-станція	Середні багаторічні значення річних сум опадів, мм								
	до 1989 р.	за сценарієм А1В				за сценарієм А2			
		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	±8,1	482	±8,5

Таблиця 7.8 – Зміни теплоенергетичних ресурсів на території Північно-Західного Причорномор'я за сценаріями А1В та А2 у різні часові інтервали

Метео-станція	Середні багаторічні значення максимально можливого випаровування, мм								
	до 1989 р.	за сценарієм А1В				за сценарієм А2			
		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 7.9 – Зміни водних ресурсів на території Північно-Західного Причорномор'я за сценаріями зміни клімату А1В та А2 у різні часові інтервали

Метео-станція	Середні багаторічні значення кліматичного стоку, мм								
	до 1989 р.	за сценарієм А1В				за сценарієм А2			
		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 А2 у ХХІ сторіччі на розглядуваній території опади будуть змінюватися неоднаково: на півночі території вони зростатимуть, а на півдні – зменшуватись (табл. 7.7). І це зменшення буде посилюватись до 2050 р. Максимально можливе випаровування також зростатиме, але не так інтенсивно, як у сценарії А1В (табл. 7.8). 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. 7.9). 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.

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. 7.22).

Для кожної з точок виконувалися розрахунки середніх багаторічних значень сум річних опадів, максимально можливого випаровування та кліматичного стоку (табл. 7.10), які відповідають кліматичним умовам до початку глобального потепління (до 1989 р.) за даними сценарію А1В як такого, що найбільш задовільно описує розподіл температур повітря та опадів на досліджуваній території [31].

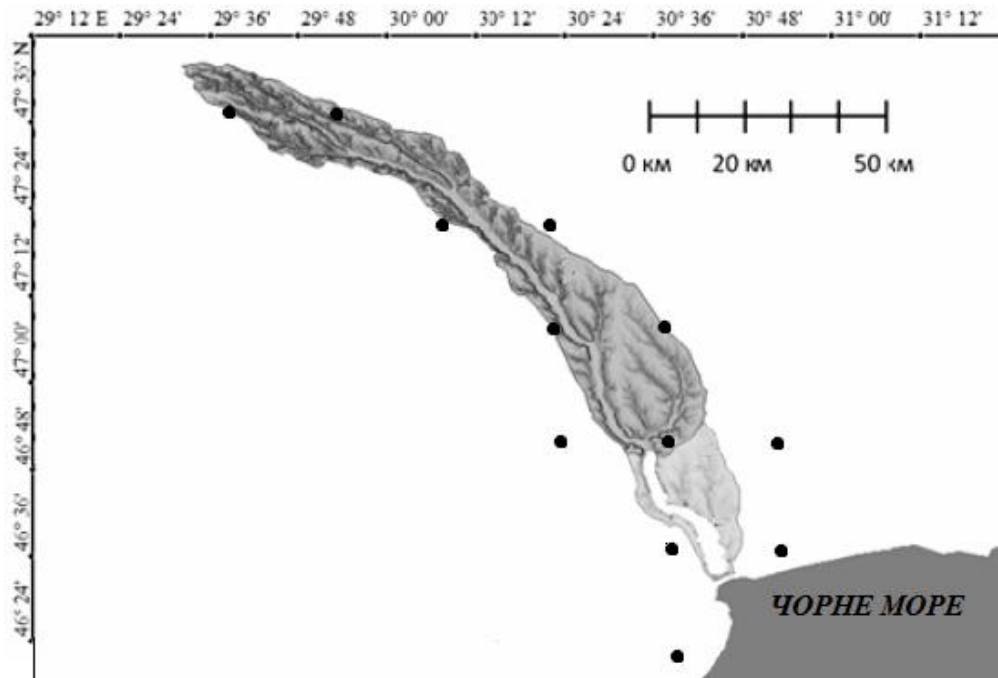


Рис. 7.22 – Розташування вузлових точок на території водозбору Куяльницького лиману

Таблиця 7.10 – 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. півн.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

Розрахунки показали, що за сценарієм А1В у ХХІ сторіччі в середньому на водозборі Куяльницького лиману опади змінюватись майже не будуть (табл. 7.11), проте, передбачається поступове, рівномірне збільшення максимально можливого випаровування (табл. 7.12), що призведе до зменшення водних ресурсів майже на 50% до кінця ХХІ сторіччя (табл. 7.13).

Розподіл ізоліній змін річного кліматичного стоку у просторі (рис. 7.23) 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. 7.14) 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 їх зменшення у порівнянні із даними до 1989р. дорівнює 39,2%.

Таблиця 7.11 – Зміни ресурсів вологи у басейні Куяльницького лиману за сценаріями зміни клімату А1В в різні часові інтервали

№ точ- ки	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 7.12 – 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 7.13 – 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

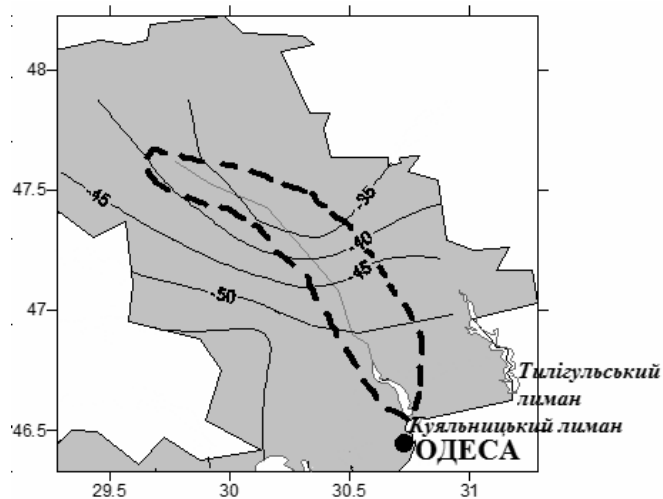


Рис. 7.23 – Просторовий розподіл відносних відхилень (%) норм річного кліматичного стоку за період 2021-2050 рр. у порівнянні із фактичними даними до 1989 р. на території водозбору Куяльницького лиману за сценарієм А1В, (--- межа водозбору Куяльницького лиману)

Таблиця 7.14 – Статистичні параметри природного річного стоку річок басейну Куяльницького лиману в кліматичних умовах сценарію А1В для періоду 2021-2050 рр.

Річки та балки	Норма кліматичного стоку, \bar{Y}_K , до 1989 р. мм	Норма кліматичного стоку, \bar{Y}'_K , 2021-2050 рр. мм	Перехідний коефіцієнт, $K_{ПЕР,2}$	Статистичні параметри природного річного стоку у період 2021-2050 рр.			
				$\bar{Y}_{ПР}$, 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		

Зменшення природного річного стоку у період 2021-2050 рр. за рахунок кліматичних умов призведе до відсутності річного стоку балок навіть у середні за водністю роки (табл. 7.15).

Таблиця 7.15 – 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	221	164	108	69,0	29,8	12,9	3,16	0	0
р.Довбока			3,68	2,03	0,78	0,14	0	0	0
б.Млинова			0,41	0,20	0,03	0	0	0	0
б. Баштанна	1,03	0,71	0,40	0,19	0,04	0	0	0	0
р.Кубанка	16,3	11,3	6,43	3,24	0,69	0,06	0	0	0
б. Гіндельдорфська	1,77	1,21	0,64	0,30	0,05	8,36	6,10	0	0
б. Корсунцівська	2,01	1,36	0,72	0,33	0,05	1,08	0,74	0	0
Боковий приплив	16,9	11,9	6,30	3,00	0,51	0,12	0	0	0
Сума	268	197	127	78,2	31,9	13,2	3,16	0	0

За умови збереження того ж самого рівня водогосподарської діяльності, який визначений на теперішній час (дивись п. 3), зменшення середнього багаторічного річного стоку річок В.Куяльник, Довбока, Кубанка за рахунок впливу штучних водойм у сценарних кліматичних умовах для періоду 2021-2050рр. досягне 40% (табл. 7.16, 7.17), а при порівнянні із даними про природний стік минулого сторіччя (до 1989р.), коли приплив прісних вод від цих річок становив 21,5 млн.м³, це зменшення становитиме 63%. За цих умов річний стік наблизатиметься до нуля у середні за водністю роки не тільки на балках, а й на річках (табл. 7.18).

Таблиця 7.16 – Оцінка впливу штучних водойм на водні ресурси річок водозбору Куяльницького лиману при їх 40-відсотковому заповненні для періоду 2021-2050 рр.

Річка	\bar{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	12,7	7,8	0,33	0,70	0,91	0,61
р.Довбока	0,219	0,185	0,29	0,68	0,88	0,56
р.Кубанка	0,281	0,485	0,29	0,38	0,86	0,24

Таблиця 7.17 – 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					
	\bar{W} , млн. м ³	C_V	C_s	$W_{1\%}$	$W_{5\%}$	$W_{25\%}$	$W_{50\%}$	$W_{75\%}$	$W_{95\%}$
р.В. Куяльник	7,67	2,60	4,41	95,8	44,8	6,95	0,00	0,00	0,00
р.Довбока	0,123	4,38	7,45	2,66	0,85	0,15	0,00	0,00	0,00
р.Кубанка	0,066	9,79	16,65	3,10	0,13	0,07	0,00	0,00	0,00
Сума	7,86	-	-	101,6	45,7	7,17	0,00	0,00	0,00

Таблиця 7.18 – Зменшення припливу прісних вод від річок до Куяльницького лиману за рахунок впливу штучних водойм (%) для періоду 2021-2050 рр. при порівнянні із природним станом у цей же період

Річка	Зміни об'ємів припливу прісних вод у роки заданої забезпеченості, %						
	$\Delta\bar{W}$	$\Delta W_{1\%}$	$\Delta W_{5\%}$	$\Delta W_{25\%}$	$\Delta W_{50\%}$	$\Delta W_{75\%}$	$\Delta W_{95\%}$
р.В. Куяльник	-40	-9	-22	-59	-100	-	-
р.Довбока	-55	-23	-47	-40	-	-	-
р.Кубанка	-63	-31	-87	-68	-	-	-

РОЗДІЛ 8 МАКСИМАЛЬНИЙ СТІК РІЧОК І БАЛОК В БАСЕЙНІ КУЯЛЬНИЦЬКОГО ЛИМАНУ

8.1 Науково-методична база для розрахунку максимальних витрат води

Куюльницький лиман розташований у межах Причорноморської низовини, яка у гідрологічному відношенні майже не висвітлена інформаційно. Таким чином, стокові ряди, окрім транзитних річок, практично на цій території відсутні. Невипадково, у діючому нормативному документі розрахункові параметри на картах позначені орієнтовно [1].

Зауважимо, що для весняного водопілля в ньому застосована структура редуційного типу, а саме:

$$q_m = \frac{k_0 Y_m}{(F + b)^{n_1}}, \quad (8.1)$$

де q_m – розрахунковий модуль максимального стоку; F – площа водозборів; b – емпіричний параметр для врахування зменшення редуції на невеликих річках; Y_m – шар стоку, який визначається з використанням статистичних параметрів розподілу, причому

$$Y_{p\%} = \bar{Y}_m (1 + C_v \Phi_{p,C_s}), \quad (8.2)$$

де $Y_{p\%}$ – розрахунковий шар стоку водопілля забезпеченістю $P\%$; \bar{Y}_m – середній багаторічний шар стоку весняного водопілля, представлений у нормативному документі картою ізоліній; C_v – коефіцієнт варіації часових рядів шарів стоку весняного водопілля (як й \bar{Y}_m , він представлений картою ізоліній); Φ_{p,C_s} – нормовані ординати кривих біноміального розподілу; якщо ж використовується крива трипараметричного гама-розподілу, то

$$Y_{p\%} = \bar{Y}_m k_p, \quad (8.3)$$

де k_p – модульний коефіцієнт, який залежить від забезпеченості $P\%$, коефіцієнта варіації C_v та нормованого співвідношення C_s / C_v ; k_0 – коефіцієнт «дружності» весняного водопілля, який рекомендується визначити за допомогою методу гідрологічної аналогії.

Перелік лише складових, що входять до базової формули (8.1), свідчить про очевидну практичну неможливість здійснювати розрахунки максимальних модулів стоку, оскільки (8.1) передбачає наявність часових гідрологічних рядів спостережень (аналогів).

Для дощових паводків у цьому ж нормативному документі передбачені дві структури:

- при площі водозборів $F < 200 \text{ км}^2$ – формула граничної інтенсивності вигляду:

$$q_p = A_1 H_{\text{д}} \eta \lambda_p; \quad (8.4)$$

- при $F > 200 \text{ км}^2$ – формула редуційного типу:

$$q_p = q_{200} \left(\frac{200}{F} \right)^{n_2} \lambda_p, \quad (8.5)$$

де λ_p – коефіцієнт забезпеченості; q_{200} – максимальний модуль стоку, приведений до умовної площі водозборів $F = 200 \text{ км}^2$ (його представлено картою ізоліній); $A_1 = 16,67 \bar{\psi}(\tau)$ – ординати редуційної кривої паводкоформуєчих опадів за розрахункову тривалість τ , причому

$$\tau = 1,2 t_p + t_{\text{сх}}, \quad (8.6)$$

де t_p – тривалість руслового добігання паводкових хвиль; $t_{\text{сх}}$ – тривалість їх схилового добігання; $H_{\text{д}}$ – добовий максимум опадів забезпеченістю $P=1 \%$; η – об'ємний коефіцієнт паводкового стоку.

Окрім того, не зрозуміло чому для паводків і водопіль при розрахунках максимальних модулів стоку у нормативному документі використовуються різні структурні схеми, не вирішуються й проблемні питання, пов'язані з відсутністю часових рядів стоку у регіоні.

Враховуючи викладене, авторами перш за все здійснені дослідження, які стосуються розробки більш досконалої теоретичної бази для нормування розрахункових характеристик максимального стоку дощових паводків і весняних водопіль, ніж та, що діє у цей час.

У випадку, коли тривалість руслового добігання t_p більша за тривалість схилового припливу T_0 , максимальна витрата води паводка (водопілля) Q_m за схемою руслових ізохрон буде дорівнювати

$$Q_m = \left(\sum_{T_0} q'_t f_t \varepsilon_t \right)_m, \quad (8.7)$$

де q'_t – ординати гідрографів схилового припливу; f_t – міжізохронні площадки

$$f_t = B_t V_\delta \Delta t; \quad (8.8)$$

де ε_t – функція русло-заплавного зарегулювання паводків (водопіль); V_δ – швидкість переміщення по довжині річок паводкових (повеневих) хвиль; Δt – крок у часі; B_t – ширина водозборів по ізохронах руслового добігання.

За умови $t_p < T_0$

$$Q_m = \left(\sum_{t_p} q'_t f_t \varepsilon_t \right)_m. \quad (8.9)$$

В інтегральному вигляді (8.7) і (8.9) запишуться в редакції:

- при $t_p < T_0$

$$Q_m = V_\delta \int_0^{t_p} q'_t B_t \varepsilon_t dt; \quad (8.10)$$

- при $t_p > T_0$

$$Q_m = V_\delta \int_0^{T_0} q'_t B_t \varepsilon_t dt. \quad (8.11)$$

Функції q'_t і B_t , згідно [2], мають вигляд

$$q'_t = q'_m \left[1 - \left(\frac{t}{T_0} \right)^n \right], \quad (8.12)$$

а

$$B_t = B_m \left[1 - \left(\frac{t}{t_p} \right)^m \right], \quad (8.13)$$

де q'_m – максимальний модуль схилового припливу; B_m – максимальна ширина водозборів по ізохронах руслового добігання.

Щодо функції $\varepsilon(t)$, то вона є невідомою, оскільки спостереження за русло-заплавним регулюванням паводків (водопіль) не проводяться. Тому при інтегруванні (8.10) і (8.11) здійснюється осереднення ε_t по t_p – в (8.10) і по T_0 – в (8.11), тобто:

- при $T_0 > t_p$

$$(Q_m)_{np} = V_d \bar{\varepsilon}_{t_p} \int_0^{t_p} q'_t B_t dt, \quad (8.14)$$

- при $T_0 < t_p$

$$(Q_m)_{np} = V_d \bar{\varepsilon}_{T_0} \int_0^{T_0} q'_t B_t dt. \quad (8.15)$$

З урахуванням (8.12) і (8.13) рівняння (8.14) і (8.15) після їх інтегрування набудуть вигляду:

- при $T_0 > t_p$

$$q_m = q'_m \left[1 - \frac{m+1}{(n+1)(m+n+1)} \left(\frac{t_p}{T_0} \right)^n \right] \varepsilon_F; \quad (8.16)$$

- при $T_0 < t_p$

$$q_m = q'_m \frac{n}{n+1} \frac{T_0}{t_p} \left[\frac{m+1}{m} - \frac{n+1}{m(m+n+1)} \left(\frac{T_0}{t_p} \right)^m \right] \varepsilon_F, \quad (8.17)$$

де $\frac{n+1}{n}$ – коефіцієнт часової нерівномірності схилового припливу;
 ε_F – коефіцієнт русло-заплавного зарегулювання, причому у (8.16)
 $\varepsilon_F = \bar{\varepsilon}_{t_p} \cdot k_\varepsilon$, а у (8.17) – $\varepsilon_F = \bar{\varepsilon}_{T_0} \cdot k_\varepsilon$ (k_ε – є відношення $\frac{Q_m}{(Q_m)_{np}}$).

З введенням позначень для безрозмірних коефіцієнтів $\psi \left(\frac{t_p}{T_0} \right)$ отримаємо

- при $t_p < T_0$

$$\psi \left(\frac{t_p}{T_0} \right) = 1 - \frac{m+1}{(n+1)(m+n+1)} \left(\frac{t_p}{T_0} \right)^n; \quad (8.18)$$

- при $t_p > T_0$

$$\psi \left(\frac{t_p}{T_0} \right) = \frac{n}{n+1} \frac{T_0}{t_p} \left[\frac{m+1}{m} - \frac{n+1}{m(m+n+1)} \left(\frac{T_0}{t_p} \right)^m \right]. \quad (8.19)$$

Очевидно, що верхньою межею для $\psi \left(\frac{t_p}{T_0} \right)$ є одиниця, а нижньою – нуль.

У розрахунковому вигляді узагальнене рівняння для q_m є

$$q_m = q'_m \Psi \left(\frac{t_p}{T_0} \right) \varepsilon_F. \quad (8.20)$$

Максимальний модуль схилового припливу q'_m , виходячи з (8.12), дорівнює

$$q'_m = \frac{n+1}{n} \frac{1}{T_0} Y_m, \quad (8.21)$$

де Y_m – розрахунковий шар стоку за паводок (водопілля).

Структура (8.20) може бути віднесеною до універсальних як з точки зору розміру водозборів, так і генетичного походження паводків (водопіль).

Авторами формула (8.20) рекомендується для розрахунку характеристик максимального стоку дощових паводків і весняних водопіль в басейні р.Великий Куяльник.

8.2 Визначення розрахункових характеристик весняного водопілля

Морфометричні характеристики річок басейну р.Великий Куяльник, по яких визначаються максимальні модулі стоку весняного водопілля, наведені в табл. 8.1. Охоплюють вони 6 водозборів з площами від 2,2 км² (б.Млинова) до 1860 км² – р.Великий Куяльник. Слід також зауважити, що по усіх об'єктах відсутні довжини річок (L) і їх уклони (I). З метою отримання відомостей по довжині й ухилах річок були побудовані регіональні залежності L та I від площі водозборів F . Описуються вони рівняннями:

- по довжині річок (км)

$$L = 2,08(F+1)^{0,52}; \quad r = 0,96; \quad (8.22)$$

- по уклонах річок (%)

$$I = 159 / (F+1)^{0,66}; \quad r = 0,92. \quad (8.23)$$

Як відзначалось раніше, гідрологічна мережа спостережень у південній частині України майже відсутня, що зумовлює суттєві труднощі при встановленні розрахункових характеристик паводків і водопіль.

Пункти спостережень за метеорологічними величинами розміщені в регіоні більш-менш рівномірно і охоплюють практично весь південь України. Ось чому в [3] розрахункова схема весняного водопілля

грунтується на даних про снігозапаси й опади періоду від дати максимуму снігозапасів (S_m) до кінця водопілля. Згідно з [3], середні багаторічні снігозапаси \bar{S}_m по території Причорномор'я коливаються від 21 до 43 мм.

Таблиця 8.1 – Морфометричні характеристики річок і балок басейну Куяльницького лиману

№ п/п	Річка, балка	F , км ²	L , км	I , ‰	f_l , ‰	f_b , ‰
1.	р. Великий Куяльник	1860	(104)	(1,1)	<5,0	<1,0
2.	р. Довбока	69,5	(19,0)	(9,7)	<5,0	<1,0
3.	б. Млинова (Мельнична)	2,20	(3,1)	(94,6)	<5,0	<1,0
4.	б. Баштанна	8,70	(6,4)	(38,1)	<5,0	<1,0
5.	р. Кубанка	136,5	(26,8)	(6,2)	<5,0	<1,0
6.	б. Гільдендорфська	15,0	(8,5)	(26,6)	<5,0	<1,0

Примітка: За відсутності вихідних даних по довжині (L) і уклоні (I) річок в таблиці наведені відповідні характеристики, розраховані за формулами (8.22) і (8.23).

В межиріччі Дністер-Південний Буг розташована область підвищених снігозапасів ($\bar{S} = 40$ мм). Вплив лісу на просторовий розподіл снігозапасів не простежується, тим більше, що його наявність досить обмежена.

У нормативному документі передбачені поправки для малих рівнинних річок (площею $F < 200$ км²) степової зони (у зв'язку з надуванням снігу у яруги і балки) вигляду

$$k' = 0,15(I_b + 1)^{0,80}. \quad (8.24)$$

При $I_b > 70$ ‰ коефіцієнт k' береться на рівні 1,0.

Для досліджуваних водозборів можна для всіх об'єктів вважати $\bar{S}_m = 40$ мм. Коефіцієнт варіації C_v розраховується за формулою [3]

$$C_v = 0,50 + 0,53(\bar{S}_m - 20) \cdot 10^{-2}. \quad (8.25)$$

Співвідношення між коефіцієнтами асиметрії C_s і варіації C_v для часових рядів снігозапасів S_m становить 3,5.

В період сніготанення необхідно, з балансованої точки зору, крім снігозапасів S_m враховувати й опади, які випадають після дати S_m і до кінця водопілля.

В [3] для Причорномор'я обґрунтована формула, за допомогою якої слід обчислювати опади $(\sum X)_{сер}$:

$$(\sum X)_{\text{сеп}} = 5,4 + 8,11g(F + 1). \quad (8.26)$$

Таким чином, надходження води на водозбір в період водопілля для забезпеченості $P=1\%$ буде дорівнювати

$$(P_{S_m})_{1\%} = [\bar{S}_m + (\sum X)_{\text{сеп}}] k_{1\%}, \quad (8.27)$$

де $k_{1\%}$ – модульний коефіцієнт забезпеченістю $P=1\%$.

Величина P_{S_m} характеризує лише загальне надходження води на водозбір. Водовіддача ж багато в чому залежить від втрат вологи на поверхневе затримання і поглинання її ґрунтом. Загальні втрати вологи зручно визначати за допомогою об'ємних коефіцієнтів стоку η , причому

$$\eta = \frac{Y_m}{(S_m + \sum X)}. \quad (8.28)$$

Оскільки у нашій роботі йдеться про водопілля забезпеченістю $P=1\%$, то (8.28) запишеться в редакції

$$\eta_{1\%} = \frac{Y_{1\%}}{(S_m + \sum X)_{1\%}}. \quad (8.29)$$

Для умов Причорноморської низовини $\eta_{1\%}$ представлені у вигляді таблиці (табл. 8.2).

Таблиця 8.2 – Об'ємні коефіцієнти стоку весняного водопілля на території Причорноморської низовини [3]

$F, \text{ км}^2$	0	10	20	50	100	500	1000	2000	5000	10000	20000
$\eta_{1\%}$	0,65	0,46	0,43	0,37	0,33	0,24	0,21	0,20	0,18	0,16	0,14

При використанні у розрахунковому варіанті снігозапасів S_m і опадів періоду водопілля $\sum X$ максимальні модулі схилового припливу $q'_{1\%}$ визначаються за рівнянням

$$q'_{1\%} = 0,28 \frac{n+1}{n} \frac{1}{T_0} (S_m + \sum X)_{1\%} \eta_{1\%}, \quad (8.30)$$

де 0,28 – коефіцієнт розмірності при: $q_{1\%}$, м³/(с·км²); T_0 , год.; S_m і $\sum X$, мм.

В умовах степової зони України коефіцієнт часової нерівномірності $\frac{n+1}{n}$ нормований на рівні 6,0 [3].

Стосовно тривалості схилового припливу T_0 , необхідно зауважити, що безпосередні виміри цієї характеристики відсутні. Але автором [4] запропонована ітераційна обчислювальна схема у структурі базової формули (8.20), за допомогою якої вдається визначити не лише тривалість схилового припливу T_0 , а й коефіцієнти русло-заплавного зарегулювання паводків (водопіль) ε_F . Це досить важливо, оскільки не тільки за складовими гідрографів схилового припливу відсутні безпосередні спостереження, а й за русло-заплавним зарегулюванням паводків (водопіль).

Зокрема, у межах півдня України визначені оберненим шляхом тривалості схилового припливу в період водопілля змінюються від 50 до 150 год. В узагальненому вигляді вони представлені картою ізоліній. Для басейну р.Великий Куяльник розрахункові значення T_0 можна брати на рівні 50 год [4,5].

Коефіцієнт русло-заплавного зарегулювання ε_F описується регіональним рівнянням

$$\varepsilon_F = e^{-0,41 \lg(F+1)}; \quad r = 0,96. \quad (8.31)$$

При обчисленні трансформаційних коефіцієнтів $\psi \left(\frac{t_p}{T_0} \right)$, зумовлених тривалістю руслового добігання, як видно з (8.18) і (8.19), необхідно мати як тривалості руслового добігання t_p , так і степеневий показник m .

Швидкість руслового добігання t_p (год) є відношенням

$$t_p = L / V_d, \quad (8.32)$$

де L – гідрографічна довжина річки, км; V_d – швидкість руслового добігання повеневих (паводкових) хвиль, км/год.

Для річок Причорноморської низовини швидкість руслового добігання V_d дорівнює [3]

$$V_d = 1,30 F^{0,13} I^{0,33}, \quad (8.33)$$

де F – площа водозборів, км²; I – середньозважений уклон річок, ‰.
 Степеневий показник m , відповідно до [6], можна встановити за формулою

$$m = 2,0 - 0,26 \lg(F + 1). \quad (8.34)$$

Для весняного водопілля в басейні р.Великий Куяльник, враховуючи, що $t_p < T_0$, можна (для спрощення) без суттєвих похибок взяти $m = 1,0$.

Розраховані за схемою (8.20) максимальні модулі стоку і витрати води весняного водопілля забезпеченістю $P=1,0$ % в басейні р.Великий Куяльник наведені в табл. 8.3. Максимальні модулі $q_{1\%}$ коливаються від 0,07 м³/(с·км²) (р.Великий Куяльник, $F=1860$ км²) до 1,88 м³/(с·км²) (б.Млинова, $F=2,20$ км²).

8.3 Визначення розрахункових характеристик дощових паводків

Дощові паводки є характерними особливостями гідрологічного режиму річок на Півдні України, в тому числі й у басейні р. Великий Куяльник. Формування дощових паводків пов'язане з випадінням інтенсивних дощів зливогого походження. Опади хоча й охоплюють порівняно невеликі за площею території та є досить нерівномірними як у часі, так й у просторі, але спроможні сформувавши на водозборах паводки навіть катастрофічного характеру. Сильні зливи та злизові дощі з опадами 100 мм і більше можливі щороку в тому чи іншому районі описуваної території.

Для визначення максимальних модулів паводкового стоку в басейні р.Великий Куяльник забезпеченістю $P=1,0$ %, як і для весняних водопіль, використана базова структура операторного типу (8.20)

Модулі схилового припливу $q'_{1\%}$ розраховувались за рівнянням [7]

$$q'_{1\%} = 0,28 \frac{n+1}{n} \frac{1}{T_0} H_{1\%} \eta_0, \quad (8.35)$$

де $q'_{1\%}$ – максимальний модуль схилового припливу забезпеченістю $P=1\%$, м³/(с·км²); T_0 – тривалість схилового припливу, яка дорівнює 2,5 год; $\frac{n+1}{n}$ – коефіцієнт часової нерівномірності схилового припливу, який для регіону півдня України дорівнює 3,5; $H_{1\%}$ – добовий максимум опадів забезпеченістю $P=1$ %; η_0 – коефіцієнт схилового стокоутворення для басейну р.Великий Куяльник.

Таблиця 8.3 – Розрахункові модулі та витрати води весняного водопілля річок і балок в басейні Куяльницького лиману забезпеченістю $P=1\%$ ($n=0,20; m=1,0; T_0=50$ год; $C_v=0,71; C_s/C_v=3,5; k_{1\%}=3,60$)

№ П/ П	Річка, балка	F, км ²	V _д , км/ГО Д	t _p , ГОД	$\frac{t_p}{T_0}$	$\psi\left(\frac{t_p}{T_0}\right)$	($\sum X$) _{сер} ММ	(P _{S_m}) _{1%} ММ	η	(S _m + $\sum X$) _{1%} ММ	q' _{1%} , М ³ /(С·КМ ²)	ε_F	q _{1%} , М ³ / (С·КМ ²)	Q _{1%} , М ³ /С
1.	р. Великий Куяльник	1860	3,57	29,1	0,58	0,20	31,9	259	0,20	51,8	1,76	0,21	0,074	138
2.	р. Довбока	69,5	4,79	4,0	0,08	0,50	20,3	217	0,35	76,0	2,58	0,41	0,53	36,8
3.	б. Млинова (Мельнічна)	2,20	6,48	0,49	0,010	0,67	8,2	174	0,61	106	3,60	0,78	1,88	4,1
4.	б. Баштанна	8,70	5,70	1,2	0,024	0,61	13,0	191	0,49	93,6	3,18	0,62	1,20	10,4
5.	р. Кубанка	136,5	4,49	6,0	0,12	0,46	22,7	226	0,23	52,0	1,77	0,36	0,29	39,6
6.	б. Гільден- дорфська	15,0	5,45	1,56	0,031	0,59	14,9	198	0,44	87,1	2,96	0,56	0,98	14,7

Шари добових опадів $H_{1\%}$ на основі використання методу сумісного аналізу для півдня України визначені на рівні 100 мм [7].

Коефіцієнт схилового стокоутворення η_0 є відношенням

$$\eta_0 = \frac{(Y_m)_{F=0}}{H_m}, \quad (8.36)$$

де $(Y_m)_{F=0}$ – шар схилового стокоутворення F (на регіональному рівні він становить 0,40); 0,28 – коефіцієнт розмірності при $q_{1\%}$ – $\text{м}^3/(\text{с}\cdot\text{км}^2)$, $H_{1\%}$ – мм.

Максимальний модуль схилового припливу $q_{1\%}$ забезпеченістю $P=1\%$ дорівнює (табл. 8.3)

$$q_{1\%} = \frac{0,28 \cdot 3,5 \cdot 100 \cdot 0,40}{2,5} = 15,7, \text{ м}^3/(\text{с}\cdot\text{км}^2) \quad (8.37)$$

Коефіцієнт розпластування паводкових хвиль $\psi \left(\frac{t_p}{T_0} \right)$ розраховується за рівняннями (8.18) чи (8.19) в залежності від співвідношення між тривалостями схилового припливу T_0 і руслового добігання t_p , причому

$$t_p = \frac{L}{V_d}, \quad (8.38)$$

де L – гідрографічна довжина річки, км; V_d – швидкість руслового добігання паводкових хвиль (км/год), яка визначається за формулою (8.33)

Русло-заплавне зарегулювання максимальних модулів стоку дощових паводків в басейні р.Великий Куяльник враховується збірним коефіцієнтом ε_F . Він фактично, крім русло-заплавного зарегулювання, враховує і просторову неоднорідність дощових опадів. За даними [8], коефіцієнт ε_F визначається в залежності від розмірів водозборів річок (табл. 8.4).

Таблиця 8.4. Коефіцієнти русло-заплавного зарегулювання максимальних модулів стоку дощових паводків ε_F на території Півдня України

F , км ²	0	10	100	500	1000	5000	10000 і більше
ε_F	1,0	0,46	0,15	0,091	0,082	0,079	0,078

Результати розрахунку максимальних модулів стоку дощових паводків і витрат води забезпеченістю $P=1\%$ приведені в табл. 8.5

Таблиця 8.5. Розрахункові модулі та витрати води дощових паводків річок і балок в басейні Куяльницького лиману
 ($n = 0,40$; $T_0 = 2,5$ год; $H_{1\%} = 100$ мм; $q'_{1\%} = 15,7$ м³/(с·км²)

№ п/ п	Річка, балка	F, км ²	V _д , км/ГОД	t _p , ГОД	$\frac{T_0}{t_p}$	m	$\frac{m+1}{m}$	$\frac{T_0}{t_p}$	$\psi\left(\frac{t_p}{T_0}\right)$	ε_F	$(q_{1\%})_{розр}$, м ³ /(с·км ²)	$(Q_{1\%})_{розр}$, м ³ /с	$\frac{(Q_{1\%})_{водоп}}{(Q_{1\%})_{навод}}$
1.	р. Великий Куяльник	1860	3,57	29,2	11,7	1,15	2,17	0,086	0,054	0,081	0,069	128	1,08
2.	р. Довбока	69,5	4,79	4,0	1,6	1,52	1,66	0,625	0,27	0,222	0,93	64,8	0,57
3.	б. Млинова (Мельнічна)	2,20	6,48	0,48	0,19	1,87	-	5,2	0,71	0,388	9,8	21,6	0,19
4.	б. Баштанна	8,70	5,70	1,12	0,45	1,74	-	2,2	0,33	0,53	2,75	23,9	0,44
5.	р. Кубанка	136,5	4,49	6,0	2,4	1,44	1,65	0,42	0,19	0,26	0,78	106	0,37
6.	б. Гільдендорфська	15,0	5,45	1,56	0,62	1,69	-	1,60	0,44	0,46	3,18	47,7	0,31

З цієї таблиці видно, що максимальні (одновідсоткові) модулі дощових паводків у межах басейну р.Великий Куяльник змінюються, залежно від розмірів водозборів, від $0,069 \text{ м}^3/(\text{с}\cdot\text{км}^2)$ (р.Великий Куяльник – гирло, $F=1860 \text{ км}^2$) до $9,8 \text{ м}^3/(\text{с}\cdot\text{км}^2)$ (балка Млинова, $F = 2,20 \text{ км}^2$). У табл. 8.5 наводиться також відношення максимальних витрат води весняного водопілля $(Q_{1\%})_{\text{водоп}}$ і дощових паводків $(Q_{1\%})_{\text{павод}}$ забезпеченістю $P=1 \%$ при використанні одного й того ж самого переліку гідрологічних об'єктів. Привертає увагу те, що на водозборах з розмірами від 638 км^2 і до 1860 км^2 розрахунковими є характеристики весняного водопілля, а починаючи з $F = 69,5 \text{ км}^2$ (Довбока), дощові паводки забезпеченістю $P=1 \%$ суттєво перевищують відповідні їм максимальні витрати води весняного водопілля. Зокрема, для балки Млинова ($F = 2,20 \text{ км}^2$) таке перевищення є майже п'ятикратним.

8.4 Про можливі зміни величин максимальних витрат води паводків і водопіль під впливом змін клімату (за сценарієм глобального потепління)

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

Слід зауважити, що методики, які використовуються для розрахунку стоку річок як в нашій країні, так і за її межами, ґрунтуються на припущеннях стаціонарності формування річного стоку. Але спеціалістами доводиться, що на сучасному етапі вже спостерігається статистична нестаціонарність гідрометеорологічних процесів, яка пояснюється потеплінням клімату. В Росії, спираючись на нормативний документ СП 33-101-2003, пропонуються відповідні розрахункові характеристики стоку редагувати за допомогою так званих «кліматичних поправок». Саме таку методику ми вважаємо на сучасному етапі найбільш ефективною. Але реалізувати цей методичний підхід можливо лише в рамках тих теоретичних і модельних схем, які ґрунтуються на використанні кліматозалежних параметрів. Оскільки результуючими характеристиками більшості моделей глобальних змін клімату є температури повітря і кількість опадів, то необхідно, щоб і моделі гідрологічних процесів були сприятливими до них. На наш погляд, в достатній мірі таким вимогам відповідає методика розрахунку характеристик максимального стоку паводків і водопіль в редакції (8.20). Базовим параметром в ній є

максимальний модуль схилового припливу q'_m , який описується рівнянням (8.30) – для весняного водопілля і (8.35) – для дощових паводків.

Зміни річних опадів і температур повітря у майбутньому визначались за моделлю REMO (сценарій A1B) на період 2021-2050 рр.

Зокрема, для басейну Куяльницького лиману передбачається, що річні опади будуть зменшуватися на величину від 9 до 43 мм (у напрямку до узбережжя Чорного моря), тобто будуть у прогнозованому періоді варіювати від 421 до 498 мм (за сучасної норми по м/ст. «Одеса-ГМО» – 464мм, «Затишшя»- 507мм). Щодо річної температури повітря, то вона буде зростати на 3,0-3,5 °С по відношенню до норми, яка взята як середня по даних м./ст. «Одеса-ГМО» і «Затишшя» на рівні 9,2 °С (у тому числі по «Одеса-ГМО» – 9,8 °С, а по «Затишшю» – 8,6 °С). Таким чином, на прогнозований період (2021-2050 рр.) середня річна температура повітря в районі лиману буде коливатись від 11,6 до 13,3 °С.

З метою обґрунтування методично-розрахункової бази для оцінки можливих змін характеристик максимального стоку весняного водопілля і паводків на майбутнє на кафедрі гідрології суші ОДЕКУ були побудовані залежності щорічних максимальних снігозапасів перед початком водопілля, опадів за цей період(III–V місяці) та коефіцієнтів стоку весняного водопілля від річних опадів і температур повітря, які описуються лінійними рівняннями [7]:

$$S_m = 0.204 \cdot \bar{X} - 68.31; r = 0,88, \quad (8.39)$$

$$X(III - V) = 0,220 \cdot \bar{X}; r = 0,82 \quad (8.40)$$

та

$$S_m = 147,8 - 12,91 \cdot \bar{t}^\circ; r = 0,90, \quad (8.41)$$

$$X(III - V) = 189,9 - 8,47 \cdot \bar{t}^\circ; r = 0,73. \quad (8.42)$$

$$\eta = 1 - 0,102(\bar{t} - 4); r = 0,90, \quad (8.43)$$

де \bar{X} та \bar{t} - середньорічні значення опадів та температури повітря.

Високі коефіцієнти кореляції дозволяють використовувати ці рівняння для прогнозування величин S_m і x на період 2021-2050 рр.

Аналогічні залежності були побудовані й для добових максимумів опадів H :

$$H_{1\%} = 0,049 \cdot \bar{X}_{pic} + 60,4; r = 0,17, \quad (8.44)$$

$$H_{1\%} = 0,86 \cdot t^\circ + 80,5; r = 0,050. \quad (8.45)$$

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

У подальшому при моделюванні можливого впливу глобальних коливань клімату на характеристики весняного водопілля використаний комбінований варіант розрахунку - прогнозовані величини максимальних снігозапасів та опадів за період водопілля визначались з урахуванням їх зв'язку із середньорічними опадами, рівняння (8.39)-(8.40), а можливі зміни у величинах коефіцієнтів стоку - з урахуванням їх зв'язку з температурою повітря, рівняння (8.43).

Проте реалізація й цієї моделі потребує деяких попередніх визначень. Зокрема, необхідно методично здійснити перехід від $X(III - V)$ до \bar{x} у формулі (8.40). З цією метою на сучасних матеріалах спостережень були визначені перехідні коефіцієнти k_s (табл. 8.6)

$$k_s = \frac{\bar{x}}{[\bar{x}(III - V)]}. \quad (8.46)$$

Якщо вважати, що в сценарних варіантах тривалість схилового припливу T_0 зберігається незмінною по відношенню до базових величин, то тоді досить просто можна встановити коефіцієнти змін витрат води весняного водопілля

Таблиця 8.6 – Вихідні дані по весняному водопіллю в басейні Куяльницького лиману (при $\bar{x}_{річ} = 507$ мм, $\bar{t}_{річ} = 8.9^{\circ}\text{C}$, м/ст. «Затишшя»)

№ п/п	Річка	F , км ²	\bar{S}_m , мм	\bar{x} , мм	$(\bar{S}_m + \bar{x})$, мм	η	Забезпеченість витрати води, P , %				k_s
							1,0	3,0	5,0	10,0	
1	В. Куяльник	1860	30,0	29,5	59,5	0,20	188	145	124	99,6	0,295
2	Кубанка	129	30,0	20,8	50,8	0,30	41,9	32,2	27,5	22,2	0,208
3	Довбока	68,3	30,0	18,8	48,8	0,32	28,7	22,0	18,9	15,2	0,188

$$k_{зм} = \frac{((\bar{S}_m + \bar{x}) \cdot \eta)_{\text{прогн.}}}{((\bar{S}_m + \bar{x}) \cdot \eta)_{\text{сучасн.}}} \quad (8.47)$$

В табл. 8.7 наведені розрахункові складові $(\bar{S}_m + \bar{x})$, по яких саме й виконувалась оцінка впливу глобальних змін клімату.

Таблиця 8.7 – Характеристики весняного водопілля в басейні Куяльницького лиману в період 2021-2050 рр. (при $\bar{x}_{річ} = 498$ мм, $\bar{t}_{річ} = 11.6$ м/ст. «Затишшя»)

№ п/п	Річка	F , км ²	\bar{S}_m , мм	$\bar{X}(III-V)$, мм	\bar{x} , мм	$(\bar{S}_m + \bar{x})$, мм	η	$k_{зм}$
1	В. Куяльник	1860	33,3	110	32,4	65,70	0,22	1,21
2	Кубанка	129	33,3	110	22,9	56,20	0,22	0,81
3	Довбока	68,3	33,3	110	20,7	54,00	0,22	0,76

Як видно з табл. 8.7, у двох випадках $k_{зм} < 1,0$, а для одного - $k_{зм} > 1,0$ що свідчить про те, що у прогнозованому періоді (2021-2050 рр.) при опадах $\bar{x}_{річ} = 498$ мм та $\bar{t}_{річ} = 11.6$ можливі зміни $Q_{1\%}$, як в бік зменшення, так й збільшення в середньому на 20% по басейну Куяльницького лиману. У південній частині водозбору Куяльницького лиману, де температури повітря вищі, ніж у північній, будуть спостерігатися зміни у бік суттєвого зменшення максимального стоку (до 80%).

РОЗДІЛ 9
ОЦІНКА РІВНІВ І МІНЕРАЛІЗАЦІЇ ВОДИ
КУЯЛЬНИЦЬКОГО ЛИМАНУ ПРИ РІЗНИХ ВАРІАНТАХ
НАДХОДЖЕННЯ МОРСЬКОЇ ВОДИ З ОДЕСЬКОЇ ЗАТОКИ

В цьому 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 2015 рр.

Виконане імітаційне моделювання водно-сольового балансу лиману за період з грудня 1992 р. по листопад 2015 р., в ході якого розглядалися різні варіанти подачі морської води трубопроводом «море-лиман» у гідрометеорологічних умовах і водогосподарською діяльністю на басейні лиману, які фактично мали місце в цей період. Головною метою розрахунків була оцінка мінливості рівнів і мінералізації води та кількості солей в Куяльницькому лимані за різних граничних умов функціонування трубопроводу «море-лиман» для розробки науково-обґрунтованих рекомендацій щодо розробки оптимального режиму експлуатації цієї гідротехнічної споруди. Результати розрахунків також дозволили оцінити можливості управління мінливістю показників водно-сольового режиму лиману в умовах поповнення його об'єму морською водою трубопроводом «море-лиман». Слід зазначити, що ці розрахунки не включали до себе оцінки відновленого природного стоку річок і балок, оскільки цей напрям збереження водних ресурсів має більш детально вивчатись.

9.1 Математична структура моделі водно-сольового балансу лиману

Рівняння водно-сольового балансу Куяльницького лиману можна записати таким чином [1]:

– водного балансу:

$$W_{K,j} = W_{K,j-1} + (W_{P,j} + W_{r,j} + W_{m,j} - W_{E,j}) \Delta t; \quad (9.1)$$

– балансу маси солей:

$$C_{K,j} = C_{K,j-1} + (W_{P,j}S_{P,j} + W_{r,j}S_{r,j} + W_{m,j}S_{m,j}) \Delta t \quad (9.2)$$

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-лиман» 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-лиман» 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. 9.1 та 9.2), 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

$$S_{K,j} = \frac{C_{K,j}}{W_{K,j}}. \quad (9.3)$$

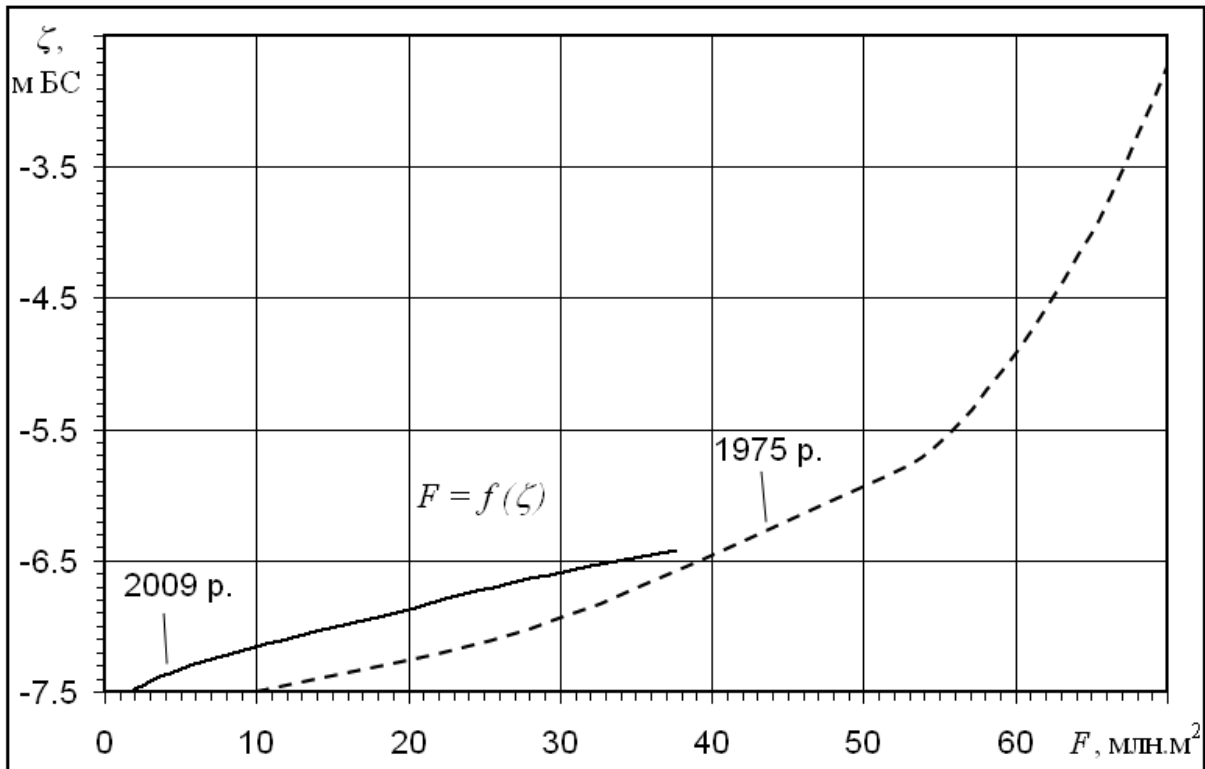


Рис. 9.1 – Криві площ водної поверхні $F = f(\zeta)$ Куяльницького лиману [1]

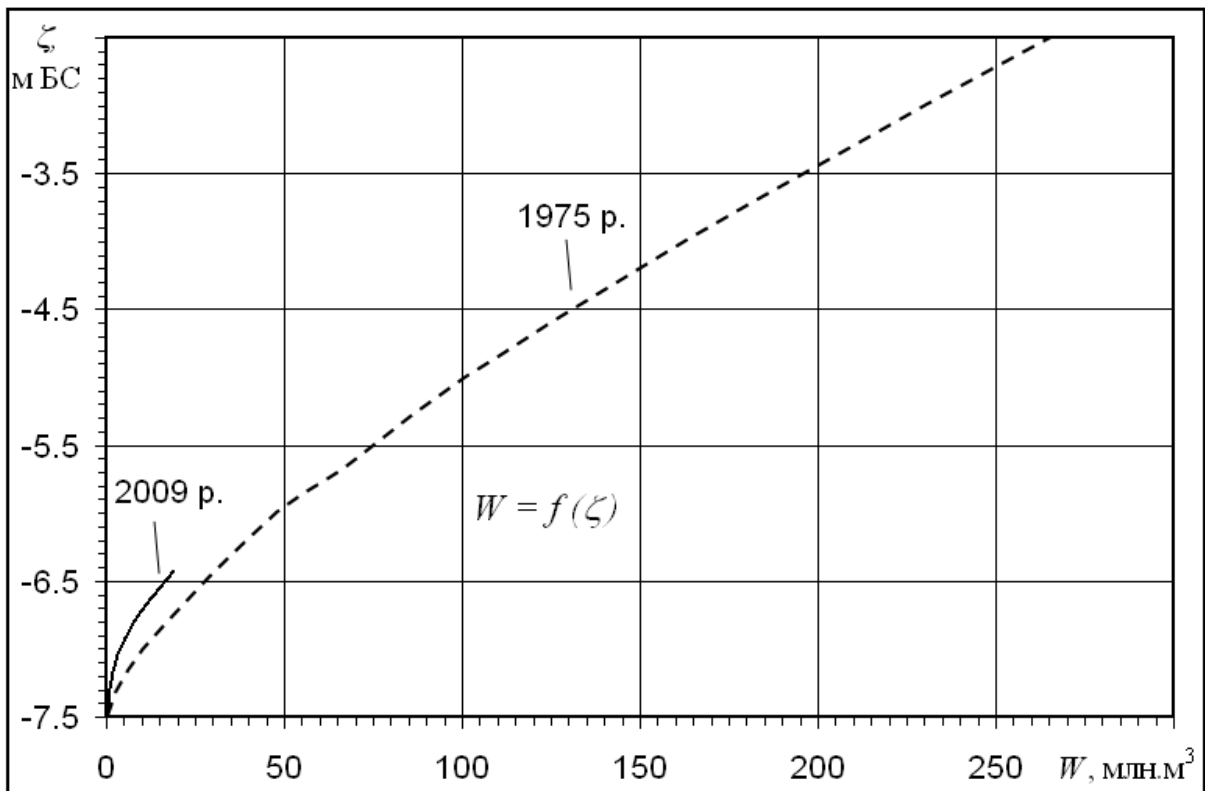


Рис. 9.2 – Криві об'ємів води $W = f(\zeta)$ Куяльницького лиману [1]

У приходній частині рівнянь моделі водно-сольового балансу Куяльницького лиману (9.1) та (9.2), 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 десятки та соті частки відсотків або, інколи, 1-2% його приходної частини [1-6]. 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 [7], 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».*

9.2 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

$$W_{P,j} = P_j F_{j-1}, \quad (9.4)$$

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) [8, 9] (рис. 9.3). 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) [10-12], з використанням емпіричних рівнянь, які описують зв'язки між $P_{K,j}$ та $P_{O,j}$ (табл. 9.1).

Мінералізація атмосферних опадів в районі Куяльницького лиману $S_{P,j}$ (г/дм³) за довідниковою літературою становить 0,020-0,044 г/дм³ [13], а в середньому дорівнює 0,035 г/дм³ [14].

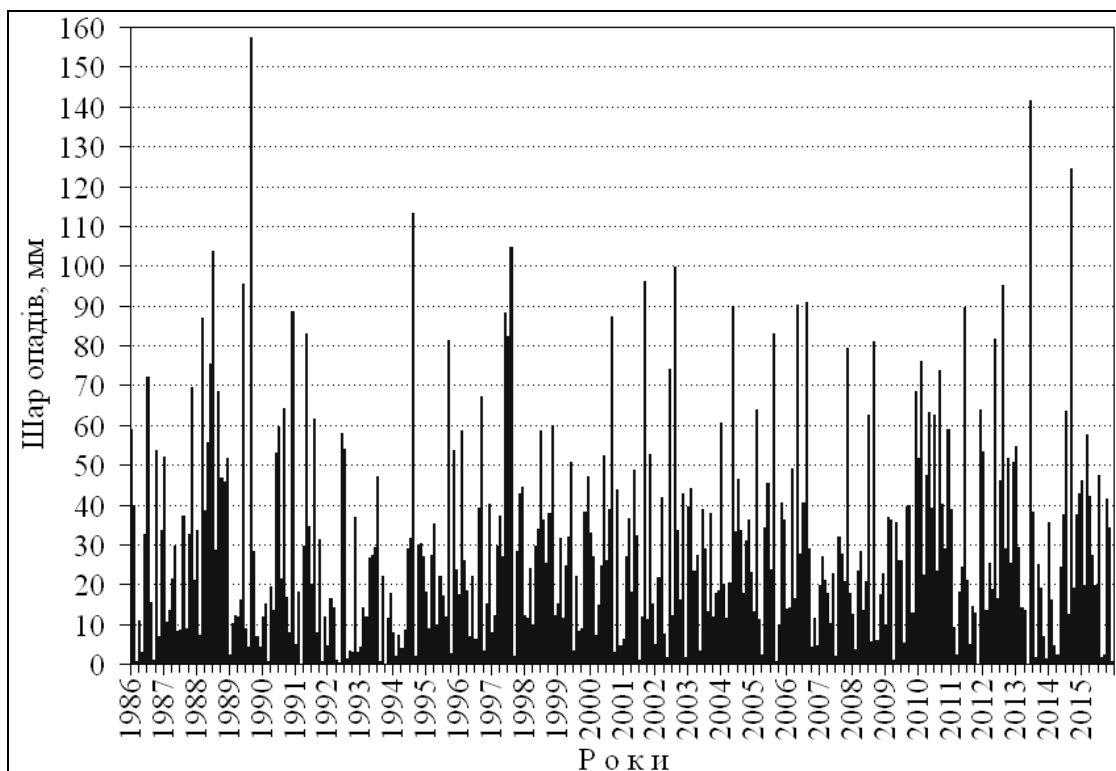


Рис. 9.3 – Мінливість щомісячних шарів атмосферних опадів $P_{K,j}$ (мм) на метеорологічному посту «Одеса-Куяльник» за період з 01.1986 р. по 12.2015 р.

Таблиця 9.1 – 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

Однак, за даними ОДЕКУ, визначеними в результаті вимірювань у період з 2013 по 2015 рр. [1, 15, 16], 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. 9.4).

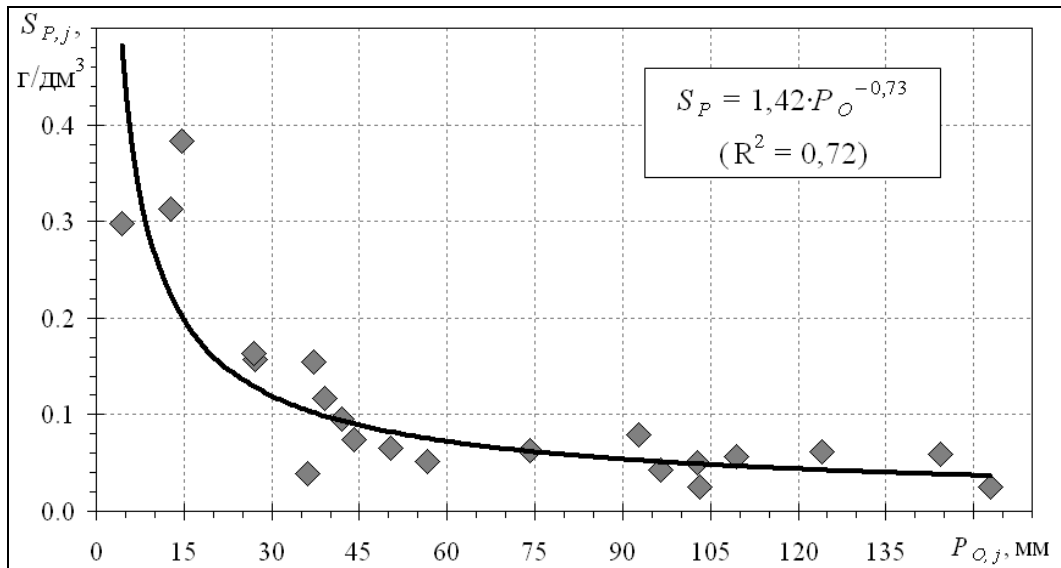


Рис. 9.4 – Зв’язок середньомісячних значень мінералізації атмосферних опадів ($S_{P,j}$, мг/дм³) зі щомісячними сумами опадів ($P_{O,j}$, мм) в районі м. Одеси за період з 2013 по 2015 рр. ($P_{O,j}$ – дані метеостанції «Одеса-Обсерваторія»[11]; $S_{P,j}$ – дані ОДЕКУ [1, 15, 16]; R^2 – детермінант кореляції)

9.3 Визначення об’єму та мінералізації припливних вод до лиману

Об’єм припливу вод $W_{r,j}$ (поверхневих, схилових, підземних), млн. м³, з водозбірною басейну до Куяльницького лиману за розрахунковий період визначався за формулою

$$W_{r,j} = W_{p.B.K.,j} + W_{p.D.,j} + W_{p.K.,j} + W_{б.Г.,j} + W_{б.К.,j} + W_{c.l.BHC5,j} + W_{c.l.c.n.,j}, \quad (9.5)$$

де $W_{p.B.K.,j}$, $W_{p.D.,j}$, $W_{p.K.,j}$, $W_{б.Г.,j}$, $W_{б.К.,j}$, $W_{c.l.BHC5,j}$, $W_{c.l.c.n.,j}$ – 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.

При наявності даних про середньомісячні витрати води водотоків, що впадають в лиман, як, наприклад, для р. В. Куяльник (рис. 9.5) [17], об’єми припливу вод, що надійшли за місяць до лиману з водозбірною басейну річки або балки, $W_{r,j,i}$, млн. м³, розраховувалися за формулою

$$W_{r,j,i} = 86400n_j Q_{r,j,i} 10^{-6}, \quad (9.6)$$

де $Q_{r,j,i}$ – середня за j -й місяць витрата води i -го водотоку, $\text{м}^3/\text{с}$; n_j – кількість днів в j -му місяці року; 86400 – кількість секунд в одній добі, с; 10^{-6} – перехідний коефіцієнт з м^3 до млн. м^3 .

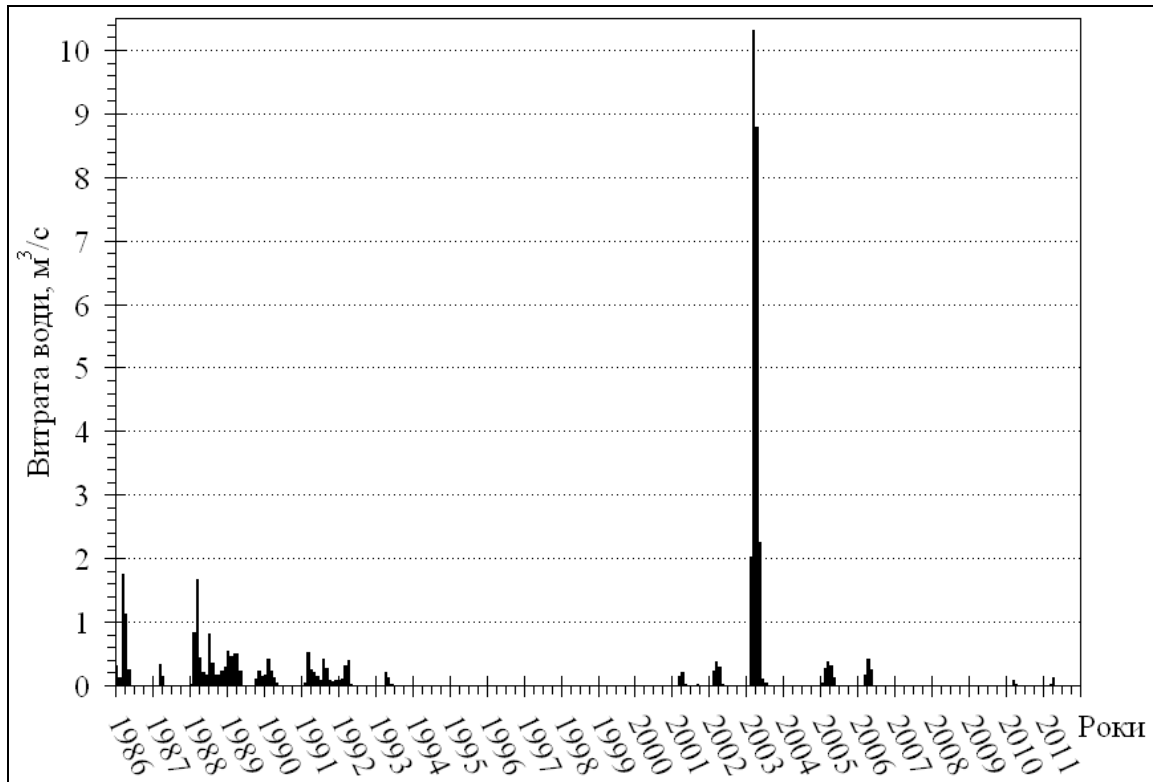


Рис. 9.5 – Мінливість середньомісячних витрат води в гирлі р. В. Куяльник (с. Северинівка) $Q_{p.B.K.,j}$ ($\text{м}^3/\text{с}$) за період 01.1986-12.2011 рр.

Об’єми стоку з інших водотоків (річок, балок і скидних лотків) бралися за даними натурних вимірювань, як, наприклад, для 2015 р. (рис. 9.6), 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 [1, 18, 19].

Мінералізація води річок Довбока, Кубанка, балок Гільдендорфська, Корсунцівська, скидних лотків ВНС № 5 та ставків пересипу визначались за даними вимірювань ОДЕКУ [1] (табл. 9.2).

Мінералізація води р. Великий Куяльник визначалась за даними гідрохімічних спостережень [20, 21]. 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. 9.3).

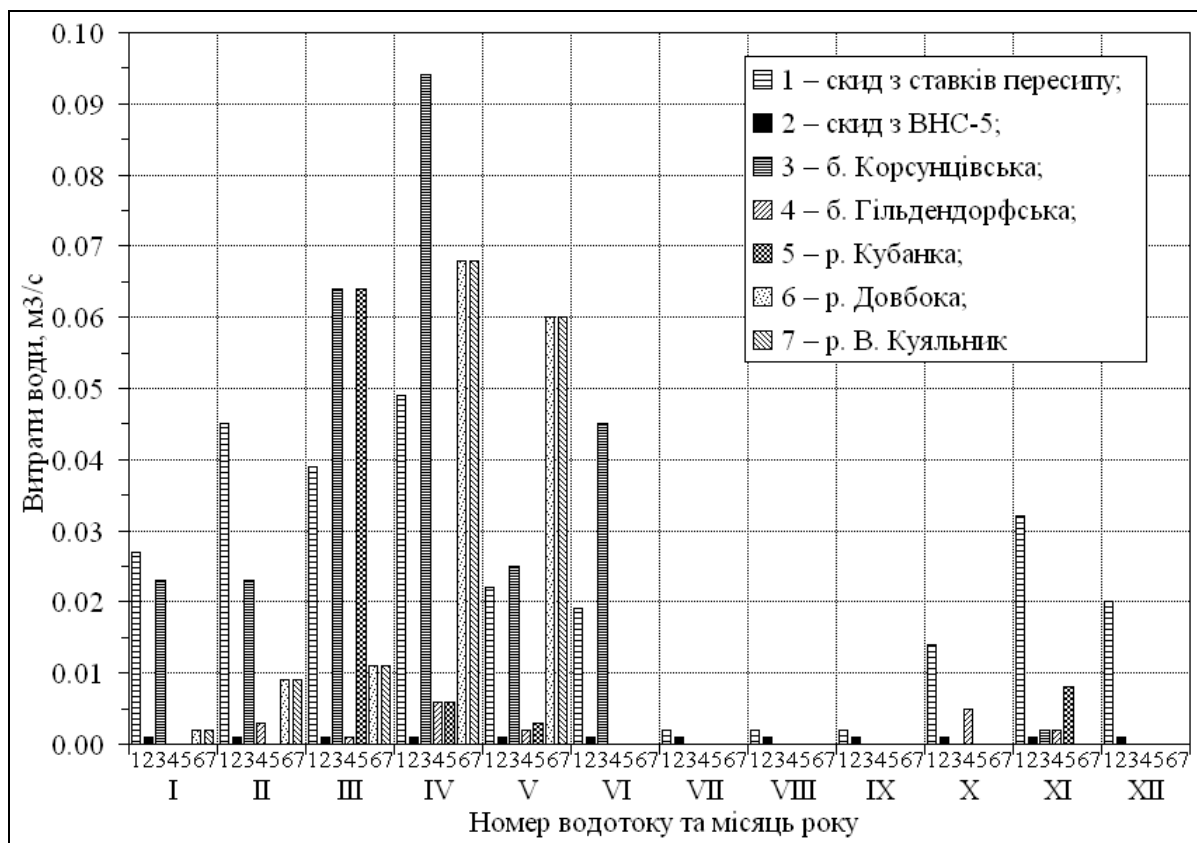


Рис. 9.6 – Мінливість середньомісячних витрат води ($\text{м}^3/\text{с}$) в гирлах приток Куяльницького лиману за період з січня по грудень 2015 р.

Таблиця 9.2 – Середньомісячні значення мінералізації води ($\text{мг}/\text{дм}^3$) в гирлах приток Куяльницького лиману (без р. В. Куяльник) за період з січня по грудень 2015 р.

Річка, балка, скидний лоток	Мінералізація води, $\text{г}/\text{дм}^3$
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

Таблиця 9.3 – 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		

9.4 Визначення випаровування з водної поверхні лиману

Об'єми випаровування з водної поверхні Куяльницького лиману $W_{E,j,i}$ розраховувалися таким чином:

$$W_{E,j} = E_{S,j} F_{j-1}, \quad (9.6)$$

$$E_{S,j} = k_{S,j} E_j, \quad (9.7)$$

$$k_{S,j} = 1 - 0,002 S_{j-1}, \quad (9.8)$$

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 [2, 4, 6, 22].

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

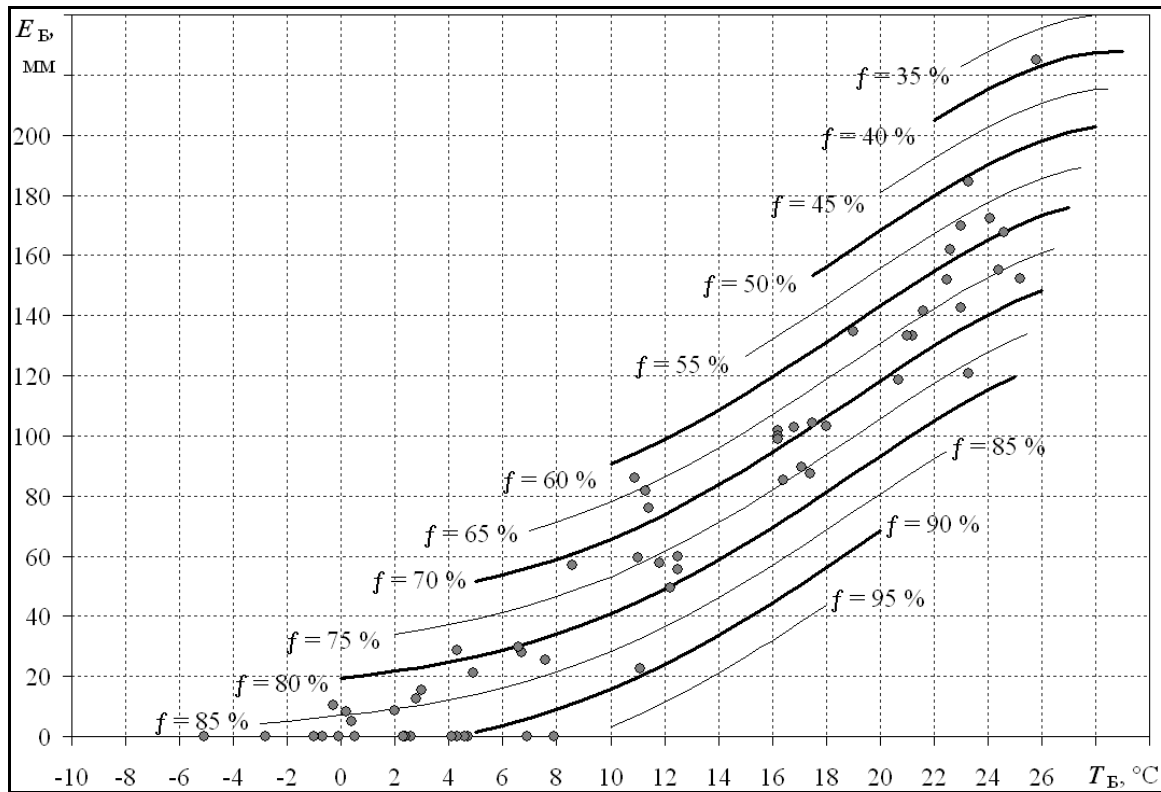


Рис. 9.7 – Зв'язок шарів випаровування з водної поверхні за місяць E_B , мм, з середньомісячними температурами повітря T_B , °С, та значеннями відносної вологості повітря f_B , % (підписи біля ліній), за даними метеостанції «Болград» [12, 22]

середньомісячної температури та відносної вологості повітря (рис. 9.7). Подібні зв'язки були встановлені ще у 1948 р. М.М. Івановим [23, 24].

В 1968 р. О.Р. Константиновим [25] 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. 9.7 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. 9.4).

Таблиця 9.4 – Рівняння зв'язків між середньомісячними температурами повітря ($^{\circ}\text{C}$) 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

9.5 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. м^3 , за розрахунковий місяць (j) визначались за формулою

$$W_{m,j} = 86400 N_j Q_{m,j} 10^{-6}, \quad (9.9)$$

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, $\text{м}^3/\text{с}$;
 86400 – кількість секунд в одній добі, с; 10^{-6} – коефіцієнт розмірності, який переводить розраховані дані з м^3 в млн. м^3 .

Середні за місяць витрати води в трубопроводі «море-лиман» $Q_{m,j}$ приймалися згідно [26] рівними $1,00 \text{ м}^3/\text{с}$, а при калібруванні моделі водно-сольового балансу лиману в 2015 р. – за даними вимірювань (табл. 9.5) [1].

Середньомісячні значення мінералізації морських вод, що надходили до Куяльницького лиману у період 12.2014-11.2015 рр., бралися за даними вимірювань ОДЕКУ (табл. 9.6). Для імітаційного моделювання рівнів і мінералізації води Куяльницького лиману в умовах поповнення водою морськими водами з Одеської затоки за період з 12.1992 р. по 11.2015 р., взяті середньомісячні та середні багаторічні значення мінералізації морської води $S_{m,j}$, визначені за даними поста «Порт-Одеса» (рис. 9.8).

Таблиця 9.5 – Об’єми припливу морських вод до Куяльницького лиману за період 12.2014-11.2015 рр. (дані ОДЕКУ) [1]

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 9.6 – Мінералізація припливних морських вод, що надходили до Куяльницького лиману за період 12.2014-11.2015 рр. (дані ОДЕКУ) [1]

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	–	–

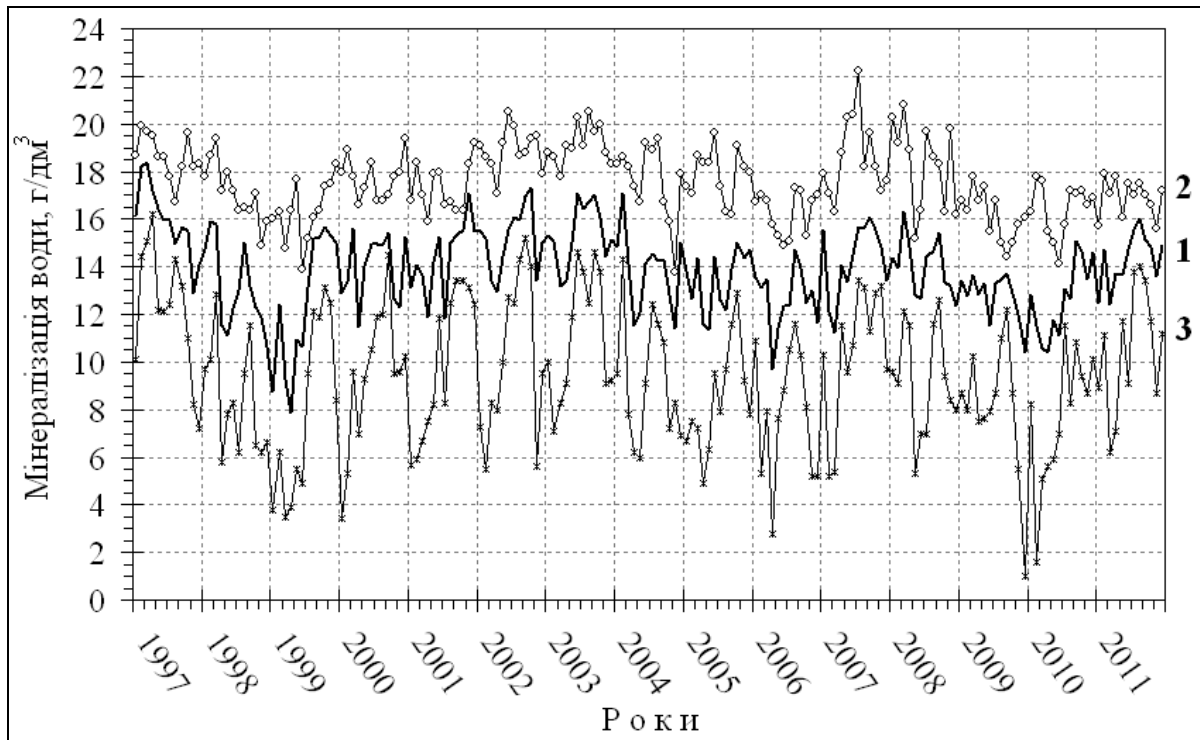


Рис. 9.8 – Мінливість середньомісячних (1), максимальних (2) і мінімальних (3) значень мінералізації води Одеської затоки Чорного моря, визначених за даними гідрологічного поста «Порт-Одеса» [1], за період з 01.1997 р. по 12.2011 р.

9.6 Калібрування та верифікації моделі водно-сольового балансу лиману з використанням архівних даних

В роботі [1] виконано адаптацію та верифікацію розроблених моделей водного (9.1) та сольового (9.2) 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. 9.9-9.10); 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. 9.11-9.13).

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 [9], видання Державного водного кадастру [17] та наукові праці ОДЕКУ [1-7, 18, 19, 27].

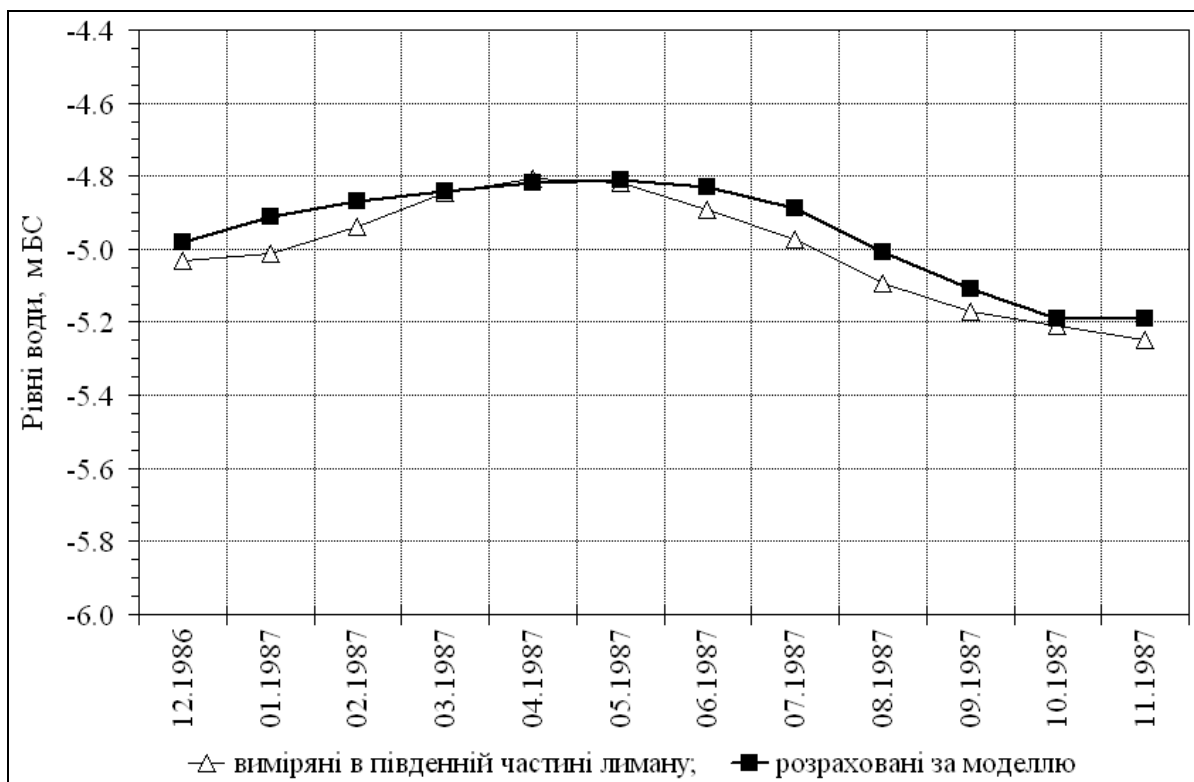


Рис. 9.9 – Мінливість середньомісячних рівнів води Куяльницького лиману (м BC) за період 12.1986-11.1987 рр.

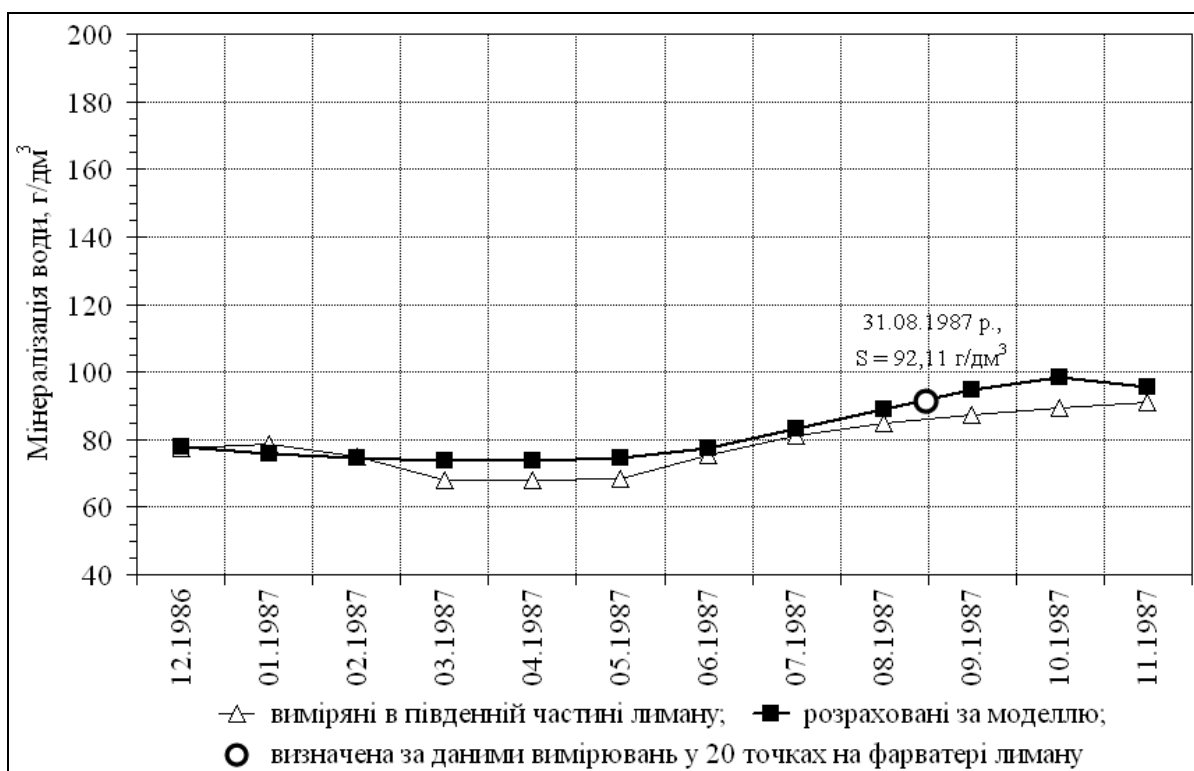


Рис. 9.10 – Мінливість середньомісячних значень мінералізації води (г/дм³) Куяльницького лиману за період 12.1986-11.1987 рр.

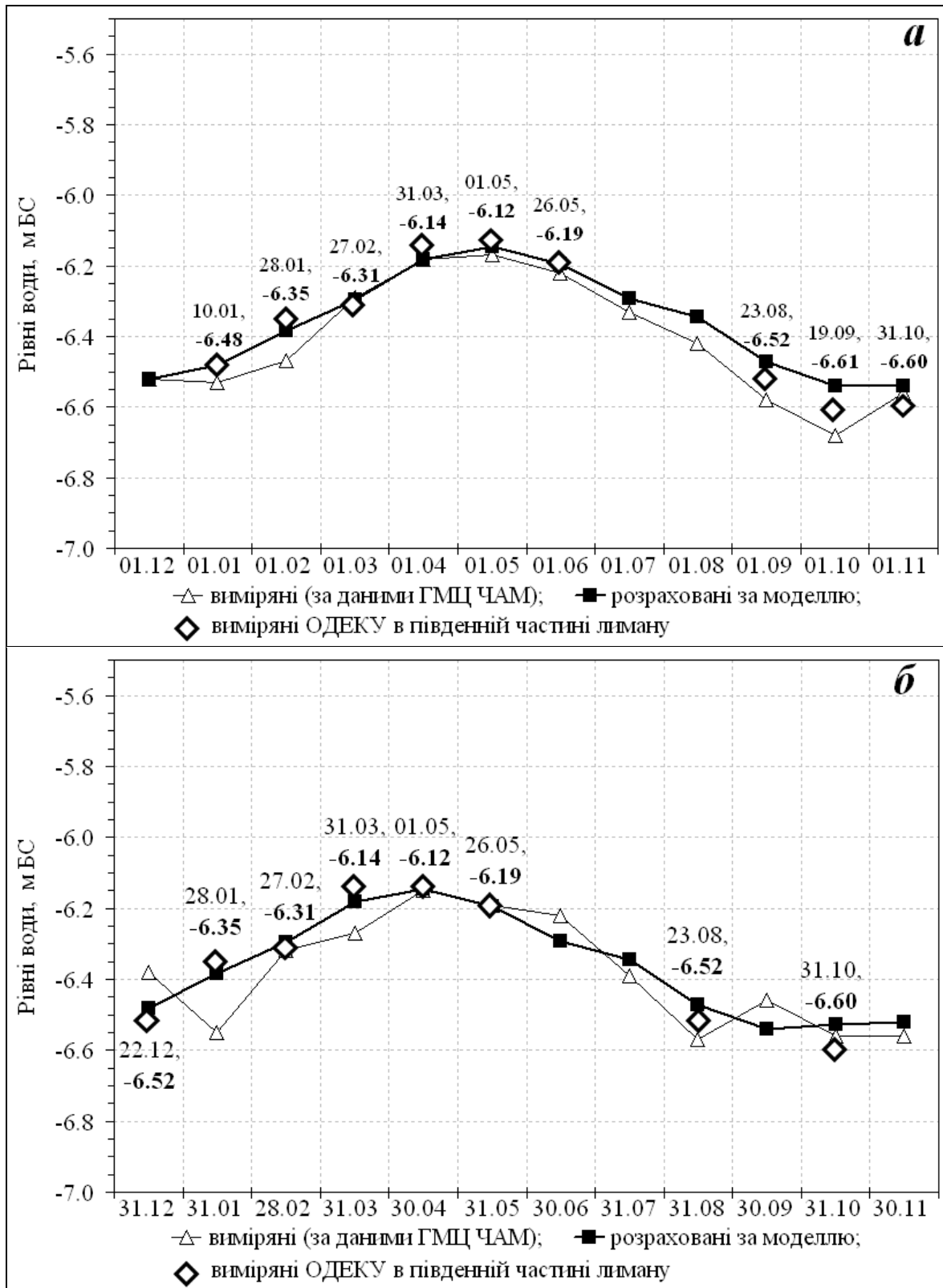


Рис. 9.11 – Мінливність виміряних і розрахованих рівнів води Куяльницького лиману (м БС) на початку (а) та наприкінці (б) місяця за період 12.2014-11.2015 рр. (цифри над/під ромбами – дати вимірювань рівнів води та їх фактичні значення за даними ОДЕКУ)

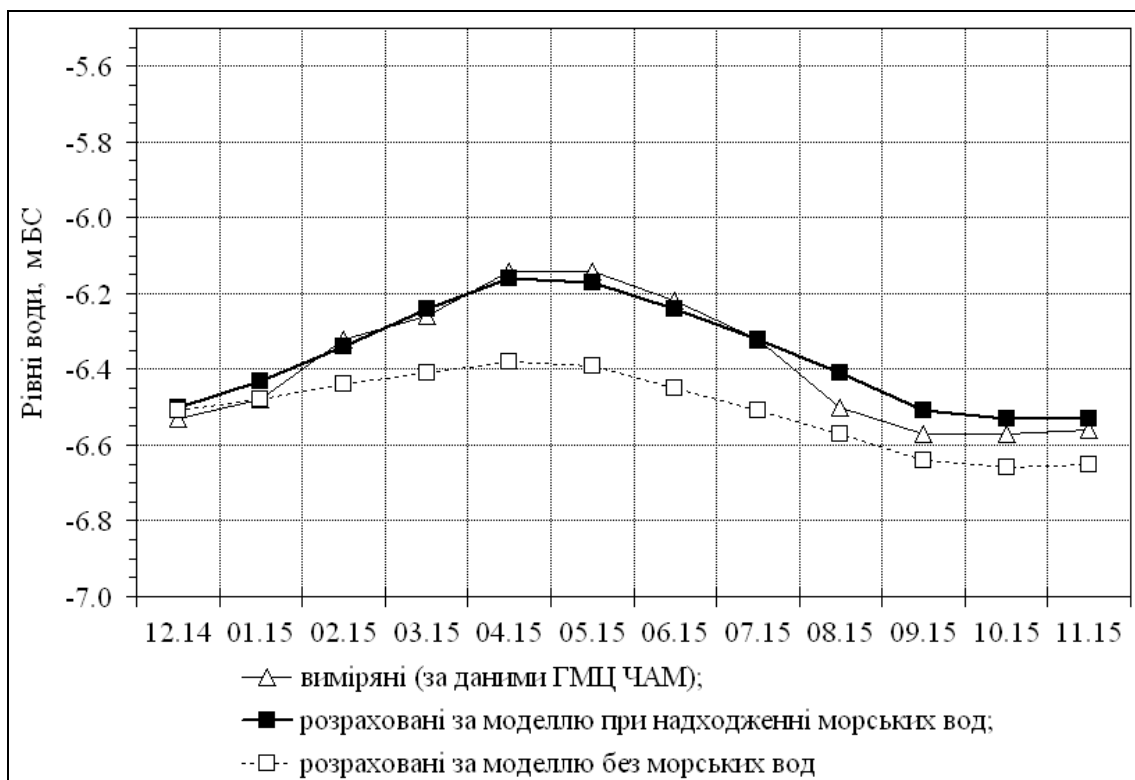


Рис. 9.12 – Мінливість середньомісячних рівнів води Куяльницького лиману (м БС) за період 12.2014-11.2015 рр.

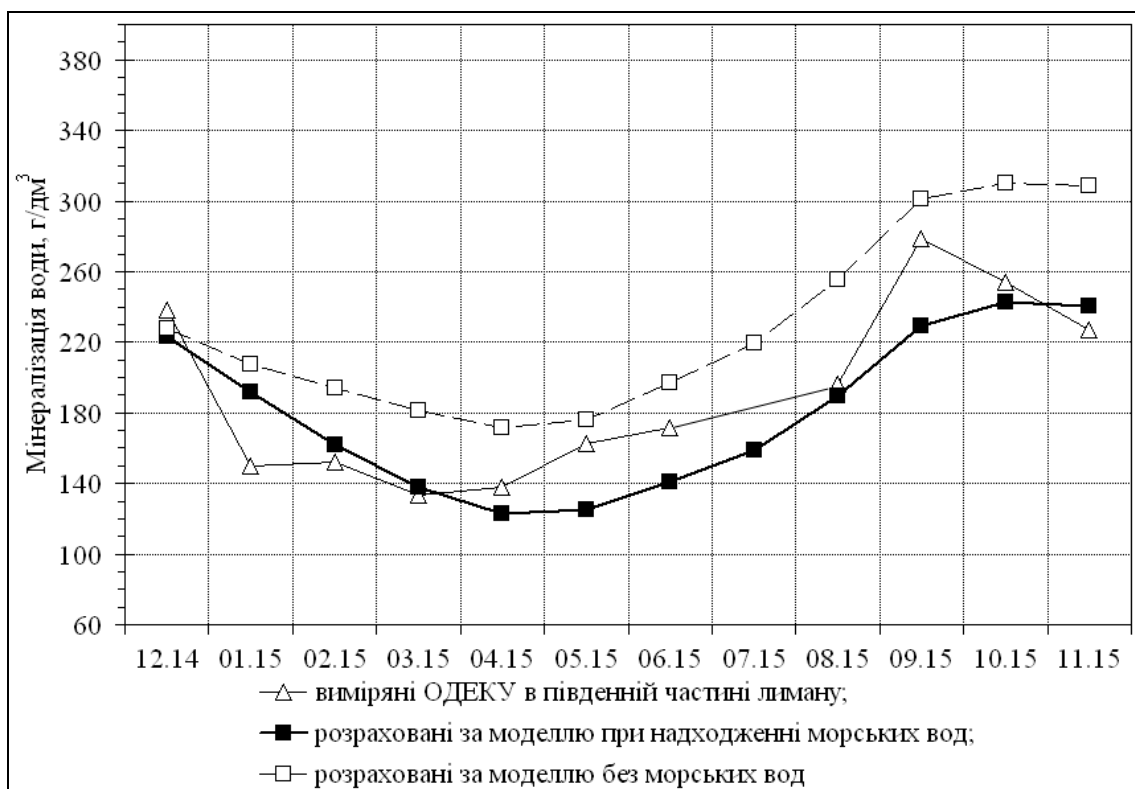


Рис. 9.13 – Мінливість середньомісячних значень мінералізації води (г/дм³) Куяльницького лиману за період 12.2014-11.2015 рр.

Порівняння розрахункових (за моделлю водно-сольового балансу) та фактичних (за даними вимірювань) значень рівнів і мінералізації води, виконаних для умов, коли надходження морських вод було відсутнє (рис. 9.9-9.10) та коли трубопровід «море-лиман» працював (рис. 9.11-9.13), 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. 9.11а) або наприкінці (рис. 9.11б) 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. 9.9) пояснюється наявністю льодоставу на лимані, на формування якого були витрачені певні об'єми води.

Відхилення розрахункових і фактичних значень мінералізації води, які мають місце на рис. 9.10 та 9.13, 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. 9.10), 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. 9.11-9.13) 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 Куяльницького 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. 9.12), 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. 9.13).

Результати калібрування та верифікації моделі водно-сольового балансу Куяльницького лиману з використанням архівних даних за період з 1986 по 2015 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. 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 $\pm 10,4\%$.

9.7 Оцінка рівнів і мінералізації води та кількості солей в Куяльницькому лимані при різних варіантах подачі морської води

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-лимани» та гідрометеорологічних умовах і водогосподарських перетвореннях на басейні лиману, які фактично спостерігалися в ХХ-ХХІ ст. Таке функціонування Куяльницького лиману було б можливе за умови будівництва трубопроводу або каналу «море-лимани», яке планувалось здійснити в 1963 р. за проектом, що був завершений в 1962 р. [9].

З метою оптимізації роботи трубопроводу «море-лимани» у майбутньому було проведено 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 1992 р. мінералізація води у лимані перевищила граничне значення $S_{гр.} = 200$ г/дм³, 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 представляла собою об'єми надходження морської води трубопроводом.

В розрахунках водно-сольового балансу лиману приймалось, що приплив морської води через трубопровід «море-лиман» відбувається самоплином з витратою $Q_m = 1,00 \text{ м}^3/\text{с}$ [5, 26]. 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.

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» [26]:

– подача морської води до лиману починається, якщо:

а) середньомісячна мінералізація води в лимані є більшою від її граничного значення $S_{гр.} = 200 \text{ г/дм}^3$;

б) рівень води в лимані (перед початком подачі морської води) є меншим за позначку нормального підпертого рівня води $\zeta_{НПР} = -5,50 \text{ м БС}$;

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 $\zeta_{НПР} = -5,50 \text{ м БС}$;

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» [5]:

– подача морської води до лиману починається, якщо:

а) середньомісячна мінералізація води в лимані (перед початком подачі морської води) є більшою за її граничне значення $S_{гр.} = 200 \text{ г/дм}^3$;

б) значення рівня води в лимані (перед початком подачі морської води) є меншим від позначки мінус $4,35 \text{ м БС}$ (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 [5, 28]);

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» [5, 28]);

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) значення середньомісячної мінералізації води в лимані є меншим 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. 9.7).

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. [9].

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: 9.14 (варіант 1), 9.15 (варіант 2); 9.16 (варіант 3), а результати розрахунку кількості солей в лимані – на рисунку 9.17 (варіанти 1, 2, 3).

Таблиця 9.7 – 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.

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

З рис. 9.14 (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 $S_{ep.} = 200$ г/дм³). 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 г/дм³. У період 2003-2007 рр. вважалось, що морська вода до лиману не подавалася, тому що рівні води перевищували $\zeta_{НПР} = -5,50$ м БС, а мінералізація води була меншою ніж $S_{ep.} = 200$ г/дм³. 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 $S_{ep.} = 200$ г/дм³), 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

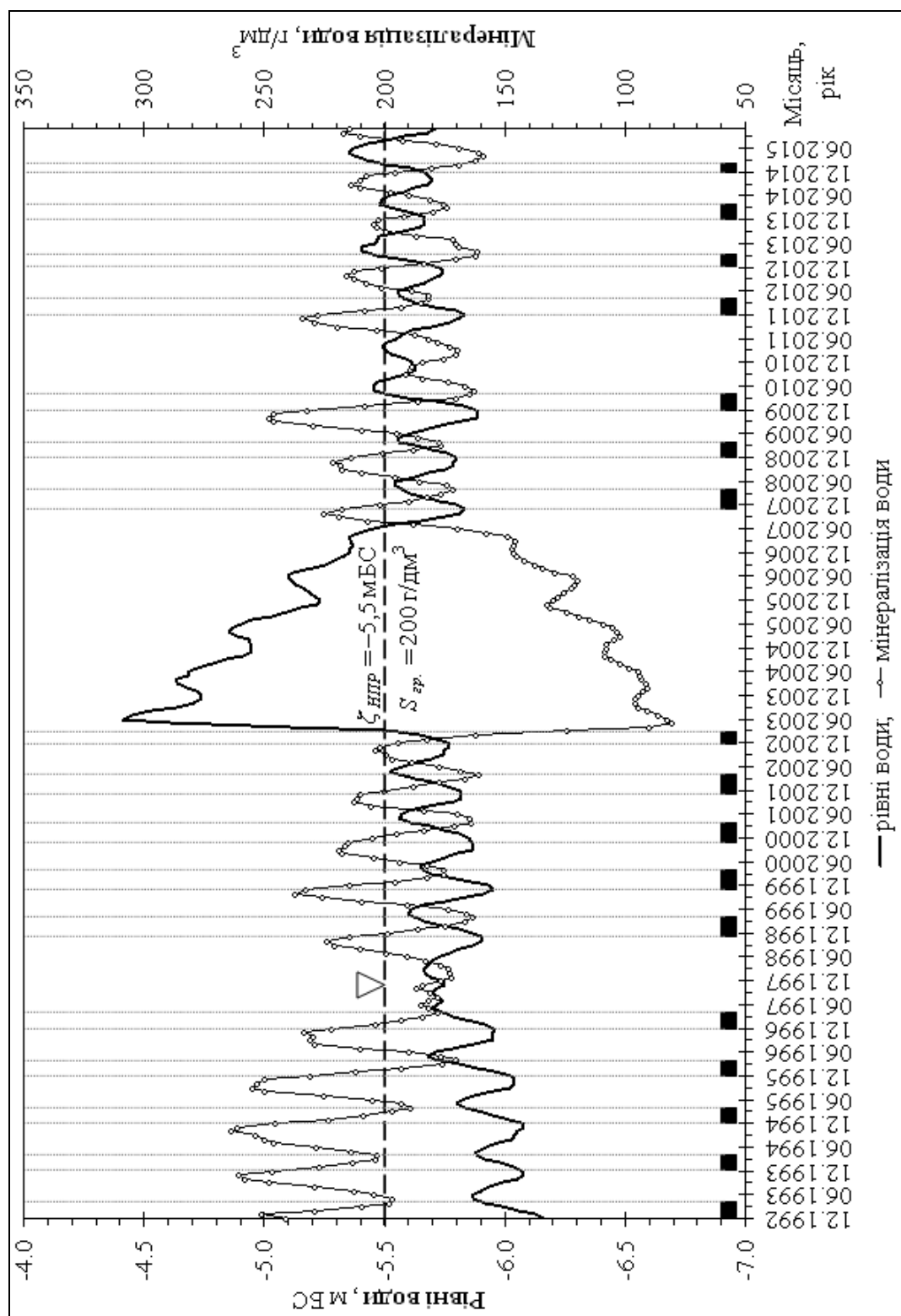


Рис. 9.14 – Мінливість середньомісячних рівнів і значень мінералізації води Куяльницького лиману за період 12.1992-11.2015 рр. (варіант 1): ■ – періоди подачі морської води з Одеської затоки

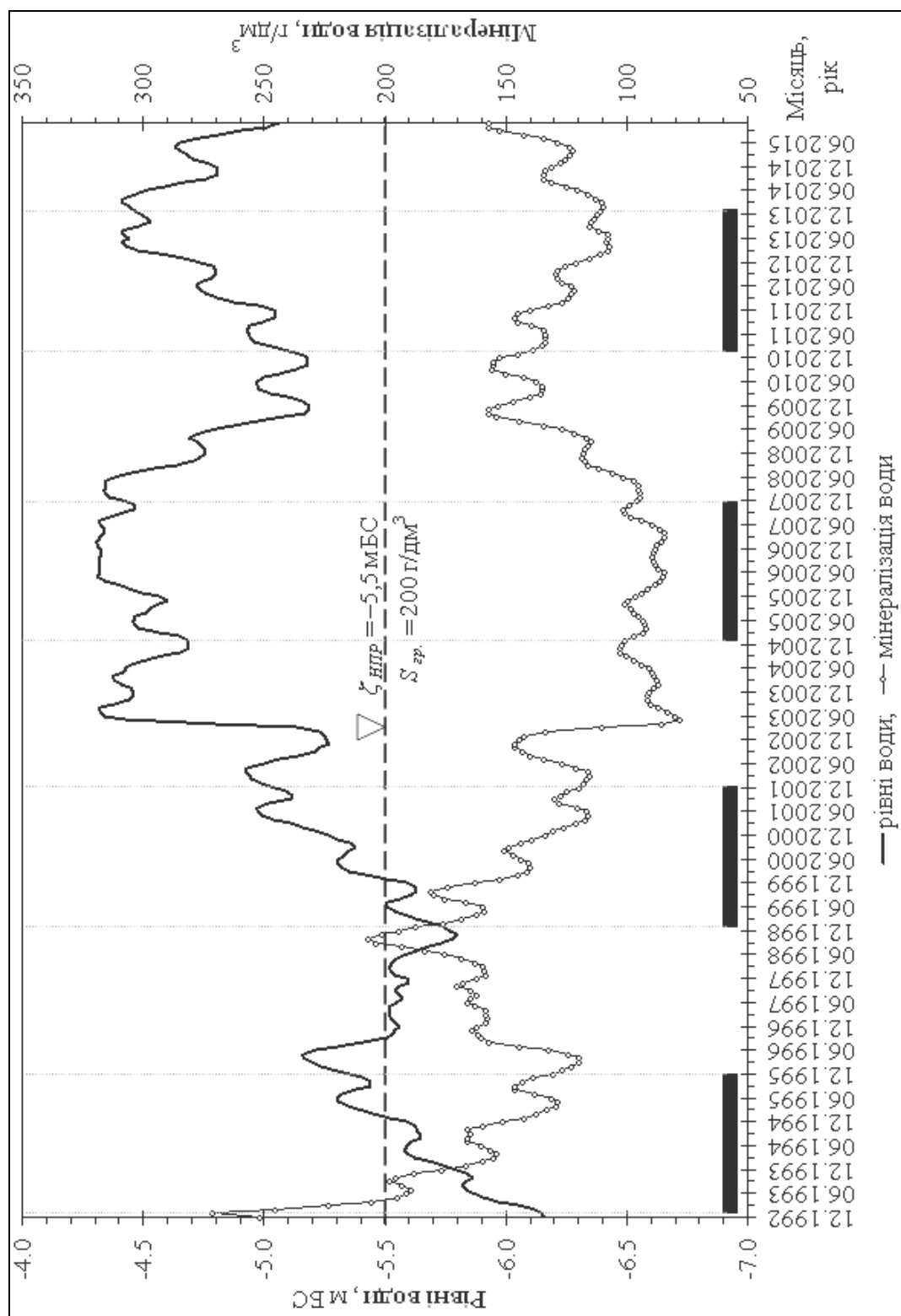


Рис. 9.15 – Мінливість середньомісячних рівнів і значень мінералізації води Куюльницького лиману за період 12.1992-11.2015 рр. (варіант 2): ■ – періоди подачі морської води з Одеської затоки

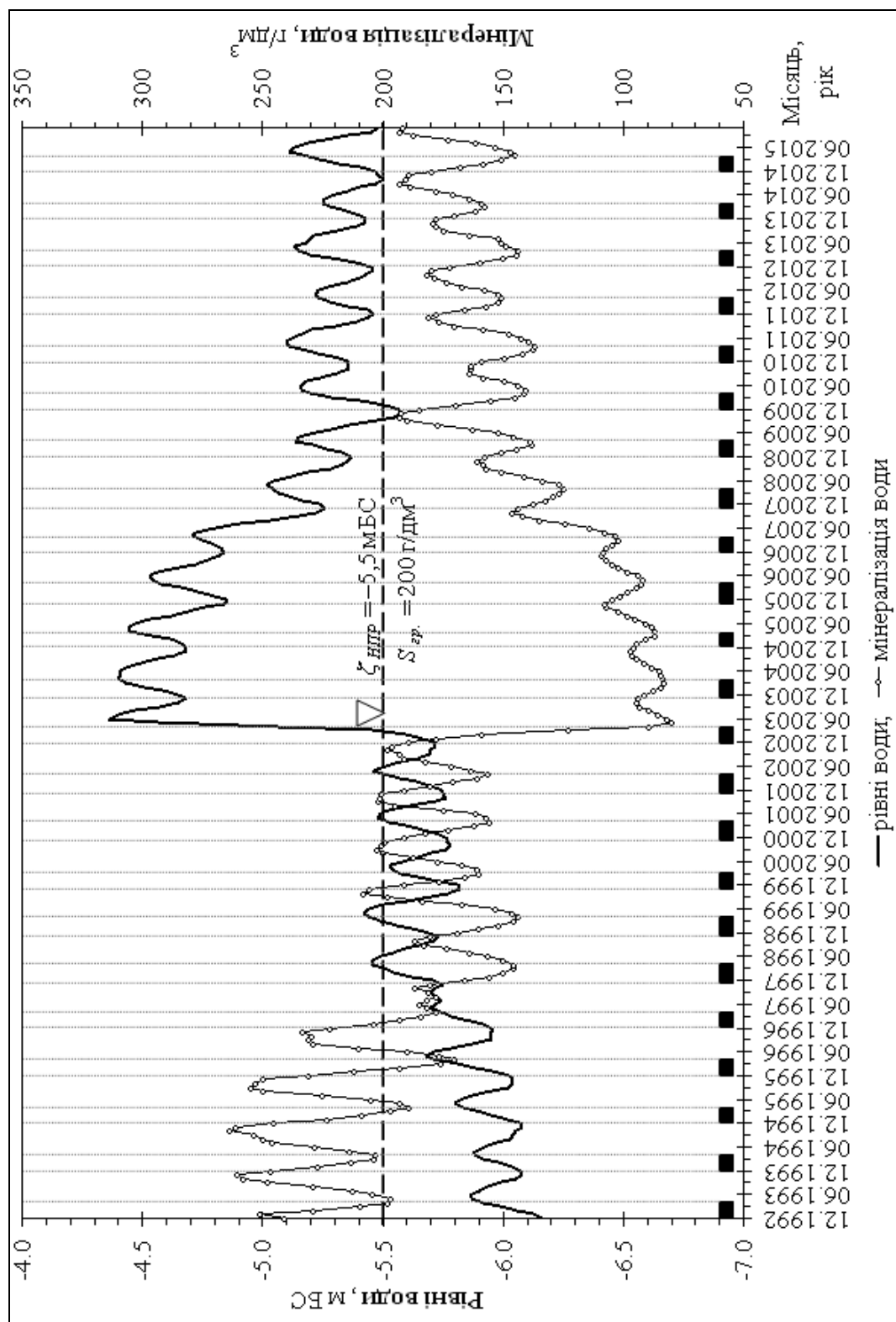


Рис. 9.16 – Мінливість середньомісячних рівнів і значень мінералізації води Куяльницького лиману за період 12.1992-11.2015 рр. (варіант 3): ■ – періоди подачі морської води з Одеської затоки

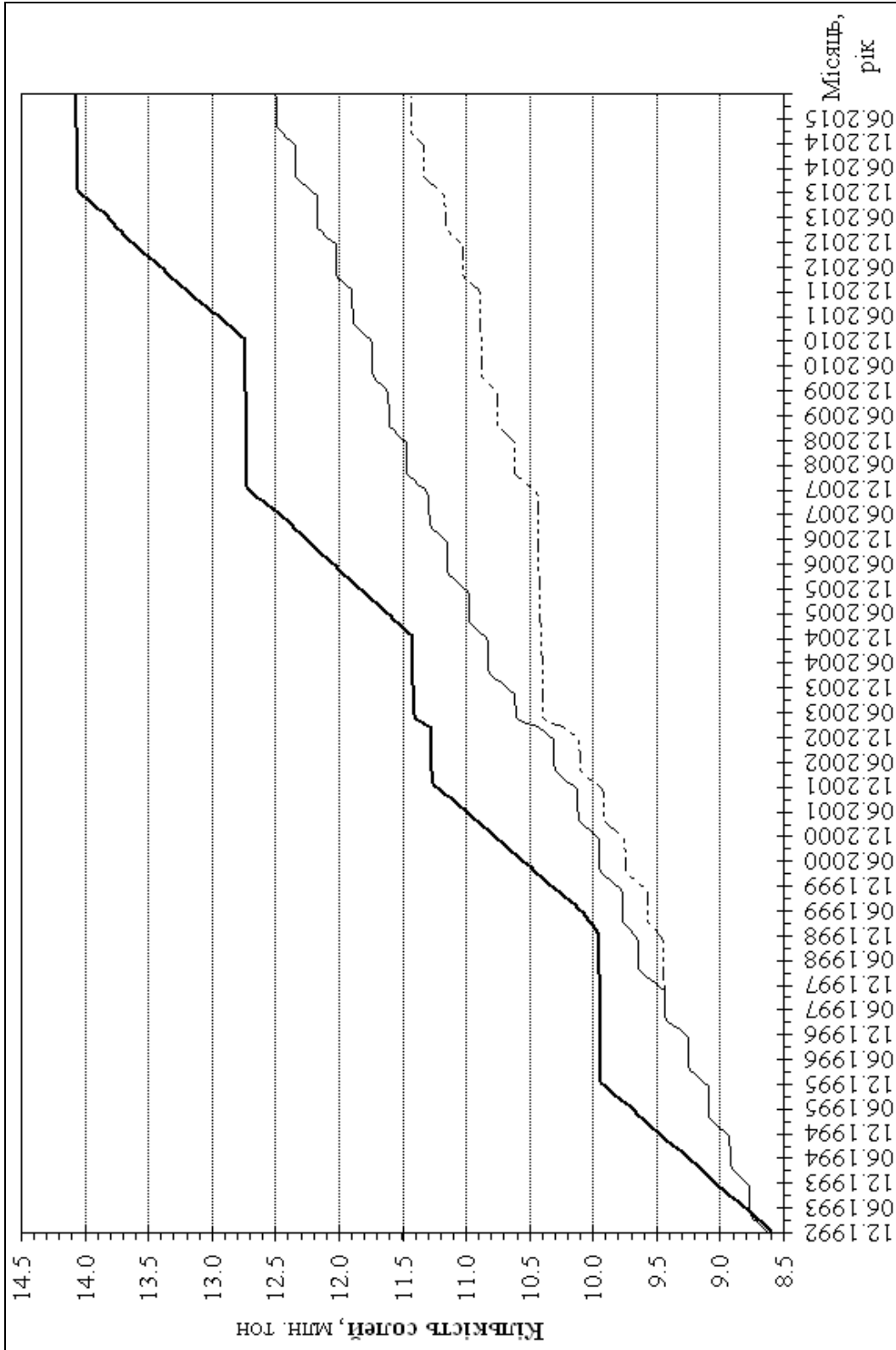


Рис. 9.17 – Мінливість кількості солей в Кукльницькому лимані наприкінці розрахункових місяців за період 12.1992-11.2015 рр. (варіант 1 – нижня лінія; варіант 2 – верхня лінія; варіант 3 – середня лінія)

$\zeta_{НПР}$. Мінералізація води в лимані поступово зменшилася, але в жовтні 2015 р. ще майже на 17 г/дм^3 перевищувала граничне значення ($S_{гр.} = 200 \text{ г/дм}^3$).

В середньому за один період подачі морської води до лиману кількість солей у водоймі (рис. 9.17) 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).

З рис. 9.15 (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 $\zeta_{НПР} = -5,50 \text{ м БС}$, 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 $5,4 \text{ г/дм}^3$ менші $S_{гр.} = 200 \text{ г/дм}^3$, 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 $S_{гр.}$ (на $0,7-6,5 \text{ г/дм}^3$).

В середньому за один цикл подачі морської води до лиману кількість солей у водоймі (рис. 9.17) 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. 9.16) 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 $\zeta_{НПР} = -5,50 \text{ м БС}$, 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 $S_{гр.} = 200 \text{ г/дм}^3$ (за винятком жовтня-листопада 1999 р., коли мінералізація води в лимані короткочасно на $5-8 \text{ г/дм}^3$ перевищувала $S_{гр.}$).

В середньому за один період подачі морської води до лиману кількість солей у водоймі (рис. 9.17) 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. 9.14-9.16) та кількості солей (рис. 9.17) в Куяльницькому лимані при різних варіантах подачі морської води з Одеської затоки трубопроводом «море-лиман» визначено, що найбільш оптимальним є **варіант 3** (рис. 9.16 та 9.17).

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 відбуватиметься трубопроводом «море-лиман», 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» [26].

РОЗДІЛ 10

ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ МІНЛИВОСТІ ГІДРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК КУЯЛЬНИЦЬКОГО ЛИМАНУ

З огляду на заходи, які реалізовані та плануються до реалізації в межах Регіональної програми збереження та відновлення водних ресурсів у басейні Куяльницького лиману на 2012-2018 рр., зокрема, 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, особливої актуальності набуває задача відтворення та прогнозування просторово-часової мінливості гідрологічних характеристик лиману (рівня, солоності, температури води), які обумовлюють хімічні та біологічні процеси у ньому, 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 цьому розділі представлені результати адаптації до умов Куяльницького лиману тривимірної чисельної гідротермодинамічної моделі Delft3D-FLOW [1, 2].

10.1 Опис гідротермодинамічної моделі

Модель Delft3D-FLOW базується на чисельному рішенні рівняння Нав'є-Стокса для нестисливої рідини на мілкій воді в наближенні Бусінеска. Система диференціальних прогностичних рівнянь моделі складається з рівнянь руху у горизонтальній площині, рівняння нерозривності, рівнянь переносу тепла та солей з двупараметричною $k-\varepsilon$ -моделлю турбулентності, що замикає ці рівняння. Вертикальні компоненти векторів швидкості течій розраховуються за рівнянням нерозривності. Для рівняння швидкості вертикального руху береться гідростатичне наближення. Рівняння стану морської води визначається формулою ЮНЕСКО [3].

Вітрова напруга тертя на верхній вільній поверхні $\vec{\tau}_s = (\tau_{sx}, \tau_{sy})$, визначається як

$$|\vec{\tau}_s| = \rho_a c_d U_{10}^2, \quad (10.1)$$

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 таким співвідношенням [4]:

$$c_d(U_{10}) = \begin{cases} c_d^A, & U_{10} < U_{10}^A \\ c_d^A + \frac{c_d^B - c_d^A}{U_{10}^B - U_{10}^A} (U_{10} - U_{10}^A), & U_{10}^A \leq U_{10} \leq U_{10}^B \\ c_d^B, & U_{10} \geq U_{10}^B \end{cases} \quad (10.2)$$

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 за напрямом з вектором швидкості придонної течії $\vec{u}_b = (u_b, v_b)$, а його величина визначається квадратичним законом:

$$\vec{\tau}_b = \frac{g \rho_0 \vec{u}_b |\vec{u}_b|}{c_{3D}^2}, \quad (10.3)$$

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:

$$c_{3D} = \frac{\sqrt{g}}{\kappa} \ln \left(1 + \frac{\Delta z_b}{2z_0} \right), \quad (10.4)$$

де $\kappa \approx 0,41$ – стала фон Кармана, Δz_b – відстань від дна до розрахункової точки, в якій визначається коефіцієнт, z_0 – параметр шорсткості дна.

При виконанні модельних розрахунків параметр шорсткості дна z_0 розраховувався за двовимірним коефіцієнтом донного тертя Шезі c_{2D} , відповідно до такого відношення:

$$z_0 = \frac{H}{e^{\frac{\kappa c_{2D}}{\sqrt{g}}} - e}, \quad (10.5)$$

в якому: H – повна локальна глибина; c_{2D} – двовимірний коефіцієнт Шезі, який визначається відповідно до рівняння Маннінга:

$$c_{2D} = \frac{\sqrt[6]{H}}{n}, \quad (10.6)$$

де n – коефіцієнт Маннінга.

Напруги Рейнольдса моделюються з використанням концепції турбулентної в'язкості. Вертикальна турбулентна в'язкість розраховується на основі k - ε моделі [5], 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 таким чином:

$$\nu_H = \nu_{3D} + \nu_H^{back}, \quad (10.7)$$

$$\nu_V = \nu_{mol} + \max(\nu_{3D}, \nu_V^{back}), \quad (10.8)$$

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 за рівнянням адвекції-дифузії, до якого включені члени джерел-стоків тепла та солей. Коефіцієнти горизонтальної та вертикальної дифузії визначаються відповідно як:

$$D_H = D_{3D} + D_H^{back}, \quad (10.9)$$

$$D_V = \frac{\nu_{mol}}{\sigma_{mol}} + \max(D_{3D}, D_V^{back}), \quad (10.10)$$

$$D_{3D} = \max\left(D_{3D}, 0, 2 L_{oz}^2 \sqrt{-\frac{g}{\rho} \frac{\delta\rho}{\delta z}}\right), \quad (10.11)$$

де D_{3D} – дифузія, що розраховується в k - ε 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», відкритого Річардсоном (1926), з урахуванням горизонтального кроку розрахункової сітки:

$$v_H^{back}, D_H^{back} = \gamma \Delta^{4/3}, \quad (10.12)$$

де Δ – горизонтальний крок розрахункової сітки; $\gamma = 0,03$ – безрозмірний емпіричний коефіцієнт [6].

Тепло- та масообмін з атмосферою розраховуються в моделі з використанням напівемпіричних формул [7, 8].

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 таким чином:

$$E_{FORCED} = \rho_a f(U_{10}) \{q_s(T_s) - q_a(T_a)\}, \quad (10.13)$$

де ρ_a – густина повітря; q_s – масова частка водяної пари у насиченому повітрі (біля водної поверхні); q_a – масова частка водяної пари у повітрі на висоті 10 м.

$$q_s(T_s) = \frac{0,62 e_s}{P_{atm} - 0,38 e_s}, \quad (10.14)$$

$$q_a(T_a) = \frac{0,62 e_a}{P_{atm} - 0,38 e_a}, \quad (10.15)$$

де P_{atm} – атмосферний тиск; e_s – тиск насиченої водяної пари; e_a – тиск водяної пари на висоті 10 м, які розраховуються відповідно до таких відношень:

$$e_s = 10^{\frac{0,7859+0,03477 T_s}{1+0,00412 T_s}}, \quad (10.16)$$

$$e_a = r_{hum} 10^{\frac{0,7859+0,03477 T_a}{1+0,00412 T_a}}, \quad (10.17)$$

де r_{hum} – відносна вологість повітря, %; T_s – температура води у поверхневому шарі $^{\circ}\text{C}$; T_a – температура повітря, $^{\circ}\text{C}$.

Функція швидкості повітря на висоті 10 м $f(U_{10})$ у формулі (10.13) визначається як

$$f(U_{10}) = c_e U_{10}, \quad (10.18)$$

де c_e – число Дальтона – калібрувальний коефіцієнт.

Випаровування при вільній конвекції розраховується таким чином:

$$E_{FREE} = k_S \bar{\rho}_a \{q_s(T_s) - q_a(T_a)\}, \quad (10.19)$$

де $\bar{\rho}_a$ – середня густина повітря; k_S – коефіцієнт теплопередачі, який розраховується за формулою

$$k_S = \begin{cases} 0, & \rho_{a10} - \rho_{a0} \leq 0 \\ c_{fr.conv} \left\{ \frac{g\alpha^2}{v_{air}\rho_a} (\rho_{a10} - \rho_{a0}) \right\}^{1/3}, & \rho_{a10} - \rho_{a0} > 0 \end{cases}, \quad (10.20)$$

де $c_{fr.conv}$ – коефіцієнт вільної конвекції, який калібрується; ρ_{a0} – густина насиченої водяної пари (біля водної поверхні), $\text{кг}/\text{м}^3$; ρ_{a10} – густина повітря на висоті 10 м, $\text{кг}/\text{м}^3$; v_{air} – в'язкість повітря, яка береться рівною константі $16,0 \times 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$; α – молекулярна дифузія повітря, що визначається як

$$\alpha = \frac{v_{air}}{\sigma}, \quad (10.21)$$

де $\sigma = 0,7$ – число Прандтля (для газів).

Густина насиченої водяної пари ρ_{a0} та густина повітря на висоті 10 м ρ_{a10} розраховуються відповідно як:

$$\rho_{a0} = \frac{\frac{100P_{atm} - 100e_s}{R_{dry}} + \frac{100e_s}{R_{vap}}}{T_s + 273,15}, \quad (10.22)$$

$$\rho_{a10} = \frac{\frac{100P_{atm} - 100e_a}{R_{dry}} + \frac{100e_a}{R_{vap}}}{T_a + 273,15}, \quad (10.23)$$

де $R_{dry} = 287,05$ Дж/(кг К) – газова стала для сухого повітря;
 $R_{vap} = 461,495$ Дж/(кг К) – газова стала для пари.

Ступінь прозорості води, яка впливає на інтенсивність поглинання короткохвильової радіації у водному стовпці, задається в моделі як константа.

Кінцево-різницева апроксимація рівнянь моделі виконується на криволінійній розрахунковій сітці типу С за класифікацією Аракави: скалярні величини задаються в центрах елементарних розрахункових осередків, а нормальні компоненти швидкості – на їх відповідних гранях. Часовий крок розв’язання рівнянь обмежується умовою стабільності Куранта-Фрідрікса-Леві.

10.2 Адаптація гідротермодинамічної моделі до умов Куяльницького лиману

Для дискретизації гідродинамічних рівнянь в 3-D просторі використовувалась структурована ортогональна криволінійна система координат в горизонтальній площині та криволінійна σ -система координат – по вертикалі. Криволінійна розрахункова сітка, яка була згенерована та підігнана до меж акваторії лиману, складалась з 39×270 розрахункових осередків у горизонтальній площині (рис. 10.1б). Осередки сітки мають змінні розміри по горизонталі, які плавно змінюються у межах 40-210 м – в m -напрямку (вісь X криволінійної системи координат) та 60-280 м – в n -напрямку (вісь Y криволінійної системи координат). 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. 10.1а), 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.

Програмна реалізація чисельних рівнянь моделі дозволила враховувати під час проведення модельних розрахунків осушення-затоплення окремих мілководних ділянок ложа лиману при змінах рівня води у ньому.

Адаптація моделі для умов Куяльницького лиману була виконана на основі архівних гідрометеорологічних даних двох екстремальних років: 1987 р. та 2003 р. У 1987 р. стік р. Великий Куяльник в лиман був майже відсутній; невеликий приплив (до $1,54$ м³/с) спостерігався лише в кінці березня – на початку квітня. У 2003 р., навпаки, мала місце найбільша за останні десятиріччя повінь: витрати річки В. Куяльник досягали $34,5$ м³/с наприкінці березня (рис. 10.2а, б).

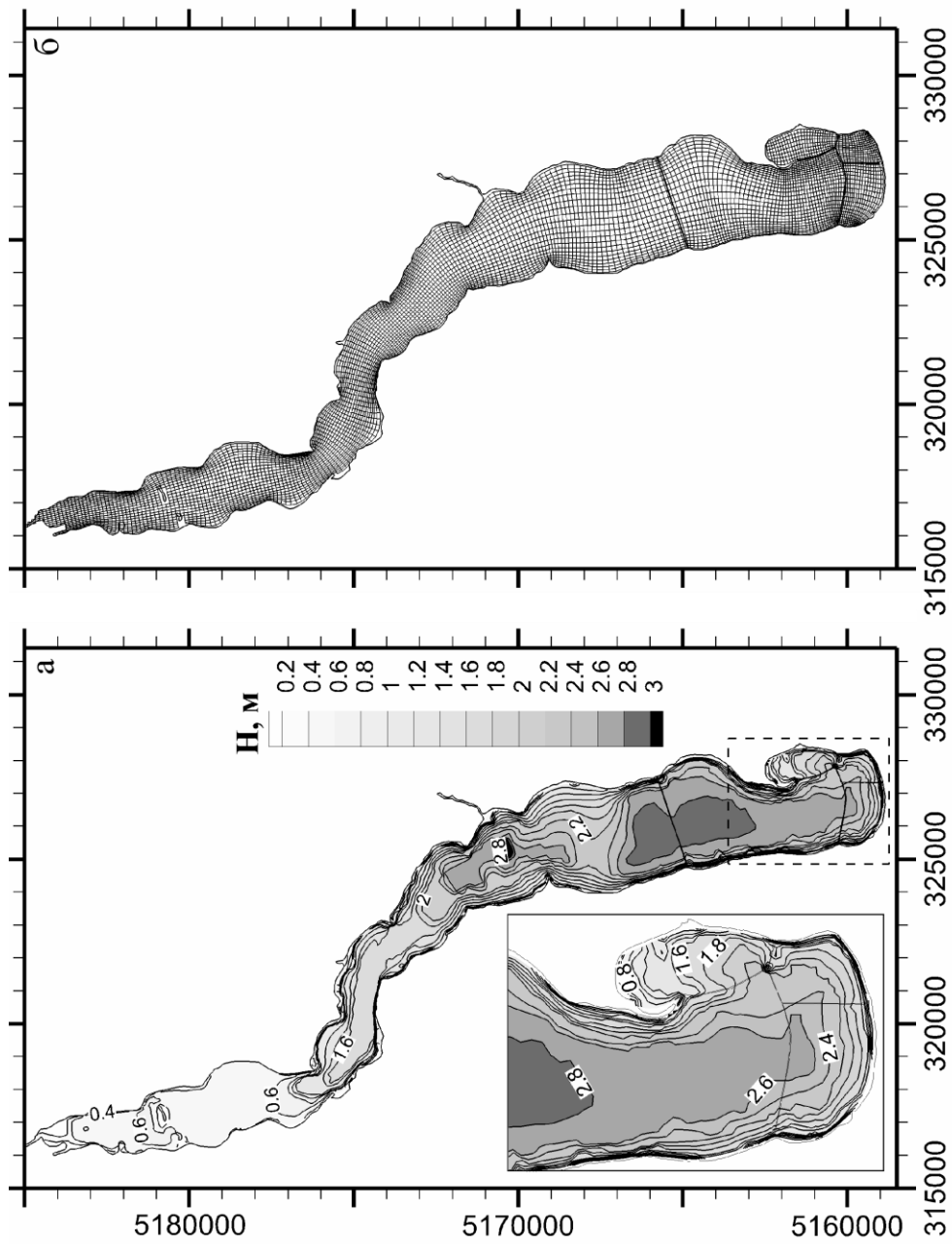


Рис. 10.1 – Батиметрична карта акваторії Куяльницького лиману (а)*. Криволінійна розрахункова сітка (б)**

* 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

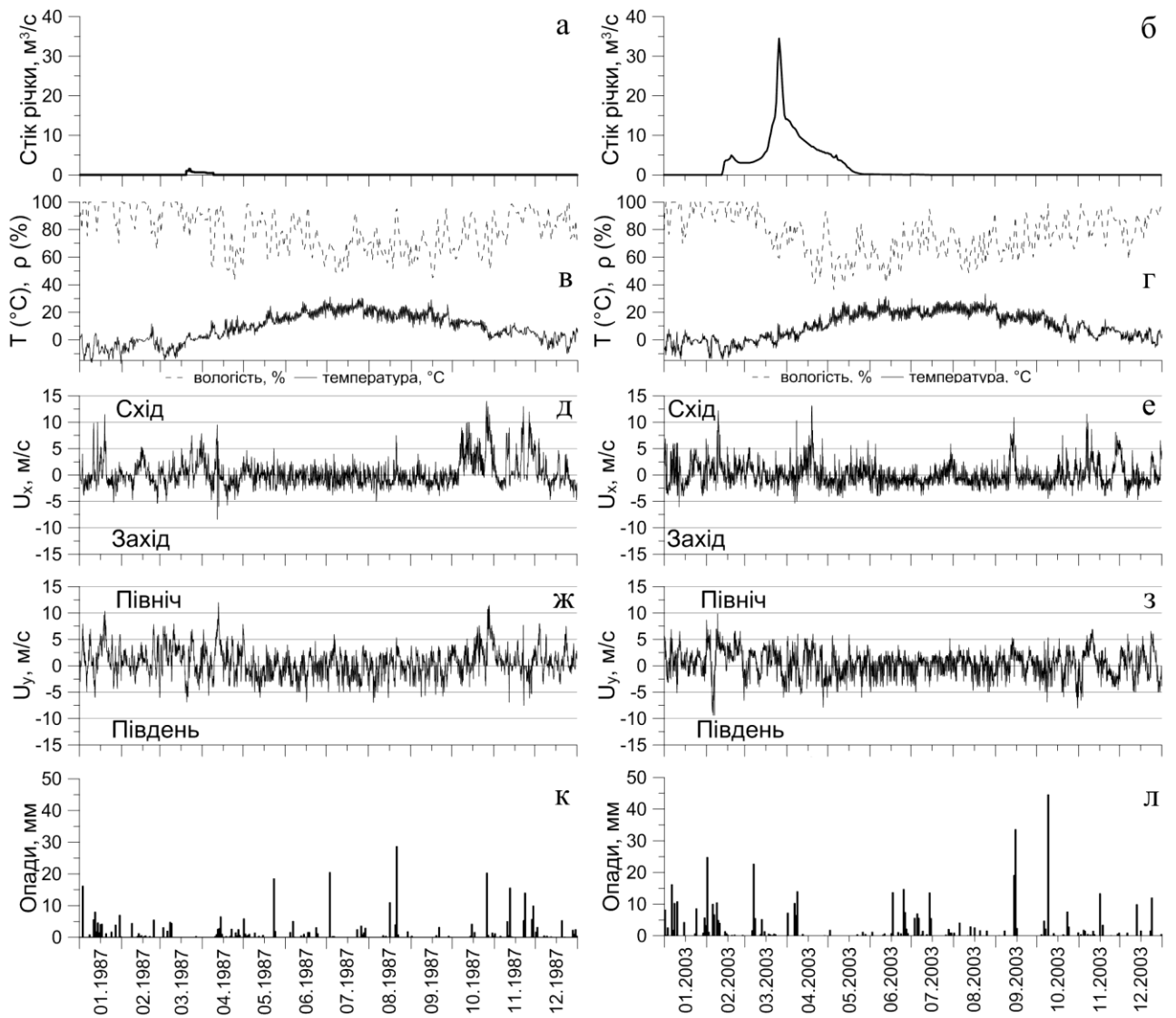


Рис. 10.2 – Вхідні дані, що використовувались під час адаптації моделі: часова мінливість витрат р. В. Куяльник, $\text{м}^3/\text{с}$ (а, б); температури, $^{\circ}\text{C}$, відносної вологості повітря, % (в, г); компоненти вектора швидкості вітру, $\text{м}/\text{с}$, у напрямках «схід-захід» (д, е) та «північ-південь» (ж, з); добовий шар атмосферних опадів, мм (к, л)

При розрахунках на верхній відкритій межі (з атмосферою) моделі задавались: часова мінливість відносної вологості, температури повітря, балу хмарності, напрямку та швидкості вітру, кількості атмосферних опадів з дискретністю 3 години за даними спостережень на ГМС «Одеса-ГМО» (рис. 10.2.в-л). Випаровування з водної поверхні розраховувалось в самій моделі. Витрати р. В. Куяльник задавались за даними щодобових спостережень на водомірному посту «Северинівка».

Значення коефіцієнтів рівнянь моделі, які використовувались при розрахунках, були визначені під час калібрування (табл. 10.1).

Таблиця 10.1 – Значення основних коефіцієнтів моделі, визначені під час її калібрування

№ з/п	Назва параметра	Значення, що використовувалось	Джерело
1	2	3	4
1.	Глибина Секкі, м	0,1	[10]
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	[4]
3.	Коефіцієнт Маннінга n , $m^{-1/3} \cdot c$	$1,8 \times 10^{-2}$	[11]
2.	Пороговий коефіцієнт горизонтальної турбулентної в'язкості, ν_H^{back} , m^2/c	10	[2, 6]
3.	Пороговий коефіцієнт горизонтальної турбулентної дифузії, D_H^{back} , m^2/c	10	[2, 6]
4.	Пороговий коефіцієнт вертикальної турбулентної в'язкості, ν_V^{back} , m^2/c	1×10^{-6}	[2]
5.	Пороговий коефіцієнт вертикальної турбулентної дифузії, D_V^{back} , m^2/c	0	[2]
6.	Масштаб довжини Озмідова, L_{oz} , м	0	[2, 12]
7.	Число Дальтона, c_e	$1,6 \times 10^{-3}$	[13]
8.	Число Стентона, c_h	$2,0 \times 10^{-2}$	[13]
9.	Коефіцієнт вільної конвекції, $c_{fr.conv}$	0,4	[13]

Часовий крок розв'язання рівнянь моделі брався рівним 30 с. Початкові умови для модельних розрахунків (відмітка рівня води у лимані, температура, солоність води) задавались на основі даних спостережень та вважались однорідними у горизонтальній площині.

Для верифікації моделі використовувались дані спостережень за рівнем, температурою (тільки у 1987 р.) та солоністю води в

Куяльницькому лимані, які були організовані Одеською гідрогеологічною режимно-експлуатаційною станцією (ГГРЕС) Одеського відділення АТ «Укрпрофздравниця» в ці роки.

10.3 Обговорення результатів адаптації моделі

Для умов 1987 р. (рис. 10.3) модель відтворила з достатньою точністю мінливість гідрологічних характеристик у лимані лише з початку травня. За умов відсутності стоку р. В. Куяльник, врахування атмосферних опадів як єдиної прихідної складової водного балансу лиману, не дозволило забезпечити таке підвищення рівня води, яке спостерігалось в період з 08.02.1987 р. по 26.02.1987 р. Отримані результати свідчать, з одного боку, про коректність розрахунку випаровування з поверхні лиману, в результаті якого знижувався рівень води в літньо-осінній період, а, з іншого боку, – про існування інших (крім стоку р. В. Куяльник та атмосферних опадів) прихідних складових водного балансу лиману в період його весняного наповнення.

Для умов 2003 р. (рис. 10.4) модель задовільно відтворила фазу наповнення лиману у березні-квітні та, пов'язане з нею, зменшення солоності, однак, у вхідній інформації для моделювання не враховані фактори, мінливість яких призвела до різкого падіння рівня (на 0,25 м), а потім до його зростання (на 0,3 м) протягом червня. Слід відзначити, що модель правильно відтворила інтегровану за цей період тенденцію зміни рівня води в лимані та до початку вересня вийшла на спостережені значення.

Наведені результати розрахунків свідчать, що у вхідній інформації для моделювання враховуються не всі прихідні складові водного балансу лиману, які визначають мінливість рівня води у ньому. Це в свою чергу призводить до виникнення похибок у розрахунках мінливості солоності води. До числа неврахованих складових водного балансу лиману можливо віднести надходження зливових та стічних вод зі ставків пересипу через водостік під Окружною дорогою [9], стік зі схилів, а також стік по тимчасових водотоках яружно-балкової системи лиману [10].

10.4 Валідація моделі

Валідація моделі виконувалась 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, яка дозволяє поповнювати Куяльницький лиман морською водою з Одеської затоки.

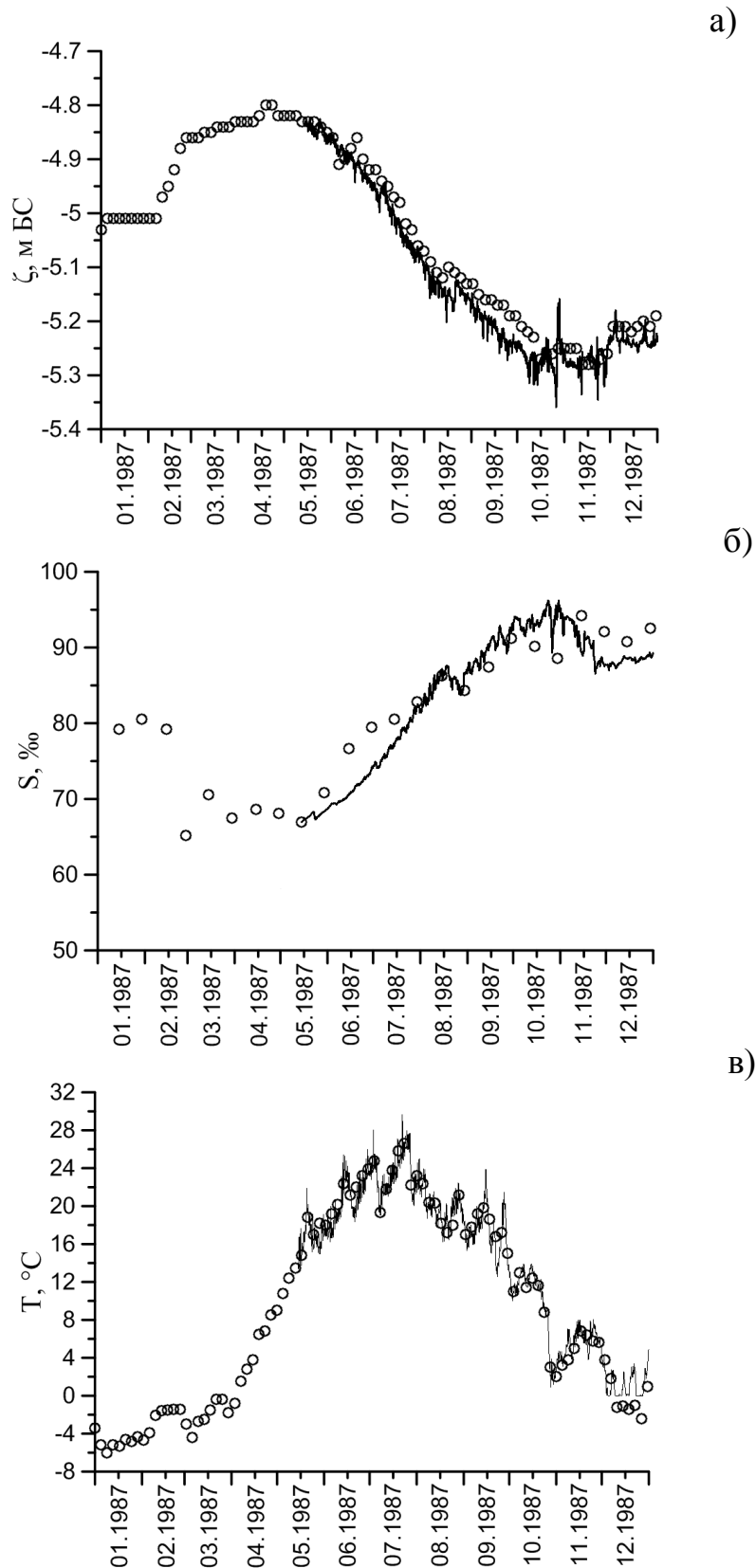


Рис. 10.3 – Часова мінливість рівня води, м БС (а), солоності, ‰ (б), температури води, °C, (в) в Куяльницькому лимані у 1987 р. за даними натурних спостережень (○) та отримана в результаті моделювання (—)

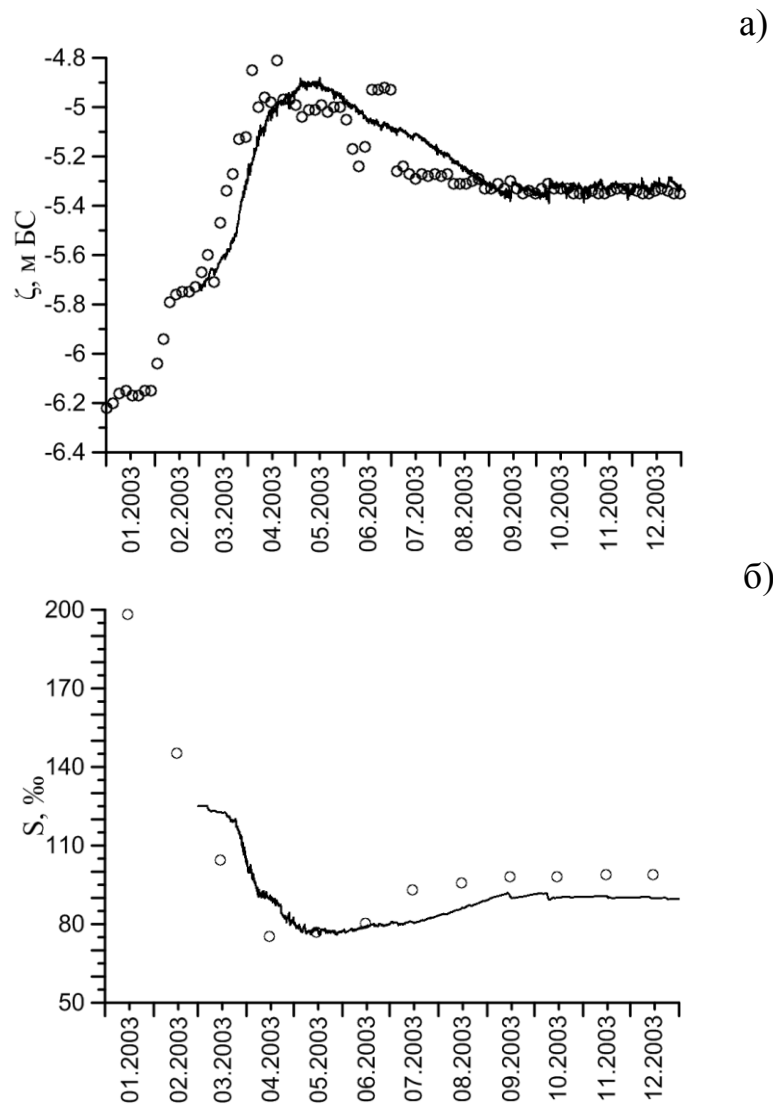


Рис. 10.4 – Часова мінливість рівня, м БС, (а) і солоності води, ‰, (б) в Куяльницькому лимані у 2003 р. за даними натурних спостережень та отримана в результаті моделювання

При моделюванні враховувались такі прихідні складові водного балансу лиману: об'єми надходження морських вод в лиман через гідротехнічну споруду (водопропуск), стік річок В. Куяльник, Довбока, Кубанка; стік з балок Корсунцівська, Гільдендорфська та через лотки з ВНС № 5 і ставків пересипу (рис. 10.5), добові суми опадів на акваторію лиману (рис. 10.6). Витрати прісних вод через водотоки, які впадають в лиман, морських вод через водопропуск, солоність морських вод задавались на основі даних вимірювань фахівцями ОДЕКУ. З рис. 10.7 видно, що у 2015 р. надходження прісних вод до лиману зі стоком р. В.Куяльник було значно меншим, ніж зі стоком інших водотоків. Певною мірою це пов'язано з тим, що гирло р. В.Куяльник влітку і до жовтня 2015 р. було перекрито штучною дамбою (створеною протиправно).

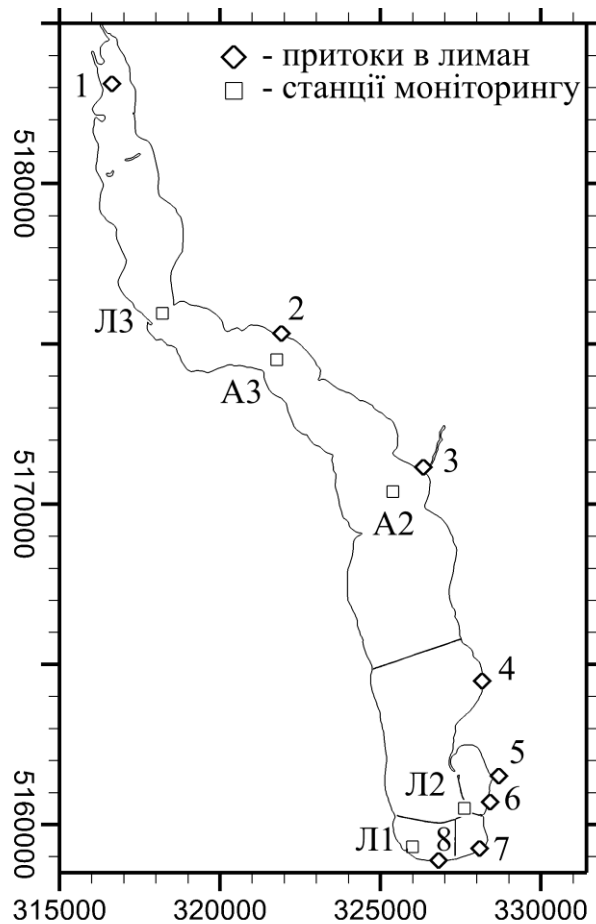
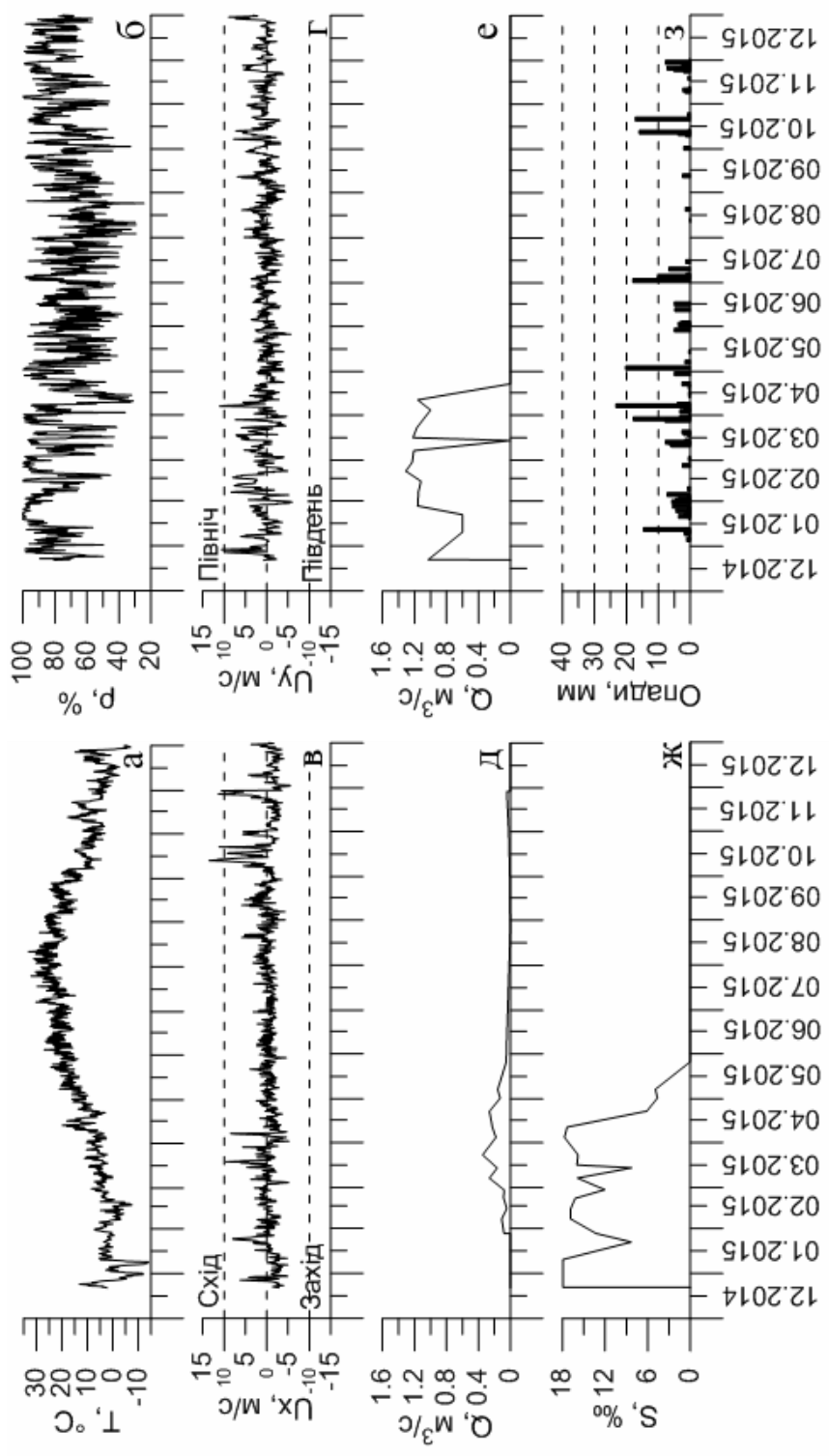


Рис. 10.5 – Схема розташування приток в Куяльницький лиман у 2015 р.: 1 – р. В. Куяльник; 2 – р. Довбока; 3 – р. Кубанка; 4 – б. Гільдендорфська; 5 – б. Корсунцівська; 6 – лоток ВНС № 5; 7 – водопропуск «лиман-море»; 8 – лоток зі ставків пересипу. Розташування станцій моніторингу ОДЕКУ на акваторії лиману у 2015р. (позначені А2, А3, Л1, Л2, Л3)

Часова мінливість напряму та швидкості вітру, температури та відносної вологості повітря, балу хмарності задавались з дискретністю 3 години за даними спостережень на ГМС «Одеса- ГМО» у період моделювання (рис. 10.6).

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 та солоністю води в лимані, виконані фахівцями ОДЕКУ в період моніторингу протягом 2015 р.

Окремо слід зупинитись на використанні при моделюванні даних спостережень за мінливістю кількості атмосферних опадів, які випадають на поверхню лиману. Спочатку були використані наявні дані спостережень на ГМС «Одеса- ГМО».



Ри. 10.6 – Вихідні дані, що використовувались під час валідації моделі за гідрометеорологічних умов 2015 р.: часова мінливість температури, °С (а), відносної вологості повітря, % (б); компоненти вектору швидкості вітру, м/с, 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 з пересипу у лиман, м³/с (д); витрати води, м³/с, (е) та солоність, ‰, (ж) морської води у водопропуску «лиман-море»; добовий шар атмосферних опадів, мм, вимірних на метеопосту «Одеса-Куяльник» (з)

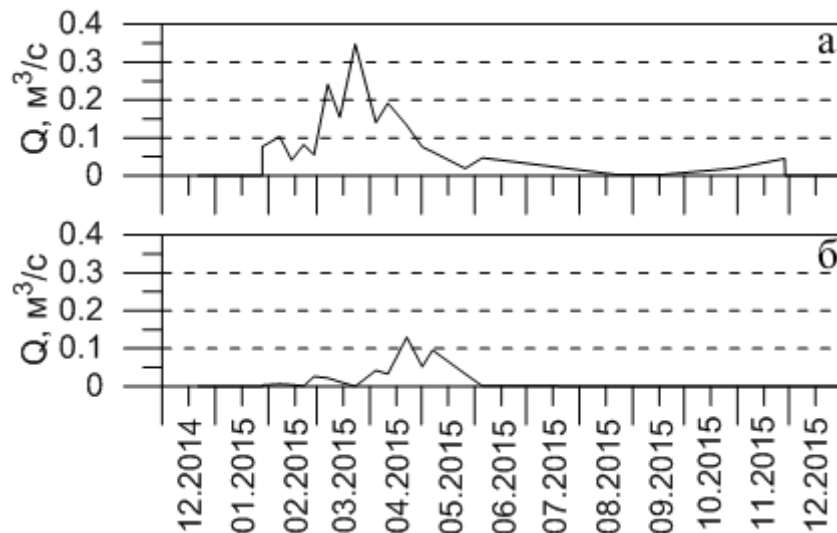


Рис. 10.7 – Мінливість сумарних витрат води, m^3/c , по тимчасових водотоках (р. Довбока, р. Кубанка, б. Гільдендорфська, б. Корсунцівська, лотки з ВНС №5 та ставків пересипу) (а) та витрат води р. В.Куяльник (б) у 2015 р.

Однак, результати числових експериментів з моделлю, а також порівняльний аналіз даних спостережень за атмосферними опадами на інших, довколишніх до Куяльницького лиману, гідрометеостанціях «Любашівка», «Одеса-порт» показали (рис. 10.8-10.9), що через мілководність лиману і велику площу його водної поверхні, для правильного відтворення при моделюванні річного ходу рівня води в лимані принципово важливим є точне завдання інтенсивності злив, які випадають на поверхню лиману. Однак, як видно з рис. 10.8, інтенсивність злив характеризується значною просторовою мінливістю.

Використання при моделюванні даних щодо атмосферних опадів, виміряних на ГМС «ГМО Одеса», «Любашівка» та «Одеса-порт» призводило до стрибкоподібного підвищення рівня води після злив на початку квітня та на початку липня 2015 р. (рис. 10.9), що не узгоджувалось з даними спостережень за рівнем води у лимані. У подальшому ці похибки, як систематичні, зберігались протягом усього періоду моделювання. Найменші похибки відзначались при використанні даних спостережень за опадами на найближчий до лиману ГМС «Одеса-порт». Тому у подальшому були отримані і використані при моделюванні дані спостережень за атмосферними опадами на метеопосту «Одеса-Куяльник», розташованому біля м. Одеса, пров. Лиманний (рис. 10.6з), що дозволило отримати добре узгодження внутрішньорічної мінливості спостережених і розрахованих значень рівня води у лимані (рис. 10.10а).

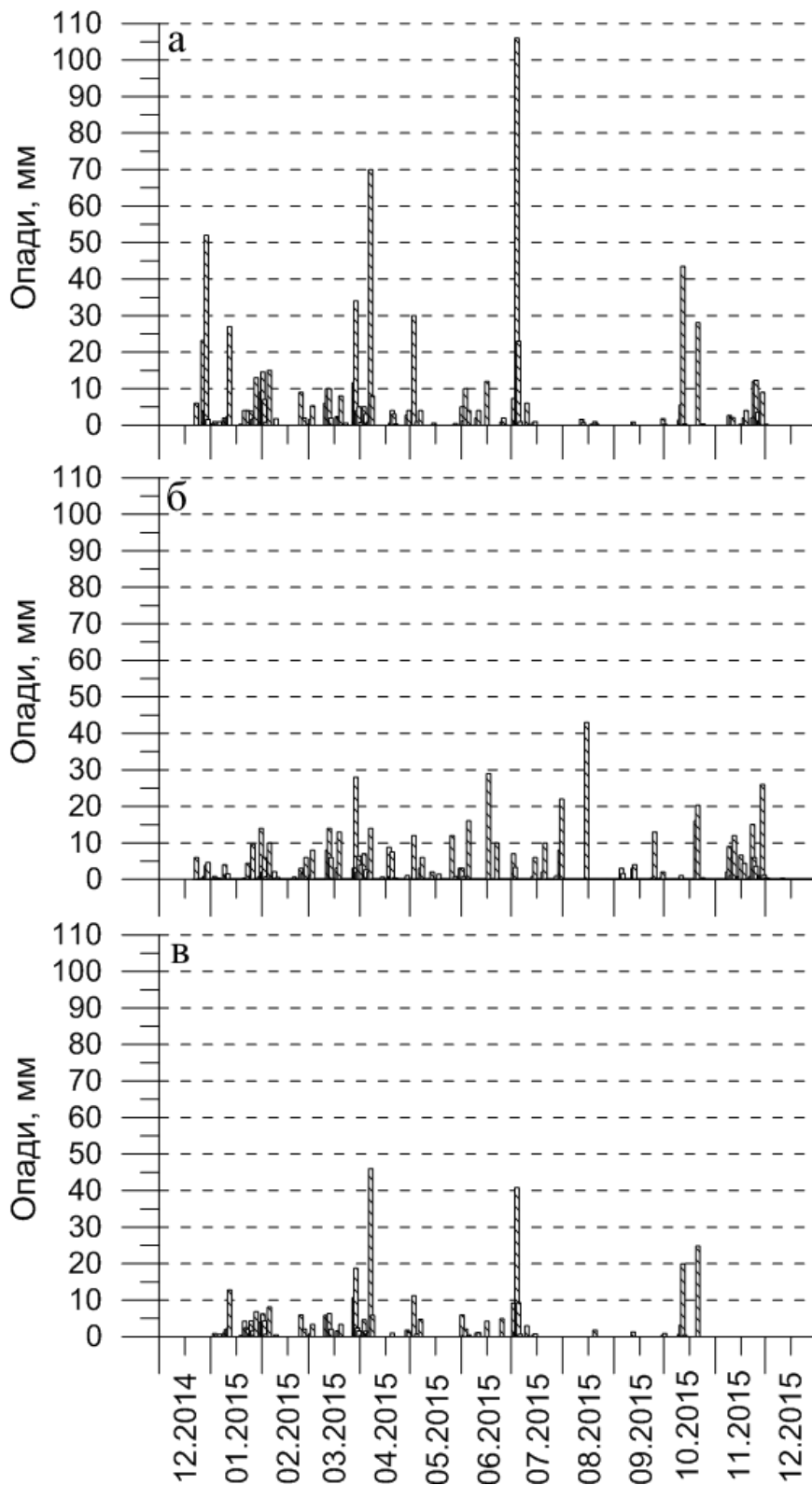
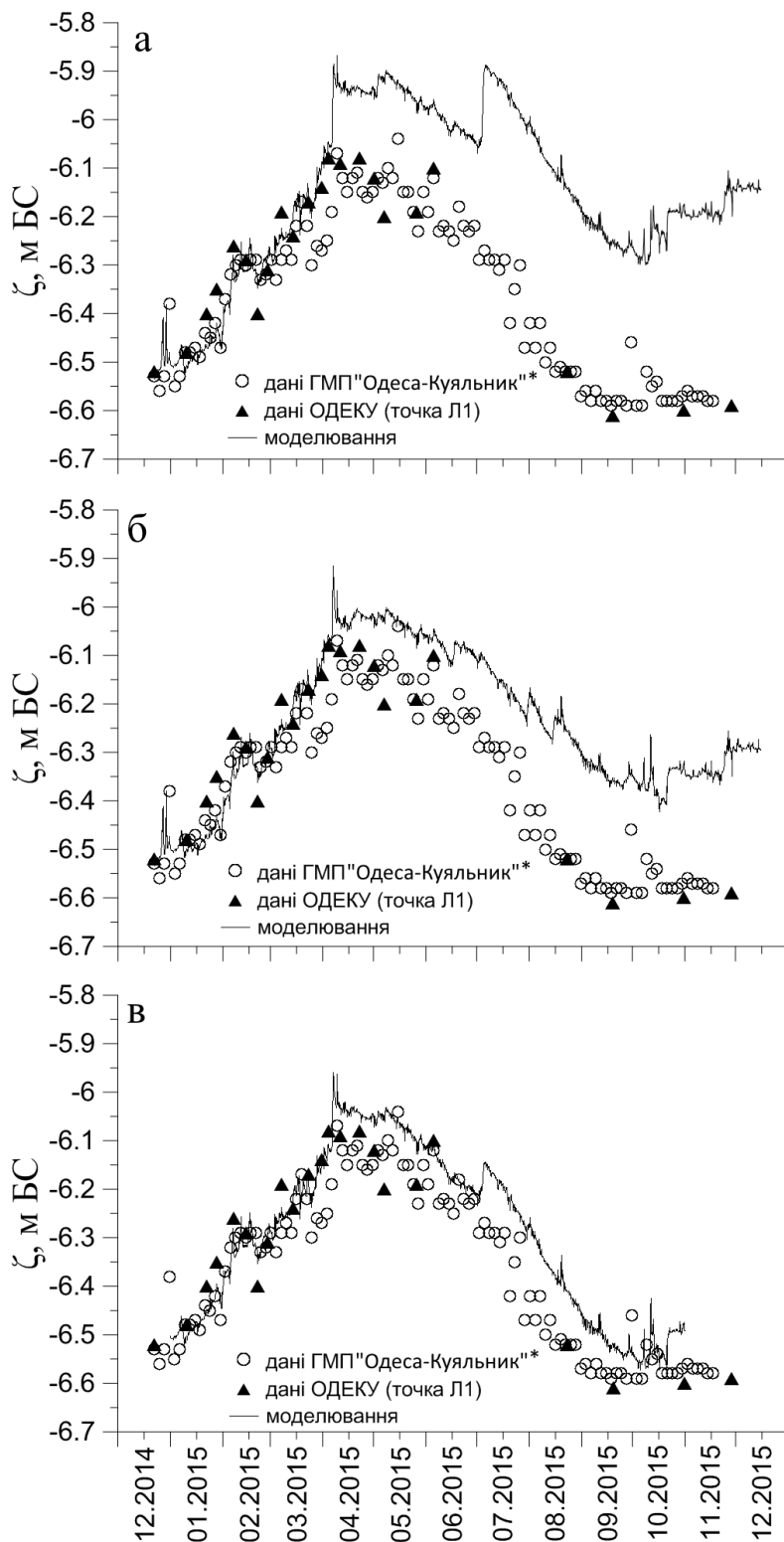
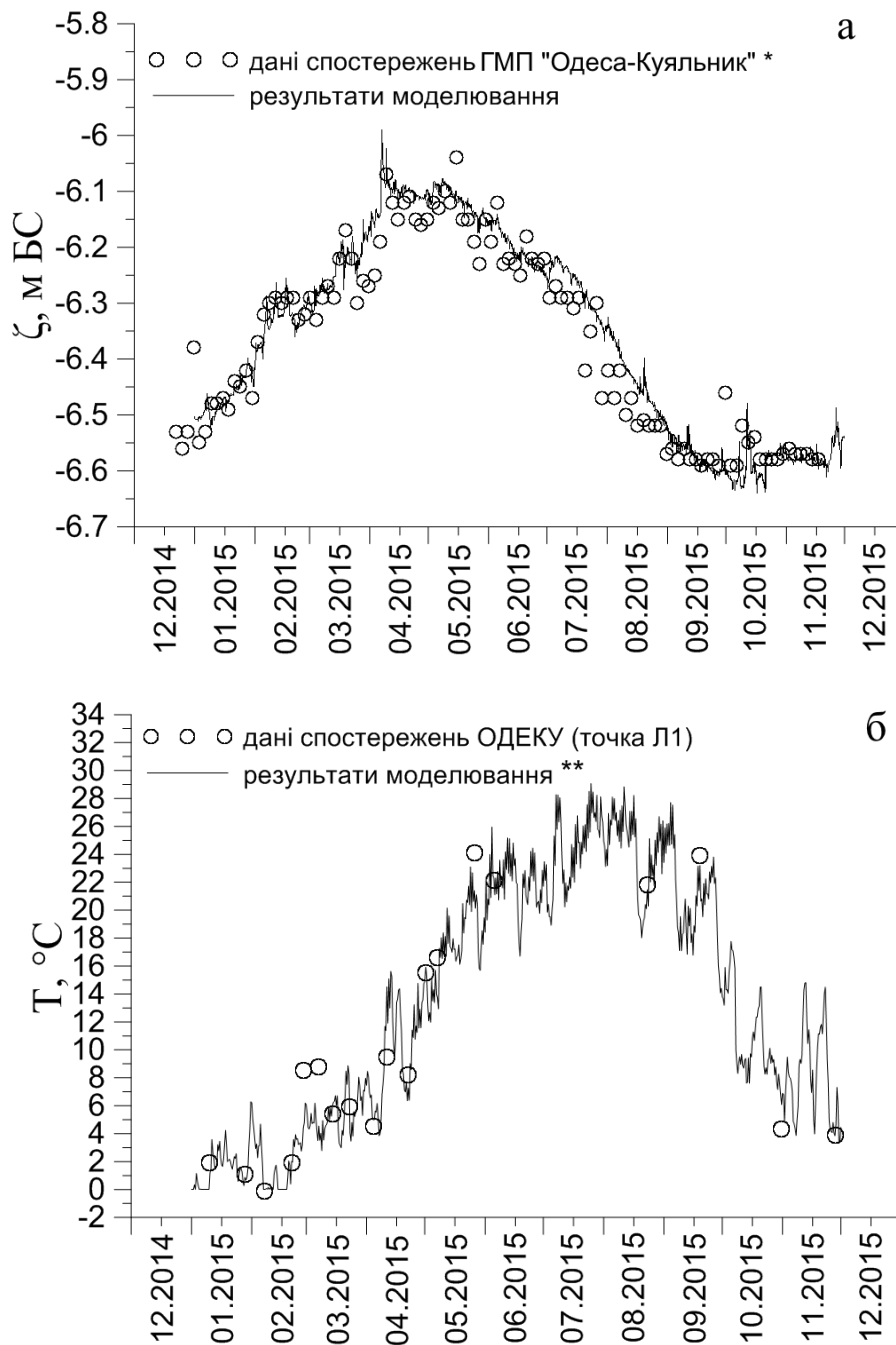


Рис. 10.8 – Часова мінливість атмосферних опадів, мм, у 2014-2015 рр. за даними різних гідрометеостанцій: а – «Одеса-ГМО»; б – «Любашівка»; в – «Одеса-Порт»



* дані проріджені через кожні 3 значення для зручності читання

Рис 10.9 – Часова мінливість рівня води, м БС, в Куюльницькому лимані у 2015 р. за даними натурних спостережень та отримана в результаті моделювання, з використанням даних спостережень за атмосферними опадами на ГМС «Одеса-ГМО» (а), «Любашівка» (б), «Одеса-порт» (в)



* дані проріджені через кожні 3 значення для зручності читання

** результати моделювання температури води представлені з кроком 12 год. для зручності

Рис. 10.10 – Часова мінливість рівня води, м БС, (а) та температури води, $^{\circ}\text{C}$, (б) в Куяльницькому лимані протягом 2015 р. за даними натурних спостережень (точки) та отримана в результаті моделювання (криві), з використанням даних спостережень за атмосферними опадами на метеопосту «Одеса-Куяльник»

Результати модельних розрахунків мінливості температури води в лимані, яка впливає на інтенсивність випаровування з його водної поверхні (див. рівняння 10.13, 10.19) і, таким чином, зумовлює зменшення рівня води, також добре узгоджуються з даними спостережень (рис. 10.10б). Річна мінливість місячних шарів випаровування, розрахована при моделюванні, наведена на рис. 10.11.

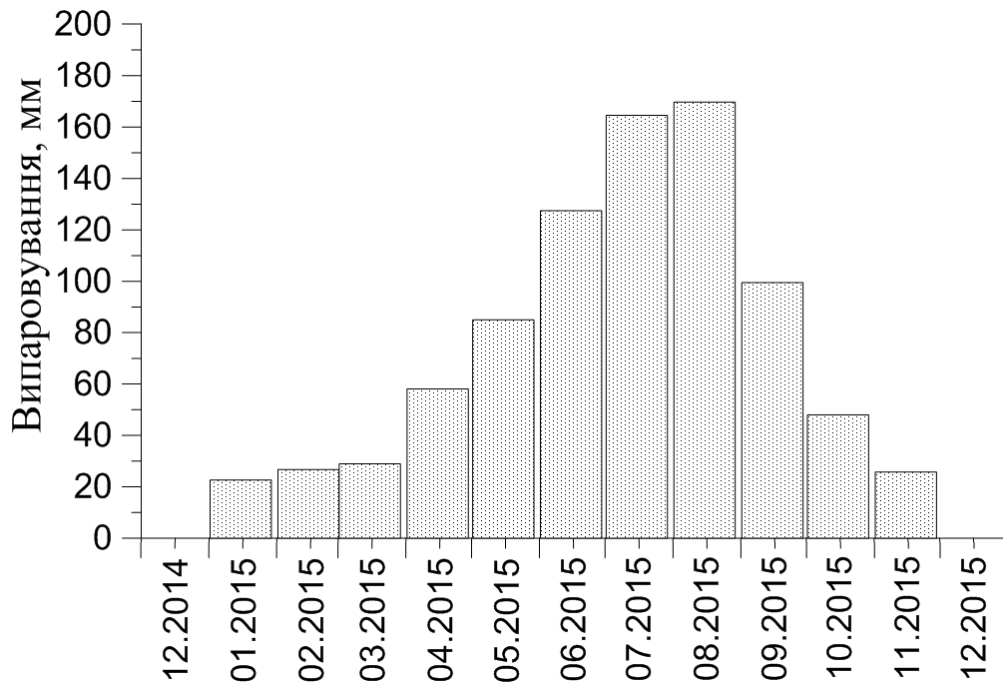


Рис. 10.11 – Розраховані в моделі місячні шари випаровування з водної поверхні центральної частини Куяльницького лиману

З більшими похибками, ніж температура води, відтворюється моделлю просторово-часова мінливість солоності води в лимані (рис. 10.12), особливо у його північній частині (рис. 10.12в). З огляду на значну мілководність північної частини лиману при відмітках рівня води, які спостерігались у 2015 р., зниження 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 відкладів, похибок при завданні глибин в цій частині лиману.

На рис. 10.13 наведені зведені ряди часової мінливості рівня води в точках біля північної та південної меж водної поверхні лиману у 2015 р. Вони свідчать про те, що при штормових вітрах повздовжніх (північних, південних) по відношенню до акваторії лиману напрямків, різниця відміток води в північній та південній його частинах може досягати 0,35-0,4 м.

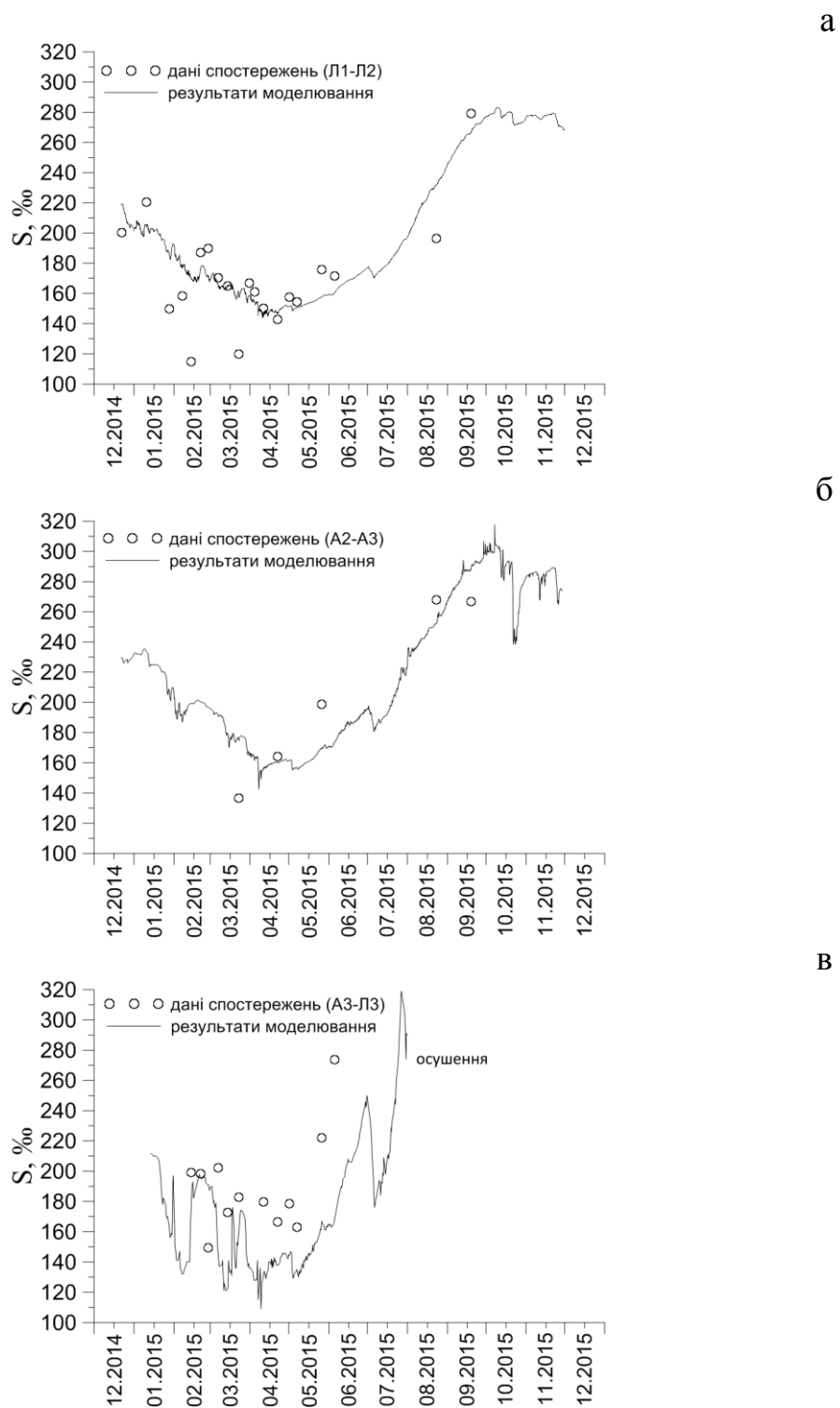


Рис. 10.12 – Часова мінливість солоності води в Куяльницькому лимані протягом 2015 р. за даними натурних спостережень (точки) та отримана в результаті моделювання (криві) в різних частинах акваторії лиману: а – середні значення між реперними точками Л1 та Л2; б – середні значення між реперними точками А2 та А3; в – середні значення між реперними точками А3 та Л3



Рис 10.13 – Часова мінливість відміток рівня, м БС (а), води біля північної та південної меж водної поверхні акваторії Куяльницького лиману

Уявлення про просторову мінливість відміток рівня води у лимані за вітрів різних напрямків і швидкості та відтворення моделлю зміни площі водного дзеркала лиману при різних відмітках середнього рівня води дають результати моделювання, представлені на рис. 10.14-10.15.

Отримані результати моделювання свідчать про можливість використання гідродинамічної моделі Delft3D-FLOW для діагнозу та прогнозу, дослідження особливостей просторово-часової мінливості гідрологічних характеристик Куяльницького лиману під впливом природних та антропогенних чинників, які формують його гідрологічний режим.

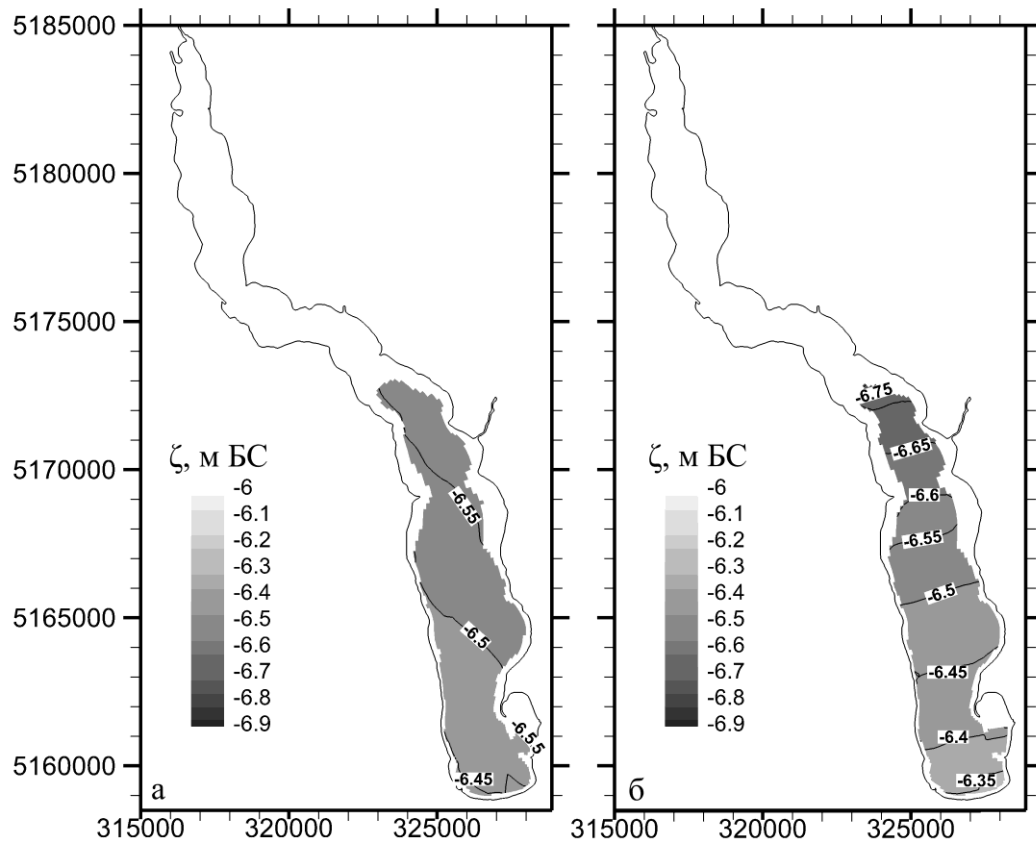


Рис. 10.14 – Отримана при моделюванні просторова мінливість відміток рівня води в лимані, м БС, та меж його водного дзеркала у різні моменти часу наприкінці грудня 2014 р.: а – 27.12.2014 р. 12:00; б – 29.12.2014 р. 15:00

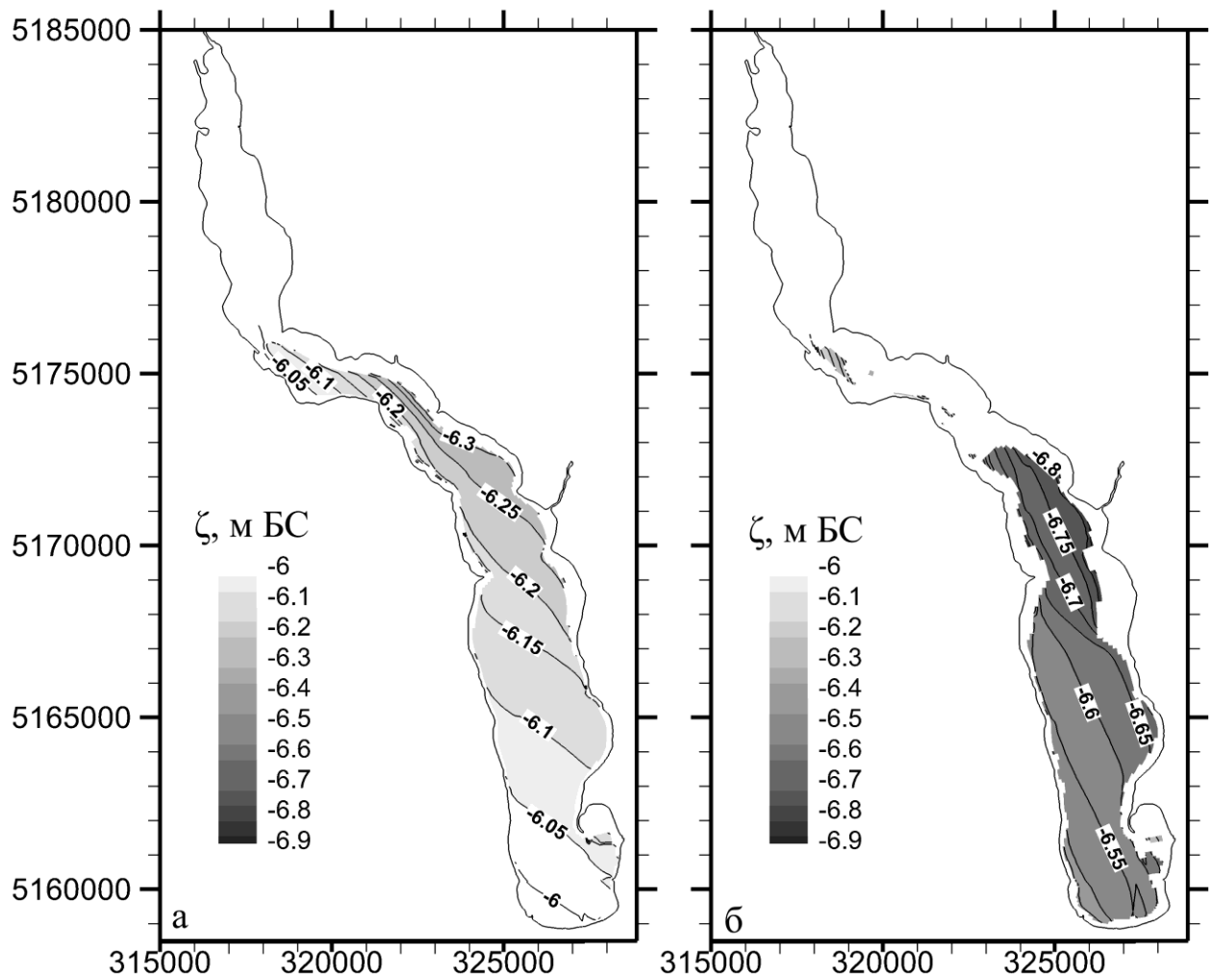


Рис. 10.15 – Отримана при моделюванні просторова мінливість відміток рівня води у лимані, м БС, та меж його водного дзеркала у різні моменти часу протягом 2015 р.: а – 07.04.2015 р. 03:00; б – 12.10.2015 р. 00:00

ВИСНОВКИ

Куяльницький лиман серед лиманів Північно-Західного Причорномор'я займає особливе місце. З одного боку, він є частиною Одеської міської агломерації, з іншого - відноситься категорії лікувальних водних об'єктів загальнодержавного значення. Використання природних ресурсів лиману для лікувальних, оздоровчих потреб визначається наявністю у ньому пелоїдів та ропи, а також видобутком мінеральних вод Куяльницького родовища та сприятливими кліматичними умовами, які утворилися у зоні поєднанням степу та моря.

Природна екосистема басейну Куяльницького лиману, як і більшості інших водних об'єктів Північно-Західного Причорномор'я, зазнає значного антропогенного навантаження. В цілому зазначену територію можна віднести до регіонів підвищеної екологічної небезпеки, що в свою чергу визначає відповідну стратегію подальшого розвитку її економіко-екологічної системи, яка полягає у розбудові природно-господарського комплексу регіону як рівноважної, збалансованої та взаємопідтримуючої системи всіх складових соціальних, економічних та екологічних взаємовідносин.

Розробка інтегрованої системи управління водними ресурсами басейну Куяльницького лиману повинна базуватися на принципах басейнового управління водогосподарським комплексом регіону з пріоритетами екосистемного підходу та залученням широкого кола громадськості, місцевих органів самоврядування під час формування водної політики території.

Погіршення показників природно-ресурсного потенціалу басейну зменшує економічну привабливість території, істотно звужуючи можливості застосування механізмів сталого розвитку регіону.

Серед природних ресурсів басейну Куяльницького лиману головне місце займають земельні та рекреаційні ресурси. У верхній та середній частинах водозбору переважають земельні ресурси (близько 70%), у нижній - рекреаційні ресурси (30-40%), які у теперішній час знаходяться у критичному стані. Основними чинниками погіршення природно-ресурсного потенціалу є неконтрольована антропогенна діяльність (затримання значної частини поверхневого стоку у недостатньо технічно обладнаних штучних водоймах, інтенсивне споживання підземних вод, оранка земель на вододілах і прибережних захисних смугах, випас свійської худоби, видобуток піску та інше) та зміни клімату, які відбулися у минулі два десятиріччя (зростання температур повітря на фоні незначного змінення опадів, що призвело до збільшення втрат талого поверхневого стоку у зимовий сезон, зростання випаровування як з поверхні суші, так і води, зменшення водності річок).

Поєднання впливу господарської діяльності та кліматичних змін призвело до зневоднення лиману та підвищення мінералізації його вод, що стало причиною загибелі водної бальнеологічної біоти та поставило під сумнів саму можливість подальшого існування лиману як цінного лікувального, бальнеологічного та рекреаційного об'єкта.

З урахуванням особливостей території, яка досліджується, специфіки розвитку її соціально-господарського комплексу, лікувального та рекреаційного значення Куяльницького лиману, одним з основних шляхів комплексного розвитку водного басейну повинна бути розробка регіональної стратегії, вдосконалення системи управління, удосконалення і посилення законодавчо-нормативної і регуляторної баз, максимальне залучення національних і міжнародних інвестиційних проектів.

Важливе місце у цих заходах займає оцінка гідроекологічного стану басейну лиману в сучасний період та майбутньому, обґрунтування доцільності заходів щодо збереження та відновлення його природних ресурсів, насамперед, водних.

Зараз розглядаються два основних напрямки стратегії заходів спрямованих на збереження природних ресурсів Куяльницького лиману. Перший з них передбачає перекидання морських вод з Одеської затоки до лиману, другий – відновлення водних ресурсів водотоків, які живлять лиман. У 2013-2014 рр. здійснено проектування гідротехнічної споруди, яка має з'єднувати Куяльницький лиман та Одеську затоку Чорного моря (трубопровід «море-лиман»). Після виконання будівельної й екологічної експертизи і наступного будівництва (у жовтні-грудні 2014 р.), 22 грудня відбувся пробний, а 24 грудня 2014 р. офіційний запуск морських вод до лиману. Відновлення водних ресурсів пов'язане із заходами щодо оптимізації роботи водогосподарських споруд та оцінкою наслідків впливу змін клімату на водні ресурси. Головною особливістю проблеми збереження Куяльницького лиману є значне антропогенне навантаження на всю екосистему лиману та прибережну частину Чорного моря, з якої морська вода має надходити до лиману. Починаючи з 1859 р. і до теперішнього часу, природний водно-сольовий режим Куяльницького лиману значно порушується інтенсивною господарською діяльністю як в акваторії, так і на водозбірному басейні.

Сучасний екологічний стан водозбору Куяльницького лиману оцінювався за допомогою біологічних показників. Головний висновок щодо сучасного стану біотопів лиману полягає у зміні характеру рослинності під впливом інтенсивного випасу худоби, який призвів до зникнення високорослих багаторічників, залишивши місце приземним злаковим травам. Крім того, на тлі еолового засолення із зневодненого ложа лиману відбувається заміна лугової флори і мезофауни на солонцеву. За аналізом трофічної структури імаго таксоцену *Diptera* було визначено перевагу альгофагів при високій присутності кровососів, некрофагів,

сапрофагів, копрофагів. Домінування альгофагів вказує на наявність тенденції до сезонного висихання водотоків з масовим розвитком мікроводоростей на зволоженому ложі, а вагома наявність кровососів, некрофагів, сапрофагів, копрофагів свідчить про зоогенне навантаження свійськими тваринами. Оцінка за відношенням до мікрокліматичним умов показала майже рівноцінне співвідношення гігрофілів та мезофілів, що додатково свідчить про зрушення мікрокліматичних умов у бік посушливості. Висока густота представників зоофільного пасовищного комплексу (сапрофагів, некрофагів, кровососів) на обмежених територіях становить безумовну загрозу для теплокровної фауни, а для Куяльницького лиману ще й санітарну.

Для цілісної оцінки стану суходільної частини водозбору показовим стало визначення характеру динаміки у структурі апідокомплексу, існування якого знаходиться в прямій залежності від різноманіття та продуктивності антофільної рослинності при наявності умов для гніздування. В результаті встановлено, що порівняно з 2008 р. до 2014 р. зникло більше 70% видового складу. За структурою спільноти залишкових видів визначено мезокліматичну трансформацію у бік аридності. В мезоксерофітній складовій історично був домінуючим степовий елемент, але у 2014-2015 рр. домінантом стали полізональні види. Такий характер трансформації свідчить про тотальні зміни структури вже самої екосистеми. На тлі кліматичних змін відбувається антропогенна трансформація біотопів. Зокрема, випадають види, що потребують певних гніздових субстратів (цілинні ділянки поверхні ґрунту, стебла багаторічних трав та деревний сухостій). Це свідчить про біотопічну руйнацію поверхні, що пов'язано з надмірним неконтрольованим пасовищним навантаженням.

Згідно результатам оцінок стану водного середовища за таксоценами водних *Coleoptera* та *Diptera* були встановлені дві головні риси трансформації – зоогенне підвищення органічного забруднення та поступове сезонне підвищення мінералізації до осолонення. Про це свідчить домінування у весняний-раньолітній період прісноводних сапрофілів та пізньолітнє підвищення питомої ваги стагнофільних галобіонтів. В межах берегової ділянки лиману у місцях прісного витоку з Корсунцівських ставків виявлено стійку галофільну фауну, де всі роки відмічались аборигенні види хірономід (*Chironomus salinarsus*) і незначна кількість живої артемії. Тобто, ця ділянку була і є рефугіумом, де зберігається фонд аборигенної біоти.

Головним проявом сучасної руйнації гідроекосистеми Куяльницького лиману є поступове зневоднення з підвищенням мінералізації до рівня, за яким зникає типовий гіпергалінний біоценоз. Однак відомо, що лімітуючим чинником, який зумовлює розвиток ультрагалінних гідробіонтів, є солоність, яка регулюється надходженням прісних вод.

На підставі аналізу закономірностей формування галофільної біоти в водоймах одностипних з Куяльником, можна прогнозувати сценарій самовідновлення (реабілітації) його біоти в різних діапазонах розрахункової солоності, які очікуються при наповненні морською водою. Динаміка формування біоти на першому етапі вбачається в послідовній заміні тимчасових морських комплексів екобіоморф хорогалінних зон від морської (26-29‰) та основної морської зон (26-42 ‰) до перехідної морської-гіпергалінної зони (40-51‰). Після цього повинна натуралізуватись стала гіпергалінна біота бальнеологічного значення (від 100-180‰), у типовому складі якої обов'язковий один вид фільтраторів з числа артемій, 6-10 видів ультрагалобних мікроводоростей планктону та бентосу з такими домінантами як *Dunaliella salina*. У зонах тимчасового розпріснення (талими водами, атмосферними опадами) при солоності 45-90‰ можливе тимчасове формування зоопланктонних та зообентосних спільнот гідробіонтів з короткими циклами розвитку, які дадуть додаткове біорізноманіття. Найбільш вірогідними домінантами очікуються типові для таких умов *Brachionus plicatilis*, *Hexarthra oxyuris*, *Moina satinet*, галофільні хірономіди, мокреці та коротковусі двокрилі з родин *Stratiomyidae*, *Tabanidae*, *Empididae* та ін., що дають значну біомасу і забезпечують первинну трансформацію надлишкового органічного осаду. Передбачаючи можливість існування в лимані застійних зон з солоністю вище 200‰ (межа, за якою припиняється існування бальнеологічної біоти), можна очікувати інвазійну появу іншого виду з числа артемій - *Artemia urmiana*, який є екологічним аналогом аборигенного виду *Artemia salina* (= *Artemia tunisiana*) з тією відмінністю, що *Artemia urmiana* здатний існувати при солоності до 370‰, забезпечуючи функціональну стабільність повноцінної бальнеологічної спільноти у надшироких межах коливання солоності і за самими екстремальними температурами.

Щодо вірогідних змін біоти Куяльницького лиману внаслідок глобального потепління, то відомі геонічні закономірності вказують на реальність заміщення автохтонних видів на інвазійні із зон з більш жорстким ксеротермічним режимом. Для залишкових автохтонних ксерофільних степових і напівпустельних видів зміни клімату викличуть зсув весняних і осінніх фенофаз на більш ранні і більш пізні терміни, відповідно (сезонна ефемерність). Очікуваним джерелом майбутнього формування біоти Куяльницького лиману за принципом зонального вікаріату вірогідні біоти сучасних аридних субтропіків Азербайджану, півдня Середньої Азії, Ірану та Афганістану. Тобто, можна припустити майбутнє формування фітоценозів та тваринного населення екосистеми водозбору Куяльницького лиману за рахунок інвазії видів саме з цих регіонів. Ця тенденція намітилася вже в цей час.

Вивчення водогосподарської діяльності на водозборі Куяльницького лиману показало, що поняття "природний стік" для річок, які його

живлять, цілком втратило своє значення. Серед малих та середніх річок Північно-Західного Причорномор'я найбільш зарегульована річка Великий Куяльник. Основну роль в цьому відіграють численні ставки і водосховища та інші гідротехнічні споруди. У 2010 р., за даними досліджень ОДЕКУ, кількість водойм дорівнювала 135 шт. із загальним об'ємом (при максимальному наповненні) близько 15,6 млн. м³ і площею водної поверхні – 6,26 км². В середні за водністю роки, ставками та водосховищами перехоплювалася половина природного стоку річки, а в маловодні – практично весь стік. Тільки під час особливо високих водопіль і паводків вода переливалася через гребені «глухих» дамб або руйнувала їх та рухалась далі в Куяльницький лиман.

На зменшення об'єму водного стоку річки Великий Куяльник помітно вплинуло її спрямління, яке становило 78% (132 з 170 км) основного русла річки. Спрямлення русла було лише першою частиною в системі заходів з регулювання стоку. Друга частина (приблизно до 2000 р.) складалася з мережі 20 шлюзів-регуляторів, які побудували для затримки вод водопіль і паводків (об'ємом 2,0 млн. м³), а також лиманного зрошення (зволоження) сільськогосподарських угідь на заплаві річки.

З використанням топографічних карт, супутникових знімків, довідникової літератури та результатів експедиційних досліджень ОДЕКУ побудовано схеми русло-балкової мережі східного берега 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 (ставків, копаней тощо). Крім того, за результатами досліджень ОДЕКУ для річок Кубанка та Довбока визначені площі водних поверхонь та об'єми ШВ при їх максимальному наповненні, а також описані основні характеристики ГТС станом на середину 2012 р.

Виявлено, що основним чинником порушення водних ресурсів басейну Куяльницького лиману є створення і функціонування штучних водойм. Їх малі глибини та недостатнє технічне обладнання сприяють в умовах глобального потепління зростанню втрат стоку малих та середніх річок, які живлять лиман. Установлено, що тільки у межах водозбору р. В. Куяльник їх кількість дорівнює 135 шт.

На зменшення об'єму водного стоку річок помітно вплинули “спрямління” їх русел, побудова шлюзів-регуляторів, які дозволяли використовувати стік річок для лиманного зрошення, оранка земель на вододілах та у прибережній захисній смузі, замулення штучних водойм та їх подальше пересихання.

Сьогодні розроблені рекомендації щодо оптимізації водогосподарської діяльності на водозборі Куяльницького лиману. Визначено, що первинні заходи із відновлення припливу прісних вод від водотоків до лиману мають включати до себе перевірку ефективності

роботи штучних водойм, очищення русел від донних відкладів, посилення водообміну та умов для інтенсифікації самоочищення, реконструкцію планових форм русел річок на ділянках зі штучно зміненими, наприклад, спрямленими формами русел.

Визначені за біологічними показниками негативні зміни екологічного стану водозбору Куяльницького лиману та наявність значної кількості гідротехнічних споруд вказують на можливість існування суттєвих змін у гідрохімічному режимі розглянутих водних об'єктів. Для його оцінки були використані архівні, літературні, дані гідрохімічних спостережень та результати експедиційних досліджень ОДЕКУ.

Показано, що в середньому за багаторічний період мінералізація атмосферних опадів в басейні Куяльницького лиману за даними вимірювань на метеостанціях «Одеса-Обсерваторія» та «Любашівка» змінювалась від 20,5 до 44 мг/дм³. Серед аніонів в обох пунктах контролю переважає сульфат, серед катіонів – кальцій. За даними метеостанції «Одеса-Обсерваторія» визначено, що в районі лиману атмосферні опади належали до сульфатного класу, групи магнію та кальцію, другого типу, підтипу б – $S_{\text{II}60,035}^{\text{MgCa}0,34}$. За мінералізацією атмосферні опади були прісні (дуже прісні), за твердістю – дуже м'якими. Вміст азоту амонійного змінювався від 0,32 до 1,46 мг/дм³. Значний вміст іонів сульфату пов'язаний як з природними, так і з антропогенними процесами. Він зумовлює високу окисну здатність і сильну кислотну агресивність атмосферних опадів. За даними ОДЕКУ визначено, що в середньому за величиною рН атмосферні опади належать до нейтральних вод, змінюючись від слабкокислих (рН = 5,46 – у березні 2015 р.) до слабколужних (рН = 7,68 – у жовтні 2014 р.). Крім того, за даними вимірювань в 2013-2015 рр. визначено, що середньомісячні значення мінералізації атмосферних опадів в окремі місяці теплого періоду року перевищують 120 мг/дм³, зменшуючись при зростанні кількості опадів за місяць. Таким чином, атмосферні опади в басейні Куяльницького лиману можуть досить помітно впливати на хімічний склад поверхневих і підземних вод в цьому районі, тому це необхідно враховувати при здійсненні гідролого-гідрохімічних розрахунків.

У межах басейну Куяльницького лиману виділяють 8 підземних водоносних горизонтів, які залягають у відкладах четвертинної, неогенової, палеогенової, крейдяної систем. Підземні води використовуються для водопостачання та господарських потреб. Мінералізація підземних вод змінюється в межах від 300 до 17800 мг/дм³, рН води дорівнює 6,5-8,5, загальна твердість – 4-157 ммоль/дм³, вміст азоту нітратного – 0-4,5 мг/дм³, азоту загального – від 0 до 3373 мг/дм³. 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 через сільськогосподарські угіддя на схилах і вододільному плато.

Антропогенне навантаження на екосистему басейну р. В. Куяльник позначається, в першу чергу, на зростанні мінералізації води (до 14700 мг/дм³ у ставку нижче с. Шутове) та високому рівні забруднення органічними сполуками, на що вказують величини інтегральних показників органічного забруднення ХСК та БСК₅. Крім того, визначено, що вміст амонійного азоту, фосфатів, фенолу та свинцю перевищує величини ГДК для водойм як культурно-побутового і господарсько-питного, так і рибогосподарського призначення. За іонним складом вода р. В. Куяльник солонувата, хлоридно-сульфатного класу, переважно натрієвої групи, третього типу. Середня мінералізація води в басейні р. В. Куяльник за даними ОДЕКУ в 2010 р. становила 4260 мг/дм³

За даними гідрохімічних спостережень ОДЕКУ в 2012 р. визначено, що мінералізація води в гирлі р. Кубанка складала 1660-13000 мг/дм³, в гирлі р. Довбока – лише 1000-2970 мг/дм³, а в ставках – 110-370 мг/дм³. Домінуючим катіоном у воді річок Кубанка та Довбока є натрій, аніоном – хлор. Значні концентрації сполук азоту (до 3,19 мгN/дм³ азоту амонійного у воді р. Довбока), які були виявлені у всіх пробах води, взятих на цих водних об'єктах, вказують на їх постійне забруднення. Мінералізація ґрунтових вод складала від 209 (в басейні р. Довбока) до 3538 мг/дм³ (в басейні р. Кубанка). За іонним складом ґрунтових вод у басейнах річок Довбока та Кубанка домінуючим катіоном є натрій, аніоном – хлор. Крім того, в усіх відібраних пробах ґрунтових вод виявлено значний вміст сполук азоту, що вказує на їх забруднення.

Мінералізація води найбільших балок на узбережжі Куяльницького лиману складала: 947-2673 мг/дм³ – в б. Корсунцівська, 1363-6785 мг/дм³ – в б. Гільдендорфська. Високі концентрації сполук азоту і фосфору у воді цих балок свідчить про їх постійне забруднення.

Мінералізація води ставків пересипу між лиманом і морем (або Лузанівських ставків) в середньому становила 3533 мг/дм³, зменшуючись до 1600-1800 мг/дм³ після випадіння інтенсивних атмосферних опадів. На узбережжі ставків розташовані несанкціоновані звалища сміття, на ділянках прибережних смуг водойм (особливо прилеглих до Об'їзної дороги м. Одеси) спостерігалась нафтова плівка, а в деяких місцях на дні водойм виявлені нафтопродукти (мазут).

Таким чином, при вивченні гідрохімічних показників вод річок Кубанка і Довбока, балок Корсунцівська і Гільдендорфська в басейні Куяльницького лиману та ставків пересипу між лиманом і морем визначено, що поверхневі та підземні води цих водних об'єктів зазнають постійного забруднення, яке проявляється у підвищених концентраціях біогенних сполук, насамперед, азоту та фосфору. Також виявлено, що найбільш забрудненими є води в місцях, де на узбережжі водних об'єктів

існують несанкціоновані звалища сміття або скиди неочищених господарсько-побутових стічних вод (наприклад, в балці Гільдендорфська в районі с. Красносілка).

Якість води та екологічний стан річок Кубанка і Довбока, балок Корсунцівська і Гільдендорфська та озер пересипу (згідно з «Методикою екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями») погіршується внаслідок високих концентрацій мінеральних і біогенних речовин та органічних сполук. Крім того, результати оцінки якості води за комбінаторним індексом забруднення дозволяють зробити висновок, що води вказаних водних об'єктів не можуть безпечно використовуватись для рибогосподарських потреб без ризику для риб та кінцевого споживача – людини. Поліпшення екологічного стану та якості води цих водних об'єктів можливе лише за умов суворого дотримання вимог водоохоронного законодавства.

Оцінка підземних вод у колодязях в басейнах річок Довбока та Кубанка згідно ДСанПіН 2.2.4-171-10 «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» та 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. Тобто, вода такої якості при її використанні для питного водопостачання потребує додаткового оброблення, а саме: кондиціювання за органолептичними показниками та показниками хімічного складу води.

Води Куяльницького лиману, згідно класифікації природних вод за їх мінералізацією, відносяться до розсолів або ропа. Ропи лиману являє собою метаморфізовану морську воду хлоридно-натрієвого типу. Коефіцієнт метаморфізації ропа (співвідношення $MgSO_4/MgCl_2$ - величина, яка характеризує ступінь відхилення сольового складу природних розсолів від нормальної морської води) більший від нуля. За класифікацією Курнакова-Валяшко ропи лиману відноситься до 1-го класу розсолів, для яких характерний вміст хлоридів натрію і магнію та сульфатів натрію, магнію та кальцію. При зниженні рівнів води в літні періоди 2009-2015 рр. ропи гіперсолоного Куяльницького лиману перетворювалась на перенасичений («міцний») водно-сольовий розчин, солоність якого за даними вимірювань в серпні 2009 р. сягала 390 ‰, «опріснюючись» тільки в періоди весняного водопілля та короткочасних інтенсивних зливових опадів, як, наприклад, наприкінці травня 2012 р., коли солоність ропа лиману зменшилась до 206 ‰. При солоності вище 150 ‰ в лимані неодноразово спостерігали процес осадження солі, який супроводжувався випадінням гіпсу ($CaSO_4$) і тому різким зменшення іонів SO_4^{2-} і Ca^{2+} . Після

надходження до лиману прісних вод відбувався процес розчинення гіпсу та інших осаджених солей.

В ропі та донних відкладах лиману, особливо в його південній частині, реєструються високі концентрації забруднювальних речовин – нафтопродуктів, важких металів та ін. Основними постійними джерелами забруднення акваторії лиману є залізниця, стихійні звалища побутових і промислових відходів на берегах лиману, неочищені господарсько-побутові та промислові стоки.

Враховуючи різні аспекти екологічної кризи, яка має місце на водозборі Куяльницького лиману, можна відзначити, що поповнення лиману морськими водами є тимчасовим заходом щодо його збереження. Головною задачею є зменшення антропогенного навантаження та відновлення природного стану водозбору. Проте разом із місцевим або внутрішнім впливом, який пов'язується з водогосподарською діяльністю, водозбір Куяльницького лиману зазнає зовнішнього впливу, спричиненого змінами клімату. В зв'язку з цим, значна увага була приділена визначенню тенденцій зміни водних ресурсів, яка відбувалася протягом останніх двох десятиріч, та прогнозуванню її за сценаріями змін глобального клімату.

З усіх річок та тимчасових водотоків, які живлять Куяльницький лиман, гідрометричні спостереження організовані лише на річці Великий Куяльник та у її створі – с.Северинівка. Вони розпочалися з 1986 року. У зв'язку із недостатністю 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 зумовлено 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 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 за період водопілля.

Дослідження внутрішньорічного розподілу стоку показали, що річка пересихає кожного року. У багатоводні роки стік формується у зимові та весняні місяці, у середні за водністю – тільки у весняні. У маловодний рік стік річки був відсутній протягом усіх місяців. На початку XXI 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 створ

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 значною мірою на фільтрацію талих вод у ґрунт.

Оцінка змін кліматичних чинників та характеристик стоку виконувалась на основі порівняння досліджуваних характеристик до та після 1989р. (цей рік є переламним у зміні температурного режиму повітря в Україні). Оцінка змін кліматичних чинників (температур повітря та опадів) дозволила визначити, що середні річні температури зросли протягом 1989-2011рр. на водозборі Куяльницького лиману на 1°C . Температури теплого періоду збільшилися на 0.7°C , холодного – на 1.3°C . Отже зростання температур на водозборі у холодний період року відбувається інтенсивніше, ніж у теплий. Лінія регресії, яка апроксимує хронологічний хід середніх температур холодного періоду, після 1988р. перейшла з області від'ємних у область додатних значень. Проте суми опадів, починаючи з 1989р., практично не змінилися при їх порівнянні із даними до 1989р. У холодний період навіть виявлено незначне зменшення опадів.

Проведений аналіз змін кліматичних чинників на водозборі Куяльницького лиману вказує на несприятливі умови для формування стоку річок, оскільки зростання температур повітря теплого періоду року зумовлює, насамперед, зростання втрат на випаровування з поверхні суші та з водного дзеркала лиману. У холодний період зростання температур повітря призводить до збільшення кількості та тривалості відлиг, незначної глибини промерзання ґрунту, що зменшує максимальні витрати води весняного водопілля та збільшує втрати поверхневого талого стоку на інфільтрацію. Зменшення суми опадів холодного періоду сприяє зменшенню об'єму стоку у період весняного водопілля навіть при сприятливих для його формування температурах. Зростання опадів теплого періоду несуттєво впливає на умови формування стоку внаслідок інтенсивного зростання температур повітря. При високих температурах повітря й глибокому заляганні ґрунтових вод опади теплого періоду витрачаються, головним чином, на випаровування.

Визначено існування тенденції до зменшення побутового річного стоку, яке у період 1989-2011рр. досягло 70% у порівнянні із періодом 1953-2011рр.

Показано, що потепління в зоні степу супроводжується після 1989р. зростанням тривалості бездошових періодів та інтенсивних посух, аналіз яких виконувався за індексом SPEI. Тривалі бездошові періоди та формування метеорологічних посух спричиняють гідрологічну посуху, яка зумовлює зменшення стоку річок у період літньо-осінньої межени та сприяє збільшенню тривалості їх пересихання. Ці обставини

унемоżliвлюють спроможність водотоків наповнити значну кількість штучних водойм.

Для оцінки змін водних ресурсів, які відбулися у минулі два десятиріччя, та передбачення цих 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 сценаріїв 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 характерна нестача даних гідрологічних спостережень і їх значна трансформація водогосподарською діяльністю.

Визначено, що сумарний об'єм прісних вод, які б мали надходити до Куяльницького лиману у природних (непорушених водогосподарською діяльністю) умовах формування стоку минулого сторіччя, становив би 22,2 млн.м³. Притому приплив стоку від р.Великий Куяльник складав би 91,8% від загального надходження прісних вод від водотоків до Куяльницького лиману.

Розрахунки об'ємів стоку у роки різної забезпеченості показали, що навіть у природних умовах для річки В.Куяльник була можливою 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%). Річний стік у балках міг дорівнювати 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.

Проте саме з середини минулого сторіччя відбувалася інтенсифікація сільського господарства, у ході якої будувалися водогосподарські споруди, насамперед штучні водойми. За результатами проведених співробітниками 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 становить 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 зумовлюється 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 витрачалось близько 40% повного об'єму існуючих штучних водойм. У минулому сторіччі наслідки розбудови штучних водойм призвели до зменшення водних ресурсів річок водозбору Куяльницького лиману на 38%. Таким чином, виконуючи роботи з відновлення природного водного режиму водотоків шляхом оптимізації водогосподарської діяльності можна було б значно збільшити кількість прісних вод, що надходять до лиману з водотоками, та поліпшити їх якість. Однак, проведені дослідження вже показали наявність тенденцій до зростання температур повітря на фоні незначної зміни опадів, що має погіршувати умови формування стоку, особливо у весняний сезон.

Прогнозні розрахунки стану водних ресурсів водотоків водозбору Куяльницького лиману виконувалися на основі сценаріїв глобального потепління для природних та перетворених водогосподарською діяльністю умов.

Вибір оптимального для лиманів Одеської агломерації сценарію кліматичних змін відбувався на основі аналізу результатів розрахунків за 15 кліматичними моделями з бази даних ENSEMBLES. В результаті був обраний регіональний кліматичний сценарій, отриманий за моделлю REMO (M10), розроблений в Інституті метеорології ім. Макса Планка (м. Гамбург). Цей сценарій найбільш адекватно описує часову мінливість середніх місячних температур повітря і опадів за перевірний період 1998-2007 рр. (метеостанція Любашівка). Поряд з тим багатьма дослідниками також використовується модель RCA3, гілка сценаріїв A2.

За критеріями відповідності сценарних (за ретроспективний період) та спостережених середньомісячних даних про температури повітря та опади виявлено, що модель REMO (сценарій A1B) більш якісно описує метеорологічний режим на метеостанціях, розташованих у межах водозбору Куяльницького лиману або на прилеглих територіях, ніж модель RCA3 (сценарій A2). Співставлення точності розрахунків норм річного кліматичного стоку за фактичними і сценарними метеорологічними даними показало, що точність визначення цих величин набагато краща при застосуванні сценарію A1B. У подальшому оцінки змін кліматичних чинників та стоку виконувались для обох сценаріїв, але для практичного застосування для проектних та наукових розробок слід орієнтуватися на дані розрахунків за сценарієм A1B (модель REMO).

Аналіз змін температур повітря та опадів у XXI сторіччі показав існування стійких тенденцій до зростання температур за рік, холодний і теплий періоди. Температури зростатимуть більш інтенсивно за сценарієм А1В. За обома сценаріями можливе суттєве зростання температур у 30-ті роки XXI сторіччя. У хронологічному ході опадів суттєвих змін не очікується.

На території Північно-Західного Причорномор'я, згідно з розглянутими сценаріями глобальної зміни клімату А1В та А2, у майбутньому очікуються несприятливі для формування стоку річок кліматичні умови. Оцінка можливих змін водних ресурсів Північно-Західного Причорномор'я у XXI сторіччі на базі моделі «клімат-стік» із застосуванням сценарних метеорологічних даних до 2050 р. показала, що за сценарієм А1В водні ресурси будуть зменшуватися. У 2011-2030 рр. це зменшення буде досягати 50%, що відповідає стану їх руйнування. У 2031-2050 рр. зменшення перевищить 70%, що означає незворотне руйнування. Сценарій А2 є більш «поблажливим» для стану водних ресурсів, через менш інтенсивне зростання температури повітря, у порівнянні із А1В, та повільне зменшення річних опадів. В результаті розрахунків за сценарієм А2 виявлено, що водні ресурси у XXI сторіччі досягнуть стану руйнації та безповоротної руйнації лише на півдні. У північній частині території водні ресурси до 2050 р. можуть залишитися практично незмінними. Аналіз зміни показника посушливості клімату за сценаріями дозволив визначити можливий перехід Північно-Західного Причорномор'я у XXI сторіччі до території напіваридного клімату (за сценарієм А1В).

Розрахунки змін кліматичних чинників та річного стоку у басейні Куяльницького лиману виконувались для 12 точок-вузлів 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., 2081-2100 рр. Установлено, що у цілому по водозбору Куяльницького лиману зміни річних опадів по виділених інтервалах часу не перевищуватимуть 3%. Максимально можливе випаровування буде зростати від +7% у 1990-2020рр. до 23% у 2051-2100рр. Норма річного стоку буде зменшуватись за виділені розрахункові інтервали на -29%, -39%, -47%, відповідно. Непорушені водогосподарською діяльністю (природні) водні ресурси до 2050р. зменшаться за рахунок кліматичних умов від 22,2 млн.м³ (за кліматичним станом до 1989р.) до 13,5 млн.м³, що становитиме близько 39%. 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.

Для передбачення змін максимального річкового стоку в умовах глобального потепління була застосована універсальна методика розрахунків, розроблена під керівництвом Є.Д. Гопченка, згідно з якою максимальні витрати весняного водопілля і дощових паводків визначаються за загальним структурним рівнянням. Установлено, що максимальні модулі весняного водопілля (одновідсоткові) коливаються від $0,07 \text{ м}^3/(\text{с}\cdot\text{км}^2)$ для р.Великий Куяльник з площею водозбору $F = 1860 \text{ км}^2$ до $1,88 \text{ м}^3/(\text{с}\cdot\text{км}^2)$ для б.Млинова з площею, яка дорівнює $2,20 \text{ км}^2$. Максимальні (одновідсоткові) модулі дощових паводків у межах басейну р.Великий Куяльник змінюються, залежно від розмірів водозборів, від $0,069 \text{ м}^3/(\text{с}\cdot\text{км}^2)$ (р.Великий Куяльник) до $9,8 \text{ м}^3/(\text{с}\cdot\text{км}^2)$ (балка Млинова). За розрахунковим відношенням максимальних витрат води весняного водопілля і дощових паводків забезпеченістю $P=1\%$ визначено, що на водозборах з розмірами від 638 км^2 і до 1860 км^2 більшими за значеннями є характеристики весняного водопілля, а починаючи з площі водозбору $F = 69,5 \text{ км}^2$ (р.Довбока), дощові паводки забезпеченістю $P=1\%$ суттєво перевищують максимальні витрати води весняного водопілля.

Оцінка можливих змін максимального стоку весняного водопілля (модулі стоку весняного водопілля одновідсоткової забезпеченості), виконана за метеорологічними даними сценарію глобального потепління (M10, гілка сценаріїв A1B) на 2010-2050рр. показала, що у середньому зміни цієї характеристики на річках та тимчасових водотоках будуть знаходитися у межах 20%. На водотоках південної частини басейну Куяльницького лиману очікується більш суттєве зменшення максимальних модулів стоку весняного водопілля (до 80%).

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 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 за період з 1986 по 2015рр. 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 (1987р.) та функціонування трубопроводу «море-лиман» (2015р.), показало їх задовільну збіжність, а середні відносні відхилення розрахованих середньомісячних рівнів і мінералізації води від виміряних не перевищували $\pm 10\%$. З урахуванням цього, 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 $200 \text{ г}/\text{дм}^3$, 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.

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», 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 $40 \text{ г}/\text{дм}^3$ (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 забезпеченістю $P=1\%$, 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 вищевказаного варіанта 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 ($200 \text{ г}/\text{дм}^3$);
- 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 збільшується на 3,9 млн. т (або на 45% відносно початкової кількості солей в лимані).

З урахуванням цього, при поповненні Куяльницького лиману морською водою у майбутньому рекомендується організувати роботу трубопроводу «море-лиман» за обраним варіантом.

Для вирішення задачі діагнозу та прогнозу просторово-часової мінливості гідрологічних характеристик лиману (рівня, солоності, температури води), які зумовлюють хімічні та біологічні процеси у ньому, і, таким чином, впливають на властивості ропи та лікувальних грязей, була застосована нестационарна тривимірна чисельна гідротермодинамічна модель Delft3D-FLOW. Наведені в роботі результати адаптації до умов Куяльницького лиману та верифікації цієї моделі свідчать про можливість її використання для дослідження особливостей і прогнозування просторово-часової мінливості гідрологічних характеристик

Куяльницького лиману під впливом природних та антропогенних чинників, які формують його гідрологічний режим.

Чисельні експерименти з моделлю показали, що через морфологічні особливості ложа лиману та його мілководість, правильно відтворити мінливість гідрологічних умов в ньому можливо лише за умови врахування не тільки стоку р.В.Куяльник, але й надходження прісних вод від інших тимчасових водотоків яружно-балкової системи лиману, зливових та стічних вод через лоткові водостоки. Виключно важливу роль у формуванні внутрішньорічної мінливості рівня та солоності води в лимані відіграють зливи опади. Точність завдання їх інтенсивності та повторюваності при імітаційному моделюванні визначає систематичну похибку діагностичних та прогностичних розрахунків.

За результатами моделювання також встановлено, що при штормових вітрах повздовжніх по відношенню до акваторії лиману напрямків, різниця відміток води в північній та південній його частинах може досягати 0,35-0,4 м. Це необхідно враховувати при аналізі даних спостережень за рівнем води в лимані, виконаних в окремих точках його акваторії.

Приведені в монографії результати є науковим підґрунтям для розробки планів моніторингу, водного й екологічного менеджменту Куяльницького лиману із застосуванням басейнового принципу управління його водними ресурсами, згідно вимогам Водної рамкової директиви ЄС.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

До вступу

1. *Степаненко С.Н.* Причины обмеления Куяльницкого лимана и пути его спасения. – Одесса: Экология, 2013. - 35 с.
2. *Шихалеева Г.Н., Будняк А.К., Кирюшкина А.Н.* К вопросу о биологической активности донных отложений Куяльницкого лимана / Материалы Всеукраинской научно-практической конференции «Природно-ресурсный потенциал Куяльницкого и Хаджибейского лиманов, территории межлиманья: современное состояние, перспективы развития» (18-20 ноября 2015 г.). – Одесса: ТЭС, 2015. – С.134-137.
3. *Оцінка* впливу кліматичних змін на галузі економіки України / Під ред. Степаненко С.М., Польового А.М. – 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 А1В) // Український гідрометеорологічний журнал. – Одеса: ТЕС, 2014. – Вип. 15. - С.149-159.
5. *Кліматичні* зміни та їх вплив на сфери економіки України: [монографія]/ колектив авт.:С.М. Степаненко, А.М. Польовий, Н.С. Лобода [та ін.]; за ред. С.М.Степаненка, А.М.Польового.-Одеса: Вид. “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 (2-4 мая, 2011, г. Женева).- 2011.
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 международной научной конференции “Современные проблемы гидроэкологии, перспективы, пути и методы решений” (17-19 мая 2012р). – 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, затверджена рішенням Одеської обласної ради № 270-VI від 28.10.2011 р. (з усіма змінами та доповненнями).
9. *Гребінь В.В.* Сучасний водний режим річок України (ландшафтно-гідрологічний аналіз) / В.В. Гребінь. – К.: 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.* – 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 // *Материалы Всеукраинской научно-практической конференции «Природно-ресурсный потенциал Куяльницкого и Хаджибейского лиманов, территории межлиманья: современное состояние, перспективы развития» (18-20 ноября 2015 г.)* . – Одесса: 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.* – 2014. – 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.* – Л.: 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 // *Материалы Всеукраинской научно-практической конференции «Природно-ресурсный потенциал Куяльницкого и Хаджибейского лиманов, территории межлиманья: современное состояние, перспективы развития» (18-20 ноября 2015 г.)* . – Одесса: ТЭС, 2015. – С.17-19.
16. *Эннан А.А., Шихалеева Г.Н., Кирюшкина А.Н.* Экологическое состояние Куяльницкого лимана // *Материалы Всеукраинской научно-практической конференции «Природно-ресурсный потенциал Куяльницкого и Хаджибейского лиманов, территории межлиманья: современное состояние, перспективы развития» (18-20 ноября 2015 г.)*. – Одесса: 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 бюллетень.*- 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. – Вып. 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. – К.: ЦГО, 2013.
 22. *Архів* погоди в Одесі (01.02.2005-22.12.2015). Метеостанція № 33837 (WMO ID) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://rp5.ua>.
 23. *Архів* погоди в Одесі (аеропорт), METAR (26.09.2012-22.12.2015). Аеропорт (ICAO) UKOO [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://rp5.ru>.
 24. *Архів* погоди в Сербці (26.10.2005-10.12.2013). Метеостанція № 33833 (WMO ID) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://rp5.ru>.
 25. *Ежегодные* данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши, 1936-2011 гг. – Ч. 1 и 2. – Том 2. – Вып. 1. – 1938-2012.
 26. *Державний водний кадастр*. Щорічні дані про якість поверхневих вод суши. 2009-2011 рр. Частина 1. Річки. Частина 2. Озера, водосховища, лиман. Україна. Випуск 1. Басейни Західного Бугу, Дунаю, Дністра, Південного Бугу. – Київ: Центральна геофізична обсерваторія, 2010-2012.
 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 годы. – Одесса, 1954, 1960-1973, 1975, 1976, 1978-1985, 1987-1989, 1992-1997.
 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. – 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. *Матеріали* Всеукраїнської науково-практичної конференції «Природно-ресурсний потенціал Куяльницького та Хаджибейського лиманів, території міжлимання: сучасний стан, перспективи розвитку»; ОДЕКУ; УКРМЕПА. – Одеса: ТЕС, 2015. – 152 с.
 36. *Адобовский В.В.* Регулируемый водообмен лиманов с морем и возникающие при этом проблемы // Материалы Всеукраинской научно-практической конференции «Природно-ресурсный потенциал Куяльницкого и хаджибейского лиманов, территории межлимання: современное состояние, перспективы развития» (18-20 ноября 2015 г.) . – Одесса: ТЭС, 2015. – С.8-10.
 37. *Черкез Е.А., Кадурын В.Н., Четишко А.В., Мединец С.В., Светличный С.В.* Особенности минералогии донных осадков Куяльницкого лимана после пополнения морской водой // Материалы Всеукраинской научно-практической конференции «Природно-ресурсный потенциал Куяльницкого и Хаджибейского лиманов, территории межлимання: современное состояние, перспективы развития» (18-20 ноября 2015 г.) . – Одесса: ТЭС, 2015. – С.126-130.
 38. *Звіт* про науково-дослідну роботу «Обоснование безопасности наполнения обмелевшего Куяльницкого лимана морской водой. Химические аспекты (заключительный)». – Одеса, Фізико-хімічний інститут ім. О.В. Богатського НАН України. 44 С.
 39. *Актуальные проблемы лиманов северо-западного Причерноморья: монографія* / За ред. Ю.С.Тучковенко, Є.Д. Гопченко. - Одесса: ТЭС, 2011. – 224 с.
 40. *Y. Tuchkovenko, N. Loboda, V. Khokhlov.* 2015. The physio-geographical background and ecology of Tyligulskyi Liman Lagoon. In: Lillebø, Stålnacke

- and Gooch (Eds), Coastal Lagoons in Europe: Integrated Water Resource Strategies. London: IWA Publishing. ISBN: 9781780406282. P.77-86.
41. *Водні ресурси та гідроекологічний стан Тилігульського лиману: монографія / За ред. Ю.С. Тучковенко, Н.С. Лободи. Одеський державний екологічний університет. – Одеса: ТЕС, 2014. – 276 с.*
 42. *Гопченко Е.Д., Лобода Н.С. Водные ресурсы северо-западного Причерноморья (в естественных и нарушенных хозяйственной деятельностью условиях) / Е.Д. Гопченко, Н.С. Лобода. – К.: КНТ, 2005. – 188 с.*
 43. *Лобода Н.С. Расчеты и обобщения характеристик годового стока рек Украины в условиях антропогенного влияния: Монография. – Одесса: Экология, 2005. – 208 с.*
 44. *Гопченко Е.Д., Романчук М.Е. Нормирование характеристик максимального стока весеннего половодья на реках Причерноморской низменности. К.: КНТ. – 2005. – 148 с.*
 45. *Deltares, 2014. Delft3D-FLOW, source-code. Available at: <http://oss.deltares.nl/web/delft3d/> (accessed December 1, 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. 702 pp.*

До розділу 1

1. *Лемешев М.Я. Региональное природопользование на пути гармонии / М.Я. Лемешев, Н.В. Чепурных, Н.П. Юрина. – М.: Мысль: 1986. – 262 с.*
2. *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. ТЕС Background Paper № 3, Global Water Partnership, Stockholm, Sweden, 1999*
3. *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*
4. *Мазур И.И., Иванов О.П. Опасные природные процессы. Вводный курс: Учебник. – М.: ЗАО Экономика, 2004. – 702 с.*
5. *Буркинський Б.В. Инвестирование природоохранной деятельности / Б.В. Буркинський, Н.Г. Ковалева, В.Г. Ковалев, В.Н. Степанов и др. – Одесса: ИПРЭЭИ НАН Украины, 2002. – 224 с.*
6. *Буркинський Б.В. Экономико-экологические основы регионального природопользования и развития / Б.В. Буркинський, С.К. Харичков, В.Н. Степанов. – Одесса: Феникс, 2005. – 575 с.*

7. *Губерная Г.К.* Социально-экономическая асимметрия как проблема совершенствования государственной региональной политики// Вісник економічної науки України. – 2005. - № 1. – С. 30-36
8. *Іванюта П.С.* Екологічна та природно-техногенна безпека України: регіональний вимір загроз і ризиків: монографія/ С.П. Іванюта, А.Б. Качинський. – К.: НІСД, 2012. – 308с.
9. *Сербов Н.Г.* Влияние экономико-экологической ситуации на производственную и хозяйственную деятельность в водных бассейнах Украины/ Н.Г. Сербов. – Одесса: издатель Букарев В.В., 2015. – 302 с.
10. *Шевчук Л.Т.* Размещение продуктивных сил / Л.Т. Шевчук. – Львов: Изд. Центр ЛНУ им. И. Франка, 2001. – 150 с.
11. *Эндрес А.* Экономика природных ресурсов / А. Эндрес, И. Квернер // Рынки, технологии и инновации. Аспекты развития. – С.Пб: Питер, 2008. – 2-е изд. – 256 с.
12. *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.
13. *Сербов Н.Г.* Экономические основы экологизации производственно-хозяйственной деятельности в водных бассейнах Украины // Вестник Днепропетровского университета, серия «Экономика». – 2011. – Вып. 5(4). – Т.19. – № 10/1. – С. 63-68.
14. *Ковалев В.Г.* Производственно-хозяйственная и природоохранная деятельность в водных бассейнах Украины/ В.Г. Ковалев, Н.Г. Сербов, А.А. Рекиш. – Одесса: «Полиграф», 2011. – 108 с.
15. *Сербов М.Г.* Методичні основи економічної оцінки збитків від надзвичайних ситуацій природного характеру // Вісник Одеського державного екологічного університету. – 2011. – Вип. 12. – С. 58-64.
16. *Сербов М.Г.* Методологічні основи економічної оцінки водних басейнів як об'єктів природокористування // Вісник соціально-економічних досліджень: Збірник наукових праць. - 2011. - Вип.3(43), ОНЕУ. – С. 381-386.
17. *Сербов Н.Г.* Економічні основи оцінки водних басейнів як об'єктів природокористування Вісник ОДЕКУ. – 2012. – Вип.14. – С. 56-62.
18. *Сербов Н.Г.* Обеспечение сбалансированности экономико-экологических систем в водных бассейнах. – М.: Экономика и предпринимательство. –2013. - № 5(34). - С. 118-124.
19. *Сербов Н.Г.* Экономические аспекты энергообеспечения производственно-хозяйственной деятельности на территории водных бассейнов // Вестник Одесского Национального университета им. И.И. Мечникова: Экономика. – 2012. –. Вып. 2. – Т. 17. – С. 191-196.
20. *Ткаченко Ю.В.* Регіональна економічна політика як складова економічного зростання. – Економіка та управління підприємствами

- машинобудівної галузі: проблеми теорії та практики. - №1(17). – 2012. – С. 18-32.
21. *Формирование* окружающей среды и экономика природных ресурсов /пер. с нем. под ред. Ворошука А.Н. – М.: Прогресс, 1992. – 381 с.
 22. *Water a Shared Responsibility. The UN World Water Development Report 2. UNESCO-WWAP, 2006*
 23. *Ромащенко 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*
 24. *Духовный В.А. Интегрированное управление водными ресурсами: от теории к реальной практике. Опыт Центральной Азии/ В.А. Духовный, В.И. Соколов, Х. Мантритилаке. – Ташкент: НИЦ МКВК, 2008. – 364 с.*
 25. *Сташук В.А. Еколого-економічні основи басейнового управління водними ресурсами/ А.В. Сташук. – Дніпропетровськ: Зоря, 2006. – 480 с.*
 26. *Планы интегрированного управления водными ресурсами: Учебное пособие и руководство к применению. – CapNet, 2005. – 104 с.*
 27. *Лиманы Северного Причерноморья: Монография/ Полищук В.С., Замбриборщ Ф.С., Тимченко В.М. и др. – К.: Наукова Думка, 1990. – 224 с.*
 28. *Архангельский А.Д., Страхов Н.М. Геологическое строение и история развития Черного моря. – М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1938. — 226 с.*
 29. *Балабанов И.П., Измайлов Я.А. Изменение уровня и гидрохимического режима Черного и Азовского морей за последние 20 тысяч лет // Водные ресурсы. – 1988. – № 6. – С. 54–62.*
 30. *Сташук В.А., Ромащенко М.И., Михайлов Ю.О. Особенности интегрированного управления водными ресурсами Украины по бассейновому принципу. – Сборник материалов МКВК № 15(2013). – 2012. – 9 с. Электронный ресурс www.eeca-water.net (режим доступа 30.09.2015г.)*
 31. *Оценка влияния береговых антропогенных источников на качество вод Одесского района северо-западной части Черного моря/ Тучковенко Ю.С., Иванов В.А., Сапко О.Ю. - Одесса-Севастополь: ОГЭКУ, 2011. – 169с.*
 32. *Степаненко С.М., Польовий А.М., Лобода Н.С та ін. Кліматичні зміни та їх вплив на сфери економіки України/ за ред. С.М. Степаненка, А.М. Польового. – Одеса: Вид. “ТЕС”, 2015. – 520 с.*
 33. *Оцінка багаторічних змін складових водного балансу Куяльницького лиману для розробки рекомендацій по збереженню його природних ресурсів: Звіт з НДР ДР 0109U004794(науковий керівник: Є.Д. Гопченко). Од. держ. екол. ун-т. – Одеса, 2009. – 90 с.*
 34. *Стан гідрографічної мережі річки Великий Куяльник в умовах водогосподарських перетворень на її водозбірному басейні: Звіт з НДР*

- ДР 0110U008226 (науковий керівник: Є.Д. Гопченко). Од. держ. екол. ун-т. – Одеса, 2011. – 165 с.
35. *Лобода Н.С.* Закономірності коливань річного стоку річок України при змінах клімату на початку ХХ сторіччя// Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – К.: ВГЛ Обрій, 2010. – Т.18. – С. 62-70.
36. *Лобода Н.С.* Влияние изменений климата на водные ресурсы Украины (моделирование и прогнозы по данным климатических сценариев)// Глобальные и региональные изменения климата/ Под ред. Шестопалова В.М., Логинова В.Ф., Осадчего В.И. и др. – К.: Ника-Центр, 2011. – С. 340-352.
37. *Лобода Н.С., Гопченко Є.Д., Куза А.М., Божок Ю.В.* Оцінка припливу прісних вод до лиманів Північно-Західного Причорномор'я // Лимани Північно-Західного Причорномор'я: актуальні гідроекологічні проблеми та шляхи їх вирішення. – Одеса: ОДЕКУ, 2012. – С. 22–24.
38. *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.
39. *Научные основы охраны и рационального использования орошаемых земель Украины: Монография/ Под ред. С.А. Балюка, М.И. Ромащенко, В.А. Сташука.* – К.: Аграрная наука, 2009. – 624 с.
40. *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-VI [Електронний ресурс].* - Режим доступу: <http://oblrada.odessa.gov.ua>

До розділу 2

1. *Національний атлас України.* – К.: ДНВП «Картографія», 2007. – 440 с.
2. *Коротун І. М., Коротун Л.К., Коротун С.І.* Природні ресурси України: Навчальний посібник. - Рівне, 2000. - 192 с.
3. *Гребінь В.В.* Сучасний водний режим річок України (ландшафтно-гідрологічний аналіз) / В.В. Гребінь. – К.: Ніка-Центр, 2010. - 316 с.
4. *Природа Одесской области. Ресурсы, их рациональное использование и охрана / Под. ред. Г.И. Швевса.* – Киев-Одесса: Вища шк. – 1979. – 144 с.
5. *Розенгурт М.Ш.* Гидрология и перспективы реконструкции природных ресурсов Одесских лиманов. – К.: Наук. думка, 1974. – 225 с.
6. *Актуальні проблеми лиманів Північно-Західного Причорномор'я: Монографія / За ред. Ю.С. Тучковенко, Є.Д. Гопченка.* – Одеса: ТЕС, 2012. – 224 с.
7. *Вырижковский В.К., Плащев А.В., Чекмарев Г.А.* Геология шельфа УССР. Лиманы. – К.: 1984. – 176 с.

8. *Осмоловський-Ярошенко А.Р.* Історія наших лиманів за теорією і спостереженнями // Зап. Од. наук. при ВУАН Тар. – 1929. – Ч. 3. – С. 39-74.
9. *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 // Материалы IV Международной научно-практической конференции «Современные проблемы водохранилищ и их водосборов». – Пермь: «Престайм», 2013. – С.61-65.
10. *Геоэкологический* анализ ситуации и разработка схем мероприятий по улучшению водно-солевого режима Куяльницкого лимана: Отчёт о НИР (научный руководитель: Г.И. Швевс). Од. гос. ун-т им. И.И. Мечникова. – Одесса, 1995. – 190 с.
11. *Швевс Г.І., Ігошин М.І.* Каталог річок і водойм України: навчально-довідковий посібник (під ред. Гопченка Є.Д.). – Одеса: Астропринт. – 2003. – 390 с.
12. *Паспорт* реки Большой Куяльник. – Одесса: Госкомводхоз Украины, 1992. – 130 с.
13. *Атлас* Одеської області. – Одеса: Хорс, 2002. – 80 с.
14. *Одеський* регіон: передумови формування, структура та територіальна організація господарства. Навчальний посібник / За загальною редакцією О.Г.Топчієва. – Одеса: Астропринт, 2012. – 184 с.
15. *Степаненко С.Н.* Причини обмеления Куяльницкого лимана и пути его спасения. Одесса. Экология, 2013. -35 с.
16. *Фізико-географічне районування Української РСР.* Під ред. В.П. Попова, О.М.Маринича, А.М.Ланько. – Київ: видавництво Київського університету, 1968. – 683 с.
17. *Одеський* регіон: природа, населення, господарство. Навчальний посібник / За загальною редакцією О.Г.Топчієва. – Одеса: Астропринт, 2003. – 184 с.
18. *Оцінка* впливу кліматичних змін на галузі економіки України / Під ред. Степаненко С.М., Польового А.М. – Одеса: Екологія, 2011. – 605 с.
19. *Горун В.В.* Оцінка рекреаційно-ресурсного потенціалу території Одеської області / В. В. Горун // Вісник Львівського Національного Університету імені Івана Франка. Серія : географія. – Львів : ЛНУ, 2013 – вип. 43, частина 1. – С. 24–31.
20. *Полетаєва Л.М.* Рекреаційно-туристичний потенціал території Куяльницько-Хаджибейського міжлимання // Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції «Природно-ресурсний потенціал Куяльницького та Хаджибейського лиманів, території міжлимання: сучасний стан, перспективи розвитку» (18-20 листопада 2015 р.). – Одеса: ТЕС, 2015. – С.92-95.

21. *Оцінка багаторічних змін складових водного балансу Куяльницького лиману для розробки рекомендацій по збереженню його природних ресурсів: Звіт з НДР ДР 0109U004794 (науковий керівник: Є.Д. Гопченко). Од. держ. екол. ун-т. – Одеса, 2009. – 90 с.*
22. *Отчёты о работе гидрогеологической режимно-эксплуатационной станции за 1953, 1959-1972, 1974, 1975, 1977-1984, 1986-1988, 1991-1996 годы. – Одесса, 1954, 1960-1973, 1975, 1976, 1978-1985, 1987-1989, 1992-1997.*
23. *Журнал записи ежедневной информации ГП-25 (лиман Куяльницкий – Одесса, 01.01-30.11.2015 гг.). – Одесса, ГМЦ ЧАМ, 2015.*
24. *Ресурсы поверхностных вод СССР. Украина и Молдавия. Крым. – Т. 6. – Вып. 4. – Л.: Гидрометеиздат, 1966. – 347 с.*
25. *Бобров С.Н. К вопросу об испарении морской воды в зависимости от её солёности // Труды института океан. – Т. XXXVII. – 1960. – 183 с.*
26. *Гопченко Є.Д., Гриб О.М. Оцінка складових водного балансу Куяльницького лиману та визначення причин сучасного обміління водойми // Метеорологія, кліматологія та гідрологія. – 2010. – Вип. 51. – С. 200-215.*
27. *Руденко В.П. Географія природно-ресурсного потенціалу України. – Чернівці: Зелена Буковина., 1999. – 568с.*
28. *Тютюнник Г. О. Теоретико-концептуальні основи охорони природних ресурсів Куяльницького та Хаджибейського лиманів // Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції «Природно-ресурсний потенціал Куяльницького та Хаджибейського лиманів, території міжлимання: сучасний стан, перспективи розвитку» (18-20 листопада 2015 р.). – Одеса: ТЕС, 2015. – С.120-123.*
29. *Бунякова Ю.Я., Примаченко І.О. Актуальні проблеми функціонування та розвитку рекреаційного потенціалу Куяльницького лиману // Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції «Природно-ресурсний потенціал Куяльницького та Хаджибейського лиманів, території міжлимання: сучасний стан, перспективи розвитку» (18-20 листопада 2015 р.). – Одеса: ТЕС, 2015. – С.25-28.*
30. *Камзіст Ж.С., Шевченко О.Л. Гідрогеологія України. Навчальний посібник. – Київ. Фірма “Інкос”, 2009 – 612 с.*
31. *Баер Р.А., Зелинин И.В., Лютаев Б.В., Подражанский В.А. Мелиоративно-гидрогеологические условия западного Причерноморья СССР: Монография. – Кишинёв: ШТИИИЦА, 1979. – 183 с.*
32. *Оцінка можливого альтернативного наповнення Куяльницького лиману водами Чорного моря, річки Дністер й інших лиманів і водних об’єктів: Звіт з НДР (науковий керівник: Ю.С. Тучковенко). Од. держ. екол. ун-т. – Одеса, 2012. – 238 с.*

33. *Эксплуатационные запасы лечебно-столовых подземных вод «Куяльник» г. Одессы по состоянию на 01.01.1999 г. Отчёт в 3- книгах.* – Одесса, 1999.
34. *Проведення гідроекологічної оцінки та розробка науково-обґрунтованих заходів щодо регулювання стоку та розчистки русел річок Довбока та Кубанка: Звіт з НДР ДР 0112U007607 (науковий керівник: Н.С. Лобода).* Од. держ. екол. ун-т. – Одеса, 2012. – 205 с..
35. *Биланчин Я.М., Буяновский А.А., Жанталай П.И., Тортник Н.И., Шихалева 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 // *Материалы Всеукраинской научно-практической конференции «Природно-ресурсный потенциал Куяльницкого и хаджибейского лиманов, территории межлиманья: современное состояние, перспективы развития» (18-20 ноября 2015 г.)* . – Одесса: ТЭС, 2015. – С.17-19.
36. *Гоголев И.Н., Биланчин Я.М.* Использование земельных ресурсов // *Лиманно-устьевые комплексы Причерноморья: географические основы хозяйственного освоения / Под ред. Г.И. Швевса.* – Л.: Наука, 1988. – С. 87-94.
37. *Чеботарев А.И.* Гидрологический словарь. –Л.:Гидрометеиздат,1978. - 308с.
38. *Гопченко Е.Д., Лобода Н.С.* Водные ресурсы северо-западного Причерноморья (в естественных и нарушенных хозяйственной деятельностью условиях) / Е.Д. Гопченко, Н.С. Лобода. – К.: КНТ, 2005. – 188 с.
39. *Лобода Н.С., Гриб О.М., Сіренко А.М.* Оцінка припливу прісних вод до Куяльницького лиману // *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія.* Гол. Ред.. Хільчевський В.К. – К. Видавництво Київського національного університету. - 2011. -Т.1(22). – С. 51-59.
40. *Тимченко В.М.* Экологическая гидрология водоемов Украины. – Киев: Наукова думка, 2006. – 384с.
41. *Бефани А.Н.* Пути генетического определения нормы стока. - Научный ежегодник ОГУ. - Одесса. - 1957. - 125 с.
42. *Сорокин В.Г.* Средний многолетний сток орошаемых районов юга Европейской территории Советского Союза // *Межвед.научн.сб. Метеорология,климатология и гидрология.* - Одесса.-1974. – Вып.10.- С.121-129.
43. *Адобовский В.В., Шихалева Г.Н.* Трансформация параметров руслового стока в бассейне Куяльницкого лимана // *Материалы Всеукраинской научно-практической конференции «Природно-ресурсный потенциал Куяльницкого и Хаджибейского лиманов, территории межлиманья:*

- современное состояние, перспективы развития» (18-20 ноября 2015 г.). – Одесса: ТЭС, 2015. – С.11-13.
44. Закон України «Про курорти» від 5 жовтня 2000 року № 2026-III.
45. Мусієнко М.М. Екологія. Охорона природи: Словник-довідник / М.М. Мусієнко, В.В. Серебряков, О.В. Брайон. – К.: Т-во «Знання», КОО, 2002. – 550 с.
46. Нефедова Н.Є. Територіальна організація санаторно-курортного господарства Одеси // Регіон-2013: стратегія оптимального розвитку: – Харків: ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2013. – С. 317-319.
47. Обоснование создания природоохранной территории «Куяльник» (Justification for developing a protected area «Kuialnik»). Региональная программа ТАСИС Европейского Союза. Технический отчет, 2004. – 70 с.
48. 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.).
49. 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.
50. Антонович В.П., Андронати С.А. Результаты химико-аналитического изучения рапы и пелоидов Куяльницкого лимана в начальный период его заполнения морской водой // Материалы Всеукраинской научно-практической конференции «Природно-ресурсный потенциал Куяльницкого и Хаджибейского лиманов, территории межлиманья: современное состояние, перспективы развития» (18-20 ноября 2015 г.). – Одесса: ТЭС, 2015. – С.14-16.
51. Золотов В.І., Поліщук Т.М. Проблеми та перспективи використання рекреаційного потенціалу Куяльницького лиману // Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції «Природно-ресурсний потенціал Куяльницького та Хаджибейського лиманів, території міжлимання: сучасний стан, перспективи розвитку» (18-20 листопада 2015 р.). – Одеса: ТЕС, 2015. – С.51-54.
52. 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.
53. Полякова І.В., Дем'яненко С.Г. Екологізація управління територіями курорту Куяльник // Матеріали Всеукраїнської науково-практичної

конференції «Природно-ресурсний потенціал Куяльницького та Хаджибейського лиманів, території міжлимання: сучасний стан, перспективи розвитку» (18-20 листопада 2015 р.). – Одеса: ТЕС, 2015. – С.96-98.

До розділу 3

1. *Robinson RA, Sutherland WJ* (2002) Post-war changes in arable farming and biodiversity in Great Britain. *J Appl Ecol* 39:157-176.
2. *Емельянов И. Г.* Разнообразие и его роль в функциональной устойчивости и эволюции экосистем. – Киев, 1999. – 168 с.
3. *Naeem S, Thompson LJ, Lawler SP, Lawton JH, Woodfin RM* (1994) Declining biodiversity can alter the performance of ecosystems. *Nature* 368:734-737
4. *Montoya JM, Rodriguez MA, Hawkins BA* (2003) Food web complexity and higher-level ecosystem services. *Ecol Lett* 6:587-593
5. *Balvanera P, Pfisterer AB, Buchmann N, He JS, Nakashizuka T, Raffaelli D, Schmid B* (2006) Quantifying the evidence for biodiversity effects on ecosystem functioning and services. *Ecol Lett* 9:1146-1156.
6. *Каушаров Д. Н.* Среда и сообщество (Основы синэкологии). М.: Медгиз, 1933. 383 с.
7. *Куркин К. А.* Параметры биогеоценозов и системный подход к их определению // Бюлл. МОИП. Отд. биол. 1980. Т. 85. № 3. С. 40-56.
8. *Алеев Ю. Г.* Экоморфология. Киев: Наукова думка, 1986. 424 с.
9. *Розенберг Г. С.* К построению системы концепций современной экологии // Журн. общ. биол. 1991. Т. 52. № 3. С. 422-440.
10. *Федоров В. Д., Гильманов Т. Г.* Экология. М.: МГУ, 1980. 464 с.
11. *Чернов Ю. И.* Понятие "животное население" и принципы геозоологических исследований // Журн. общ. биол. 1971. Т. 32. № 4. С. 425-438.
12. *Гиляров А.М.* Экология в поисках универсальной парадигмы // Природа. 1998. № 3. С. 73-82.
13. *Гладышев М. И.* Концепция биогеоценоза с позиций общей теории систем // Экология. 1990. № 4. С. 11-19.
14. *Голубець М.А., Чорнобай Ю.М.* Консорція як елементарна екологічна система // Укр. ботан. журн. 1983. Т. 40. С. 23–28.23. 39.
15. *Мордкович В. Г.* Степные экосистемы / В. Г. Мордкович : отв. ред. И.Э.Смелннскин. — 2-е изд. искр, и доп. Новосибирск: Академическое издательство «Гео». 2014.- 170 с.
16. *Розбудова екологічної мережі / Під ред Ю Р Шеляга-Сосонка –К.: 1999 - 127 с.*

17. *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. - К.; ,2013. -409 с.
18. *Дидух Я.П., Шеляг-Сосонко Ю.Р.* Геоботанічне районування України та суміжних територій/ Я.П. Дидух, Ю.Р. Шеляг-Сосонко //Укр. Ботан. Журн., 2003. - Т. 60. - № 1. -С. 6 – 17.
19. *Бондаренко О. Ю., Васильєва Т.В., Петрушенко В.В., Шихалєєва Г.М., Кірюшкіна Г.М.* Синантропні види рослин у структурі фітоценозів узбережжя Куяльницького лиману/ О. Ю. Бондаренко, Т.В. Васильєва, В.В. Петрушенко, Г.М. Шихалєєва, Г.М. Кірюшкіна //Аграрний вісник Причорномор'я. – 2012. С.
20. *Корзюков А.И., Русев И.Т., Гержик И.П.* Побережье Северо-Западного Причерноморья как миграционный путь птиц Европы и Африки // Матер. междунар. симпоз. «Упр. и охрана побережий Северо-Западного Причерноморья» (г. Одесса, 30 сентября – 6 октября 1996 г.). – 1996. – С. 83.
21. *Русев И.Т., Корзюков А.И., Соколовский Д.С., Овчаров А.А., Артамонов В.А., Рединов К.А., Вобленко А.С.* Результаты учетов птиц на Одесских лиманах: Сухом, Хаджибейском, Куяльницком, Большом и Малом Аджалыке, Тилигульском и Соленом озере у с. Морское // Бюл. РОМ: Итоги регион. орнитол. мониторинг. Азово-Черномор. побер. Украины. – 2005. – Вып. 2. – 28 с.
22. *Banaszak J.* Patterns of distribution of Apoidea in agricultural land scape / J. Banaszak // Colloq. INRA. 1984. - 21. - P. 223-227.
23. *Pavlikowski T.* Structura zgrupowan dzikich pszczolowatych (Hymenoptera, Apoidea) z obszarow rolnych o ruznych typach parcelacji powierzchni uprawnej/Т. Pavlikowski// Acta Univ. N. Copmnic. Biol. - 1989.- 33.- S. 31 46. Bales G. L. The honey bee's environmental role / G. L. Bales // Amer. Bee J. - 1985. - Vol. 125, № 4. - P. 234-235.
24. *Bales G. L.* The honey bee's environmental role / G. L. Bales // Amer. Bee J. - 1985. - Vol. 125, № 4. - P. 234-235.
25. *Michener C. D.* The bees of the World / C. D. Michener. – Baltimore: The Johns Hopkins Univ. Press, 2007. – 953 p.
26. *Осычнюк, А. З.* Надсемейство Apoidea - Пчелиные/А. З. Осычнюк, Д.В. Панфилов, А.А. Пономарева // Определитель насекомых европейской части СССР. - Л.: Наука, 1978. - Т. 3. - Перепончатокрылые. - С. 279-519.
27. *Радченко В.Г., Песенко Ю.А.* Биология пчел (Hymenoptera, Apoidea) // СПб.: Зоол. ин-т РАН. — 1994. — 350 с.
28. *Иванов, С.П.* Материалы сравнительного изучения гнездования пчёл-листорезов (Hymenoptera, Megachilidae Megachile Latr.). Сообщение I.Разнообразии гнездовых построек / С.П. Иванов // Уч. зап.

- Таврического нац. ун-та им. В.И. Вернадского. Сер. «Биология, химия». – 2010. – Т. 23 (62), № 3. – С. 68–78.
29. *Мережко А.И.* Проблемы малых рек и основные направления их исследований [Текст]/ А.И. Мережко // Гидробиол. журн. - 1998. -Т. 34. -№6. - С.66-71.
 30. *Балушкина Е.В.* Критерии и методы оценки уровня антропогенной нагрузки и качества воды [Текст]/ Е.В. Балушкина // Малые реки: Современное экологическое состояние, актуальные проблемы: Тез. докл. Междунар. научн. конф., Тольятти, 2001.- С. 19.
 31. *Бондаренко О.Ю.* Синантропні види рослин у структурі фітоценозів узбережжя [Текст]/ О.Ю. Бондаренко, Т.В. Васильєва, В.В. Петрушенко, Г.М. Шихалєєва, Г.М. Кірюшкіна // Аграрний вісник Причорномор'я. – 2012. - Вип. 61.- с.26-30.
 32. *Сигида Р.С.* Кадастр жесткокрылых Центрального Предкавказья и сопредельных территорий [Текст]/ Р.С. Сигида, С.В. Пушкин. – Краснодар: КУБГУ, 2008 - 173с.
 33. *Эннан А.А., Шихалеева Г.Н., Бабинец С.К., Кирюшкина А.Н.* Экологическое состояние природной среды лиманно-морского курортного комплекса «Куяльник-Лузановка» и водной экосистемы Куяльницкого лимана // Мат. науч.-практ. конф. «Мониторинг окружающей среды» (с. Коктебель, 18-22 сентября 2006 г.). – К.: НПЦ «Экология, наука, техника», 2006. – С. 35-38.
 34. *Эннан А.А., Шихалеева Г.Н., Бабинец С.К., Чурсина О.Д.* Экологическое состояние Куяльницкого лимана // Мат. Всеукр. науч.-практ. конф. – Одеса: Інноваційно-інформ. центр. – 2009. – С. 216-221.
 35. *Хлебович В. В.* Физиология эвригалинности: критическая соленость внешней и внутренней среды // Вопросы гидробиологии.- М.: Наука, 1965.- Т. I.- С. 440-441.
 36. *Хлебович В. В.* Критическая соленость биологических процессов.- Л.: Наука, 1974.-230 с.
 37. *Khlebovich V. V.* Aspects of animal evolution related to critical salinity and internal state // Marine Biol.- 1969.- Vol. 2.- N. 4.- P. 338-345.
 38. *Kinne O.* Salinity - Animals - Invertebrates // Marine Ecology.-London ect.: Wiley-Interscience.- 1971.-Vol. 1.- Pt. 2.- P. 821-995.
 39. *Виноградов А. К.* Хорогалинная зона 22-26‰ в морских экосистемах // Тезисы докладов V съезда ВГБО (Тольятти, 15-19 сентября 1986 г.), Куйбышев, 1986.- Ч. I.- С. 64-65.
 40. *Зайцев Ю.П.* Экотоны Черного моря // Экотоны в биосфере. – М.: РАСХН, 1997. – С. 242-258.
 41. *Хлебович В.В., Аладин Н.В.* Фактор солёности в жизни животных / В.В Хлебович, Н.В Аладин // Вестник РАН. – 2010. - т. 80. № 5–6. – С. 527-532 .

42. *Литвиненко Л.И.* Жаброногие рачки рода *Artemia* Leach, 1819 в гипергалинных водоемах Западной Сибири: (география, биоразнообразие, экология, биология и практ. использование): специальность 03.00.16 "Экология" : автореф. дис. на соиск. учен. степ. д-ра биол. наук / Л. И. Литвиненко [Перм. гос. ун-т]. - Пермь, 2009. – 46 с.
43. *Радченко Л.А.* Влияние температуры и солености на развитие и выживаемость артемии в экспериментальных условиях [электронный ресурс] <http://10.0.0.194:8080/dspace/handle/99011/2383>.
44. *Хоменко С.Б.* Иранский эндемик артемия урмиана в гиперсоленом озере Кояшское (Крым, Украина): предварительное обоснование заноса птицами/ С. Б. Хоменко, Н. В. Шадрин // Сборник научных трудов Азово-Черноморской орнитологической станции., 2009.- Вып. 12. - С. 81-91.
45. *Волощук В.М., Бойченко С.Г.* Сценарії можливих змін клімату України в ХХІ ст. (під впливом глобального антропогенного потепління) // Клімат України. – 2003. – С. 319-330.
46. *Григорьев А.А., Будыко М.И.* О периодическом законе географической зональности // Докл. АН СССР. – 1956. – ПО № 1. – С. 129-132.
47. *Ефимова, Н.А., Строчкина Л.А.* Эмпирические оценки изменений климата на континентах северного полушария в конце ХХ века // Изменения климата и их последствия. - Наука: С.-Петербург. – 2002. - с. 93-104.
48. *Парилова Т. А., Кастрикин В. А., Бондарь Е. А.* Многолетние тенденции сроков наступления фенофаз растений в условиях потепления климата (Хинганский заповедник, Среднее Приамурье)//Влияние изменения климате на экосистемы бассейна реки Амур. – М: WWF России, 2006. - С. 47-51
49. *Гурбанов Э.М.* Новейшие таксоны растительности Азербайджана // ВАКИ Universitetinin XoborlorI. – 2009. – № 3. – С. 107-116.
50. *Стадниченко А.П., Богачова А.М., Шубрат Ю.В.* Вплив антропогенної трансформації навколишнього середовища на стан прісноводної малакофауни України //Біологія. – 2008. – 1. – С. 139 – 161.

До розділу 4

1. *Оцінка* можливого альтернативного наповнення Куяльницького лиману водами Чорного моря, річки Дністер й інших лиманів і водних об'єктів: Звіт з НДР ДР 0112U007605 (науковий керівник: Ю.С. Тучковенко). Од. держ. екол. ун-т. – Одеса, 2012. – 238 с.

2. *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.
3. *Шмаков Г.* Одесские лиманы // Тр. Од. стат. ком. – Вып. II. – С. 61.
4. *Одесские лиманы: соляные промыслы* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://odessa.club.com.ua> (станом на 17.11 2010 р.)
5. *Геоэкологический анализ ситуации и разработка схем мероприятий по улучшению водно-солевого режима Куяльницкого лимана: Отчёт о НИР* (научный руководитель: Г.И. Швобс). Од. гос. ун-т им. И.И. Мечникова. – Одесса, 1995. – 190 с.
6. *Рудской М.П.* О происхождении лиманов Херсонской губернии // Зап. Новорос. общ. естествоисп. – 1896. – Т. XX. – Вып. 1 (Тр. Комиссии по исследованию лиманов). – 48 с.
7. *Вельможко А.* Куяльник: Мертвое море Одессы может превратиться в соляную пустыню [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://realityinua.com> (станом на 26.11.2012 р.).
8. *История одной плотины – как Куяльницкий лиман разделили на две части* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://kaiser-w.livejournal.com> (станом на 09.12 2012 р.).
9. *Куяльницкая плотина: скрытое стало явным* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://davaupodem.blogspot.com> (станом на 09.12 2012 р.).
10. *Бицилли М.В.* Годовой сток бассейна Куяльницкого лимана // Тр. Од. гидромет. ин-та. – 1958. – Т. XII. – С. 235-243.
11. *Бурксер Є.С.* Солоні озера та лимани України (гідрохімічний нарис) – Le lacs et les liman sales de l'Ukraine (un apescu hydrochimique) // Тр. фіз.-мат. відділу Всеукр. Акад. наук. – 1928. – Т. 8. – Вип. 1. – 341 с.
12. *Васильев А.С.* Исследования Куяльницкого лимана // Зап. Новорос. общ. естествоисп. – 1898. – Т. XXII. – Вып. 2.
13. *Оцінка багаторічних змін складових водного балансу Куяльницького лиману для розробки рекомендацій по збереженню його природних ресурсів: Звіт з НДР ДР 0109U004794* (науковий керівник: Є.Д. Гопченко). Од. держ. екол. ун-т. – Одеса, 2009. – 90 с.
14. *Осмоловський-Ярошенко А.Р.* Історія наших лиманів за теорією і спостереженнями // Зап. Од. наук. при ВУАН Тар. – 1929. – Ч. 3. – С. 39-74.
15. *Супутникові знімки та карти поверхні Землі* [Електронний ресурс]. – Режим доступа: <http://maps.google.com> (станом на 24 липня 2011 року).
16. *Санаторий Куяльник – история возникновения курорта* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.kuyalnik.com.ua> (станом на 04.09 2012 р.).

17. *Грязелечебница* санатория Куяльник – история создания [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.kuyalnik.com.ua> (станом на 02.10. 2012 р.).
18. *Ежегодные* данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши, 1936-2011 гг. – Ч. 1 и 2. – Том 2. – Вып. 1. – 1938-2012.
19. *Розенгурт М.Ш.* Гидрология и перспективы реконструкции природных ресурсов Одесских лиманов. – К.: Наук. думка, 1974. – 225 с.
20. *Правила* експлуатації гідротехнічної споруди зі з'єднання Куяльницького лиману та Одеської затоки. – Одеса: Укрпівдендіпроводгосп, 2015. – 36 с.
21. *Стан* гідрографічної мережі річки Великий Куяльник в умовах водогосподарських перетворень на її водозбірному басейні: Звіт з НДР (науковий керівник: Є.Д. Гопченко). Од. держ. екол. ун-т. – Одеса, 2011. – 165 с.
22. *Паспорт* реки Большой Куяльник. – Одесса: Госкомводхоз Украины, 1992. – 130 с.
23. *Справочник* по водным ресурсам / Под ред. Б.И. Стрельца. – К.: Урожай, 1987. – 304 с.
24. *Швебс Г.І., Игошин М.І.* Каталог річок і водойм України: Навчально-довідковий посібник. – Одеса: Астропринт, 2003. – 392 с.
25. *Національний атлас* України. – К.: ДНВП «Картографія», 2007. – 440 с.
26. *Проведення* гідроекологічної оцінки та розробка науково-обґрунтованих заходів щодо регулювання стоку та розчистки русел річок Довбока та Кубанка: Звіт з НДР (науковий керівник: Н.С. Лобода). Од. держ. екол. ун-т. – Одеса, 2012. – 205 с.
27. *Оцінка* можливих змін гідроекологічного режиму Куяльницького лиману під впливом глобальних кліматичних змін: Звіт з НДР ДР 0112U007606 (науковий керівник: Н.С. Лобода). Од. держ. екол. ун-т. – Одеса, 2012. – 147 с.
28. *Колодєєв Є.І.* Визначення максимальних витрат води з допомогою позначок рівнів високих вод: Метод. вказ. – Одеса: ОДЕКУ, 2007. – 31 с.
29. *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.
30. *Использование* водных ресурсов: Монография. / Под ред. Г.В. Васильченко и др. – Минск: Наука и техника, 1969. – 228 с.
31. *Игошин Н.И.* Проблемы восстановления и охраны малых рек и водоёмов. Гидроэкологические аспекты: Учебное пособие. – Харьков: Бурун Книга, 2009. – 240 с.

До розділу 5

1. *Осадчий В.І., Набиванець Б.Й., Осадча Н.М., Набиванець Ю.Б.* Гідрохімічний довідник: Поверхневі води України. Гідрохімічні розрахунки. Методи аналізу. – К.: Ніка центр, 2008. – 656 с.
2. *Хільчевський В.К., Осадчий В.І., Курило С.М.* Основи гідрохімії: Підручник. – К.: Ніка-Центр, 2012. – 312 с.
3. *Горев Л.Н., Пелешенко В.И., Курничный В.В.* Методика оптимизации природной среды обитания: Монографія. – К.: Либідь, 1992. – 528 с.
4. *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. (Рівне, 21-23 жовтня 2015 р.) / Рівненський держ. гуманітарний ун-т; за ред. проф. Д.Л. Лико [та ін.]. – Рівне: РДГУ, 2015. – С. 38-39.
5. *Комплексне управління водними ресурсами басейну Куяльницького лиману та його гідроекологічним станом в умовах господарської діяльності і кліматичних змін: звіт про НДР (проміжний) / Одеський держ. екол. ун-т; керівник роботи Н.С. Лобода.* – Одеса, 2015. – ДР № 0115U000631 – 394 с.
6. *Архів погоди в Одесі (01.02.2005-22.12.2015).* Метеостанція № 33837 (WMO ID) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://rp5.ua>.
7. *Горев Л.М., Пелешенко В.І., Хільчевський В.К.* Гідрохімія України: підручник. – К.: Вища школа, 1995. – 307 с.
8. *Паспорт* реки Большой Куяльник. – Одесса: Госкомводхоз Украины, 1992. – 130 с.
9. *Оцінка багаторічних змін складових водного балансу Куяльницького лиману для розробки рекомендацій по збереженню його природних ресурсів: звіт про НДР (заключний) / Одеський держ. екол. ун-т; керівник роботи Є.Д. Гопченко.* – Одеса, 2009. – ДР № 0110U008222 – 90 с.
10. *Розенгурт М.Ш.* Гидрология и перспективы реконструкции природных ресурсов Одесских лиманов. – К.: Наук. думка, 1974. – 225 с.
11. *Загоровский Н.А., Багдасарьянц А., Окул А.В.* О колебаниях гидрологических и биологических свойств Одесских лиманов. – Тр. Всеукр. ин-та курортологии и бальнеологии. – 1933. – выпуск 2. – С.37-44.
12. *Гопченко Є.Д., Гриб О.М.* Оцінка складових водного балансу Куяльницького лиману та визначення причин сучасного обміління водойми // Метеорологія, кліматологія та гідрологія. – 2010. – Вип. 51. – С. 200-215.
13. *Эннан А.А., Шихалеева Г.Н., Бабиниц С.К., Мариняко Л.А., Чурсіна О.Д., Сизо А.В., Гордеева Л.В.* Особенности ионно-солевого состава воды

- Куяльницького лимана // Вестник ОНУ. – 2006. – Т. 11. – Вып. 2. – С. 67-74.
14. *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.
 15. *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.
 16. *Справочник по гидрохимии / под ред. А.М. Никанорова.* – Л.: Гидрометеиздат, 1988 – 391с.
 17. *Отчёты о работе гидрогеологической режимно-эксплуатационной станции за 1959-1972, 1974, 1975, 1977-1984, 1986-1988, 1991-1996 годы.* – Одесса, 1954, 1960-1973, 1975, 1976, 1978-1985, 1987-1989, 1992-1997.
 18. *Бурксер Є.С.* Солоні озера та лимани України (гідрохімічний нарис) – Le lacs et les liman sales de l'Ukraine (un apesu hydrochimique) // Тр. фіз.-мат. відділу Всеукр. Акад. наук. – 1928. – Т. 8. – Вип. 1. – 341 с.
 19. *Шихалеева Г.Н., Редько Т.Д., Бабинець С.К., Карєбин А.В., Гордеева Л.В.* Изучение динамики содержания биогенных компонентов в акватории Куяльницького лимана // Метеор., кліматол. та гідрол. – 2004. – № 48 – С. 313-321.
 20. *Воскобойников В.М., Кони́ков Е.Г.* Гидрогеохимия поверхностных вод лиманов. Гидрохимия поровых вод донных отложений Причерноморских лиманов // Геология шельфа СССР. – Киев: Наукова думка, 1984. – С. 81-95.
 21. *Основы курортологии.* – М.: Медгиз, 1956. – 751 с.
 22. *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.
 23. *Шихалеева Г.Н., Эннан А.А., Бабинець С.К., Чурсина О.Д.* Миграция и аккумуляция свинца в водной экосистеме Куяльницького лимана // Вестник ОНУ. – 2009. – Т. 14. – Вып. 11. – С. 79-88.
 24. *Нікіпелова О.М.* Результати моніторингу колоїдно-хімічних властивостей мулових сульфідних систем Куяльницького лиману та озера Чокрак // Тр. Одеського политех. ун-та. – 2009 – Вип. 1 (13). – С. 169-173.
 25. *Оцінка можливих змін гідроекологічного режиму Куяльницького лиману під впливом глобальних кліматичних змін: звіт про НДР (заключний) / Одеський держ. екол. ун-т; керівник роботи Н.С. Лобода.* – Одеса, 2012. – ДР № 0112U007607 – 147 с.

26. Герасим'юк В.П., Шихалєєва Г.М., Еннан А.А. та ін. Водорості річки Великий Куяльник // Вісник Од. нац. ун-ту ім. І.І. Мечникова. Т. 13, вип. 14. Біологія. – Одеса, 2008. – С. 37-53.
27. Стан гідрографічної мережі річки Великий Куяльник в умовах водогосподарських перетворень на її водозбірному басейні: звіт про НДР (заключний) / Одеський держ. екол. ун-т; керівник роботи Є.Д. Гопченко. – Одеса, 2011. – ДР № 0110U008222 – 165 с.
28. Проведення гідроекологічної оцінки та розробка науково-обґрунтованих заходів щодо регулювання стоку та розчистки русел річок Довбока та Кубанка: звіт про НДР (заключний) / Одеський держ. екол. ун-т; керівник роботи Н.С. Лобода. – Одеса, 2012. – ДР № 0112U007607 – 205 с.
29. Оцінка можливого альтернативного наповнення Куяльницького лиману водами Чорного моря, річки Дністер й інших лиманів і водних об'єктів: звіт про НДР (заключний) / Одеський держ. екол. ун-т; керівник роботи Ю.С. Тучковенко. – Одеса, 2012. – ДР № 0112U007605 – 238 с.
30. Романенко В.Д., Жукинський В.М., Оксіюк О.П. та ін. Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями. – К.: Символ-Т, 1998. – 28 с.
31. 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.
32. 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]. – К., 2010. – 36 с.
33. Джерела централізованого водопостачання. «Гігієнічні та екологічні вимоги щодо якості води і правила вибирання»: ДСТУ 4808:2007. – [Чинний від 2007-07-05]. – К.: Держспоживстандарт України, 2007. – 36 с.

До розділу 6

1. Чеботарев А.И. Гидрологический словарь / А.И. Чеботарев. – Л.: Гидрометеоиздат, 1978. – 308 с.
2. Тимченко В.М. Экологическая гидрология водоёмов Украины: Монография. / В.М. Тимченко. – К.: Наук. думка, 2006. – 384 с.
3. Букша І.Ф. Україна та глобальний парниковий ефект. Книга 2. Вразливість і адаптація екологічних та економічних систем до зміни клімату / І.Ф. Букша, П.Ф. Гожик, Ж.Л. Ємельянова, І.В. Трофімова, А.І. Шерешевський. – Київ, 1998. – 210 с.
4. Лобода Н.С., Коробчинская А.А., Рудник А.А. Изменения климата и его влияние на реки Украины // Український Гідрометеорологічний журнал.

- Головний редактор С.М. Степаненко. - Одеса: Вид. "ТЕС" - №6.-2010. - С.199-204.
5. *Гребінь В.В.* Сучасний водний режим річок України (ландшафтно-гідрологічний аналіз) / В.В. Гребінь. – К.: Ніка-Центр, 2010. - 316 с.
 6. *Гопченко Є.Д., Лобода Н.С., Овчарук В.А.* Гідрологічні розрахунки: Підручник / Є.Д. Гопченко, Н.С. Лобода, В.А. Овчарук. – Одеса: ТЕС, 2014. – 484 с.
 7. *Лобода Н.С., Гопченко Є.Д.* Водні ресурси України у зв'язку з кліматичними умовами / Н.С. Лобода, Є.Д. Гопченко // Зб. наук. пр. Укр. географ. тов. Україна: географічні проблеми сталого розвитку. – 2004. – С. 144-146.
 8. *Лобода Н.С.* Оцінка припливу прісних вод до північно-західної частини Чорного моря. Постановка проблеми та шляхи вирішення. // Причорноморський екологічний бюлетень. 2010. - №2 (36) (червень). – С.63-67.
 9. *Лобода Н.С., Тучковенко Ю.С.* Дослідження впливу змін річкового стоку за кліматичними сценаріями на гідроекологічний стан північно-західної частини Чорного моря // Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія:біологія. Спеціальний випуск: гідроекологія.- № 3 (44). -2010. – С. 143-145.
 10. *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.
 11. *ДБН України.* Визначення розрахункових гідрологічних характеристик. ДБН В.2.4. – Київ, 2014. – 137 с.
 12. *Определение* гидрологических характеристик для условий республики Молдова. СР D.01.05-2012. (у співавторстві). – 180с.
 13. *Вишневський В.І., Косовець О.О.* Гідрологічні характеристики річок України. – К.: Ніка-Центр, 2003. – С. 136-137.
 14. *Шерешевский А.И., Вишневский П.Ф.* Норма и изменчивость годового стока рек Украины // Гидробиол. журн. – 1997. – Т. 3. – С. 81-91.
 15. *Лобода Н.С., Гриб О.М., Сіренко А.М.* Оцінка припливу прісних вод до Куяльницького лиману // Гідрол., гідрохім. і гідроекол. – 2011. – Т. 1 (22). – С. 51-59.
 16. *Справочник* по водным ресурсам / Под ред. Б.И. Стрельца. – К.: Урожай, 1987. – С. 102-103.
 17. *Сорокин В.Г.* Средний многолетний сток орошаемых районов юга Европейской территории Советского Союза / В.Г. Сорокин // Метеорология, климатология и гидрология. – 1974. – Вып.10. - С.121-129.

18. Гопченко Е.Д., Романчук М.Е. Нормирование характеристик максимального стока весеннего половодья на реках Причерноморской низменности: монография / Е.Д. Гопченко, М.Е. Романчук. – К.: КНТ, 2005. – 149 с.
19. Гопченко Е.Д., Овчарук В.А., Романчук М.Є. Кічук Н.С. Уточнення розрахункових модулів паводкового стоку на річках півдня України // Український гідрометеорологічний журнал. – 2013. – Вип. 13. – С. 92-98.
20. Гопченко Е.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. – 2014. – Вип. 14. – С. 193-203.
21. Воскресенский К.П. Норма и изменчивость годового стока рек СССР. - Л.: Гидрометеоздат, 1967. - 546 с.
22. Гопченко Е.Д., Гушля А.В. Гидрология с основами мелиорации. - Л.: Гидрометеоздат, 1988.- 303 с.
23. Будыко М.И. Тепловой баланс земной поверхности. - Л.: Гидрометеоздат, 1956. - 255 с.
24. Оцінка впливу кліматичних змін на галузі економіки України (під ред. Степаненка С.М., Польового А.М.). – Одеса.: Екологія. – 2011. – 605с.
25. Гребінь В.В. Регіональний ландшафтно-гідрологічний аналіз сучасного водного режиму річок України: Дис...доктор.геогр.наук. 11.00.07. – Київ. 2010. - 440с.
26. Даус М.Є., Лобода Н.С. Основні тенденції змін кліматичних чинників у межах водозбору Куяльницького лиману // Український гідрометеорологічний журнал, 2015, №16. – С. 149-155. Клімат України / За редакцією В.М. Липинського, В.А. Дячука, В.М. Бабіченко. – К.: Видавництво Раєвського, 2003. – 343 с.
27. 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.
28. 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.
29. Разии Т. Мониторинг засухи с использованием показателя SPI в провинции Ядз, Иран / Т. Разии, Б. Сагафьян, А. Шокухи // Публикации Тренингового центра МКВК. – Ташкент, 2005. – Вып.12. – с. 27-37.
30. Електронний ресурс <http://digital.csic.es/handle/10261/10002>
31. Лобода Н.С. Шляхи визначення можливої гідрологічної посухи за метеорологічними даними в умовах змін клімату для річок Північно-

- Західного Причорномор'я / Н.С. Лобода, Ю.В. Божок // Геополітика та екогеодинаміка регіонів. – 2014. – Т.10. – Вип.1 – С. 281-289 (пошук зв'язків між характеристиками стоку та індексами й показниками посух).
32. *Божок Ю.В.* Річний та меженний стік річок Північно-Західного Причорномор'я в умовах змін клімату: Дис... канд. геогр. наук. 11.00.07. – Одеса. 2015. – 300с.
33. *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 международной научной конференции “Современные проблемы гидроэкологии, перспективы, пути и методы решений” 17-19 мая 2012р., Херсон ПП Вишемирский В.С., 2012. – С.354-357.
34. *Актуальные проблемы лиманов северо-западного Причерноморья* / Под ред. Ю.С.Тучковенко, Е.Д. Гопченко. - Одесса: ТЭС, 2011. – 224 с.
35. *Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик.* - Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 447 с.
36. *Ресурсы поверхностных вод СССР.* – Л.: Гидрометеиздат, 1966. – Т.6 – Вып.2: Украина и Молдавия. – 884 с.
37. *Шерешевський А.І.* Оцінка змін випаровування з водної поверхні території України / А.І. Шерешевський, Л.К. Синицька // Наук. Праці Укр НДГМІ. - 2000. – Вип.248. – С.67-76.
38. *Гопченко Е.Д., Лобода Н.С.* Оцінювання природних водних ресурсів України за методом водно-теплого балансу / Е.Д. Гопченко, Н.С. Лобода // Наук. праці УкрНДГМІ. – 2001. – Вип. 249. – С.106-120.
39. *Мезенцев В.С.* Увлажненность Западно-Сибирской равнины / В.С. Мезенцев, И.В. Карнацевич. - Л.: Гидрометеиздат, 1969. - 75с.
40. *Мезенцев В.С.* Расчеты водного баланса: Учебное пособие / В.С. Мезенцев. - Омск, 1976. - 76с.
41. *Режимы влагообеспеченности и условия гидромелиораций степного края* / Под. ред. В.С. Мезенцева. - М.: Колос, 1974. – 240 с.
42. *Лобода Н.С.* Расчеты и обобщения характеристик годового стока рек Украины в условиях антропогенного влияния: Монография. – Одесса: Экология, 2005. – 208 с.
43. *Гопченко Е.Д., Лобода Н.С.* Водные ресурсы северо-западного Причерноморья (в естественных и нарушенных хозяйственной деятельностью условиях) / Е.Д. Гопченко, Н.С. Лобода. – К.: КНТ, 2005. – 188 с.
44. *Лобода Н.С., Гопченко Е.Д.* Нормування характеристик природного річного стоку України / Н.С. Лобода, Е.Д. Гопченко // Наукові праці УкрНДГМІ. – 2003. – Вип.252. – С. 5-10.

45. *Справочник по климату СССР. Украинская ССР.* - Л.: Гидрометеиздат, 1967. - вып.10.,ч.II. - 607 с.
46. *Справочник по климату СССР. Молдавская ССР.* - Л.: Гидрометеиздат, 1968. - вып.11.,ч.IV. - 127 с.
47. *Справочник по климату СССР. Украинская ССР.* - Л.: Гидрометеиздат, 1969. - вып.10.,ч.IV. - 696 с.
48. *Коваленко В.В.* Динамические и стохастические модели гидрологического цикла. – Л.: ЛПИ, - 1988. – 34 с.
49. *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.* - Одеса. - 2002. – Вип. 45. - С. 140 -146.
50. *Лобода Н.С., Гонченко Є.Д.* Стохастичні моделі у гідрологічних розрахунках. - Навчальний посібник.– Одеса: Екологія, 2006. – 200 с.
51. *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.
52. *Болгов М.В.* Марковские процессы в гидрологии / М.В. Болгов, И.О. Сарманов, О.В. Сарманов. –Москва: Институт водних проблем РАН, 2009. - 210 с.
53. *Раткович Д.Я.* Стохастические модели колебаний составляющих водного баланса речного бассейна / Д.Я. Раткович, М.В. Болгов. - М.: РАН ИВП, 1997. - 262 с.
54. *Лобода Н.С.* Системный подход и функции отклика гидрологической системы на антропогенные воздействия при математическом моделировании бытового стока // *Метеорологія, кліматологія та гідрологія.* - Одеса. - 2004. – Вип. 48. - С. 416 – 424.
55. *Лобода Н.С.* Проблемы гидрологических расчетов в условиях антропогенного воздействия и модель "климат -сток"// *Метеорологія, кліматологія та гідрологія.* - Одеса. - 2007. – Вип. 50. частина друга- С. 14 – 19.
56. *Гонченко Е.Д., Лобода Н.С.* Применение методов статистического моделирования при оценке изменений годового стока рек под влиянием орошения // *Метеорологія и гидрологія.* – 1986. - №9. – С. 79-84.

До розділу 7

1. *Оцінка впливу кліматичних змін на галузі економіки України (під ред. Степаненка С.М., Польового А.М.).* – Одеса.: Екологія. – 2011. – 605с.

2. *П'яте* національне повідомлення України з питань зміни клімату. – К: Мінприроди України, 2009. – 282 с.
3. *Васильченко В.В.* Україна та глобальний парниковий ефект. Книга 2. Вразливість і адаптація екологічних та економічних систем до зміни клімату. / В.В.Васильченко, М.В. Рапцун, І.В. Трофімова. – Київ, 1998. – С. 5-29
4. *Гопченко Е.Д.* Оценка возможных изменений водных ресурсов Украины в условиях глобального потепления / Е.Д. Гопченко, Н.С. Лобода // Гидробиологический журнал. – 2000. – Т.36, №3. – С. 67-78.
5. *Лобода Н.С.* Мінливість клімату та водних ресурсів Закарпаття / Н.С. Лобода, Ю.В. Божок // Вісник Одеського державного екологічного університету. – 2011. – Вип.12. - С. 161-167.
6. *IPCC (2000)* Nebojsa Nakicenovic and Rob Swart (Eds.) Special Report In Emissions Scenarios (SRES). - University Press, UK, 2000. – 570 p.
7. *IPCC (2007)* Climate Change 2007: The Physical Science Basis - Summary for Policymakers. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. – Cambridge University Press, 2007. – 996 p.
8. *Pfeifer S.* Modeling cold cloud processes with the regional climate model REMO / PhD Thesis. – Hamburg: University of Hamburg, 2006. – 120 p.
9. *Roeckner E.* The atmospheric general circulation model ECHAM4: Model description and simulation of present-day climate / E. Roeckner, K. Arpe, L. Bengtsson, M. Cristoph, M. Claussen, L. Dumenil, M. Esch, U. Schlese, U. Schulzweida. // Max-Planck-Institute fur Meteorologie, Report. – 1996. – No.218
10. *Samuelsson P.* The Rossby centre regional climate model RCA3: Model description and performance / P. Samuelsson, C.G. Jones, U. Willén, A. Ullerstig, S. Gollvik and co-authors. // Tellus. - 2011.- 63A, 4–23.
11. *Електронний ресурс* <http://ensemblesrt3.dmi.dk>
12. *Водні ресурси та гідроекологічний стан Тилігульського лиману: Колективна монографія / Під ред. Ю.С. Тучковенка, Н.С. Лободи. – Одеса. ТЕС. – 2014 –276с.*
13. *Y. Tuchkovenko, N. Loboda, V. Khokhlov.* 2015. The physio-geographical background and ecology of Tyligulskyi Liman Lagoon. In: Lillebø, Stålnacke and Gooch (Eds), Coastal Lagoons in Europe: Integrated Water Resource Strategies. London: IWA Publishing. ISBN: 9781780406282. P.77-86.
14. *Wörner V., Hesse C., Stefanova A., Krysanova V.* Evaluation of climate scenarios for the lagoons. – Potsdam: PIK, 2012. – 40 p.
15. *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. — 120-125 С.

16. *Roeckner E., Arpe K., Bengtsson L., Christoph M., Claussen M., Dumenil L., Esch M., Schlese U., Schulzweida U.* The atmospheric general circulation model ECHAM4: Model description and simulation of present-day climate. – Hamburg: MPI fur Meteorologie, 1996 – Report No.218. – 90 p.
17. *Loboda N.S.* The assessment of present and future Ukrainian water resources on meteorological evidence // *Climate and Water.* – 1998. – Vol. 1. – P. 1486-1494.
18. *Лобода Н.С., Тучковенко Ю.С.* Дослідження впливу змін річкового стоку за кліматичними сценаріями на гідроекологічний стан північно-західної частини Чорного моря // *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія:біологія. Спеціальний випуск: гідроекологія.* - № 3 (44). -2010. – С. 143-145.
19. *Лобода Н.С.* Оцінка стану водних ресурсів України в умовах змін регіонального клімату та їх вплив на економіку України (розділ колективної монографії під ред. Степаненка С.М., Польового А.М.) // *Оцінка впливу кліматичних змін на галузі економіки України.* – Одеса.: Екологія. – 2011. –С.566-605.
20. *Лобода Н.С.* Влияние изменений климата на водные ресурсы Украины (моделирование и прогнозы по данным климатических сценариев) // *Глобальные и региональные изменения климата под ред. Шестопалова В.М., Логинова В.Ф.,Осадчего В.И. и др.)* – К.: Ніка-Центр, 2011. – С. 340-352.
21. *Лобода Н.С., Божок Ю.В.* Оцінка водних ресурсів річок басейну Тилігульського лиману в умовах змін глобального клімату // *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія: наук. збірник.* – 2014. – Т. 1(32). – С. 32-40.
22. *Родда Дж.* Грани гидрологии: Монография / Дж. Родда. – Л.:Гидрометеиздат,1987. – Т.2. – 534 с.
23. *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: Науковий журнал* – м. Сімферополь, 2014р. – Т.10. – Вип.1 – С. 281-289.
24. *Родда Дж.* Грани гидрологии: Монография / Дж. Родда. – Л.:Гидрометеиздат,1987. – Т.2. – 534 с.
25. *UNESCO,* Map of the world distribution of arid regions. MAB Technical Note no 7. – 1979.
26. *Мезенцев В.С., Карнацевич И.В.* Увлажненность Западно-Сибирской равнины - Л.: Гидрометеиздат,1969. - 75с.
27. *Лобода Н.С.* Вплив змін клімату на водні ресурси України у сучасних та майбутніх умовах (за сценарієм глобального потепління А1В) / *Н.С. Лобода, З.Ф. Сербова, Ю.В. Божок* // *Український гідрометеорологічний журнал.* – Одеса: ТЕС, 2014. – Вип. 15. - С.149-

159.

28. *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 А2 // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія: наук. збірник. – 2015. – Т. 1(36). – С. 32-40.
29. *Снижко С.* Оценка изменения водного стока рек Украины на основе водно-балансовых моделей / С. Снижко, И. Куприков, О. Шевченко // Фізична географія та геоморфологія. – 2012. – Вип.2 (66). – С. 157-161.
30. *Сніжко С.* Зміна клімату і ресурси місцевого стоку в Україні у ХХІ столітті/ С. Сніжко, М. Яцюк, І. Купріков, О. Шевченко, В. Струтинська // Україна: географія цілей та можливостей. Зб. наук.праць. – Н.:ФОП «Лисенко М.М.», 2012. -Т.1 – С.77-80.
31. *Лобода Н.С., Божок Ю.В.* Вплив змін клімату на водні ресурси водозбору Куяльницького лиману у сценарних кліматичних умовах // Український гідрометеорологічний журнал. – 2015.- №16. – С. 189-195.

До розділу 8

1. *Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик.* – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 447 с.
2. *Гідрологічні розрахунки / Є.Д. Гопченко, Н.С. Лобода, В.А. Овчарук;* Одеськ. державний екологічний університет, - Одеса: ТЕС, 2014. – 484 с.
3. *Гопченко Е.Д., Романчук М.Е.* Нормирование характеристик максимального стока весеннего половодья на реках Причерноморской низменности. К.: КНТ. – 2005. – 148 с.
4. *Гопченко Е.Д.* О редукации максимальных модулей дождевого стока по площади // Метеорология и гидрология, 1975. - №2. – С.66-71.
5. *Гопченко Е.Д., Романчук М.Е., Казанкова Т.А.* К оценке притока поверхностных вод в Хаджибейский и Куяльницкий лиманы // Тезисы международного симпозиума «Управление и охрана побережий северо-западного Причерноморья», Одесса. – 1996. – 132 с.
6. *Гопченко Е.Д., Гушля А.В.* Гидрология с основами мелиорации. – Л.: Гидрометеиздат. - 1989. – 302 с.
7. *Гопченко Є.Д., Овчарук В.А., Кічук Н.С.* Розрахункові характеристики дощових паводків на території Півдня України / Вісник Одеського державного екологічного університету. – Вип.11. – 2011. – С. 161-171.
8. *Кічук Н.С.* Максимальний стік дощових паводків на Півдні України та його розрахункові характеристики. Автореф. канд.дисертації, Одеса. – 2013. – 20 с.

До розділу 9

1. *Комплексне управління водними ресурсами басейну Куяльницького лиману та його гідроекологічним станом в умовах господарської діяльності і кліматичних змін: звіт про НДР (проміжний) / Одеський держ. екол. ун-т; керівник роботи Н.С. Лобода. – Одеса, 2015. – ДР № 0115U000631 – 394 с.*
2. *Актуальные проблемы лиманов северо-западного Причерноморья: коллективная монография / Под ред. Ю.С. Тучковенко, Е.Д. Гопченко. – Одесса: ТЭС, 2012. – 224 с.*
3. *Степаненко С.М. Причини обміління Куяльницького лиману та шляхи його спасіння: науково-популярне видання. – Одеса: Екологія, 2013. – 36 с.*
4. *Гопченко Є.Д., Гриб О.М. Оцінка складових водного балансу Куяльницького лиману та визначення причин сучасного обміління водойми // Метеорологія, кліматологія та гідрологія. – 2010. – Вип. 51. – С. 200-215.*
5. *Оцінка можливого альтернативного наповнення Куяльницького лиману водами Чорного моря, річки Дністер й інших лиманів і водних об'єктів: звіт про НДР (заключний) / Одеський держ. екол. ун-т; керівник роботи Ю.С. Тучковенко. – Одеса, 2012. – ДР № 0112U007605 – 238 с.*
6. *Гриб О.М. Оцінка рівнів та мінералізації води Куяльницького лиману при його поповненні водами Чорного моря // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2015. – Т. 1(36). – С. 93-101.*
7. *Геоэкологический анализ ситуации и разработка схем мероприятий по улучшению водно-солевого режима Куяльницкого лимана: отчёт о НИР / Одесский гос. ун-т им. И.И. Мечникова; руководитель работы Г.И. Швевс. – Одесса, 1995. – 190 с.*
8. *Журнал записи ежедневной информации ГП-25 (лиман Куяльницкий – Одесса, 01.01.1989-15.12.2015 гг.). – Одесса: ГМЦ ЧАМ, 1989-2015.*
9. *Отчёты о работе гидрогеологической режимно-эксплуатационной станции за 1959-1972, 1974, 1975, 1977-1984, 1986-1988, 1991-1996 годы. – Одесса, 1954, 1960-1973, 1975, 1976, 1978-1985, 1987-1989, 1992-1997.*
10. *Таблиці метеорологічних даних (середньодобова температура повітря, добова сума атмосферних опадів, середньодобова пружність водяної пари, середньодобові напрямки і швидкість вітру) по метеостанції «Одеса» за період з січня 1976 по грудень 2011 рр. – К.: ЦГО, 2013.*
11. *Архів погоди в Одесі (01.02.2005-22.12.2015). Метеостанція № 33837 (WMO ID) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://rp5.ua>.*
12. *Водні ресурси та гідроекологічний стан Тилігульського лиману: Монографія / [Тучковенко Ю.С., Лобода Н.С., Гриб О.М. та ін.]; за ред. Ю.С. Тучковенко, Н.С. Лободи. – Одеса: ТЕС, 2014. – 278 с.*

13. *Осадчий В.І., Набиванець Б.Й., Осадча Н.М., Набиванець Ю.Б.* Гідрохімічний довідник: Поверхневі води України. Гідрохімічні розрахунки. Методи аналізу. – К.: Ніка центр, 2008. – 656 с.
14. *Горев Л.М., Пелешенко В.И., Кирничный В.В.* Методика оптимизации природной среды обитания. – К.: Либідь, 1992. – 528 с.
15. *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. // смт Таїрове, 17 жовт. 2015 р. / ОДЕКУ; за заг. ред. М.Г. Сербова, О.М. Гриба. – Одеса: Букаєв Вадим Вікторович, 2015. – С. 81-84.
16. *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. (Рівне, 21-23 жовтня 2015 р.) / Рівненський держ. гуманітарний ун-т; за ред. проф. Д.Л. Лико [та ін.]. – Рівне: РДГУ, 2015. – С. 38-39.
17. *Ежегодные* данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши, 1936-2011 гг. – Ч. 1 и 2. – Том 2. – Вып. 1. – 1938-2012.
18. *Оцінка можливих змін гідроекологічного режиму Куяльницького лиману під впливом глобальних кліматичних змін: звіт про НДР (заключний) / Одеський держ. екол. ун-т; керівник роботи Н.С. Лобода. – Одеса, 2012. – ДР № 0112U007607 – 147 с.*
19. *Проведення гідроекологічної оцінки та розробка науково-обґрунтованих заходів щодо регулювання стоку та розчистки русел річок Довбока та Кубанка: звіт про НДР (заключний) / Одеський держ. екол. ун-т; керівник роботи Н.С. Лобода. – Одеса, 2012. – ДР № 0112U007607 – 205 с.*
20. *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. – Київ: Центральна геофізична обсерваторія, 2010-2012.*
21. *Щоквартальні звіти по гідрохімічним спостереженням річки Великий Куяльник (електронна форма) за період з 2000 по 2012 рр. – Одеса: ОГГМЕ, 2000-2012.*
22. *Гриб О.М.* Оцінка випаровування з водної поверхні в районі Тилігульського лиману // Вісник Одеського державного екологічного університету. – 2014. – № 17. – С. 173-184.
23. *Каганер М.С., Дюкель Н.Г.* Испарение с водной поверхности на территории Украины и Молдавии // Тр. УКРНИИГМИ. – 1966. – Вып. 64. – С. 155-180.

24. *Иванов Н.Н.* Ландшафтно-климатические зоны земного шара // Зап. Всесоюз. географ. общ-ва: нов. сер. – 1948. – Т. 1. – 223 с.
25. *Константинов А.Р.* Испарение в природе. – Л.: Гидрометеиздат, 1968. – 532 с.
26. *Правила експлуатації гідротехнічної споруди зі з'єднання Куяльницького лиману та Одеської затоки.* – Одеса: Укрпівдендіпроводгосп, 2015. – 36 с.
27. *Оцінка багаторічних змін складових водного балансу Куяльницького лиману для розробки рекомендацій по збереженню його природних ресурсів: звіт про НДР (заключний) / Одеський держ. екол. ун-т; керівник роботи Є.Д. Гопченко.* – Одеса, 2009. – ДР № 0110U008222 – 90 с.
28. *Гопченко Є.Д., Гриб О.М.* Обґрунтування вибору нормального підпертого рівня води в Куяльницькому лимані // Лимани Північно-Західного Причорномор'я: сучасний гідроекологічний стан, проблеми водного та екологічного менеджменту та шляхи їх вирішення: Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції (Одеса, 1-3 жовтня 2014 р.). – Одеса: ТЕС, 2014. – С. 73-74.

До розділу 10

1. *Deltares, 2014.* Delft3D-FLOW, вихідний код [Електронний ресурс] // Спілка користувачів відкритого програмного забезпечення Delft3D. URL: <http://oss.deltares.nl/web/delft3d/>.
2. *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. 702 pp.
3. *UNESCO, 1981a.* Background papers and supporting data on the international equation of state 1980. Tech. Rep. 38, UNESCO. 1980, 324 pp.
4. *Wu, Jin, 1994.* The sea surface is aerodynamically rough even under light winds. *Boundary layer Meteorology*, 69, 149-58.
5. *Burchard, H. and H. Baumert, 1995.* On the performance of a mixed-large model based on the k-epsilon turbulence closure. *Journal of Geophysical Research* 100 (C5): 8523-8540. 217, 225.
6. *Окубо А., Озмидов Р.В.* Эмпирическая зависимость коэффициента горизонтальной диффузии в океане от масштаба явления // ФАО, 1970, т. VI, №5. – С. 534-536.
7. *Gill, A.E.* *Atmosphere-Ocean Dynamics.* International Geophysics Series. Academic Press, 1982, vol.30. 680 p.
8. *Lane, A., 1989.* The heat balance of the North Sea. Tech. Rep. 8, Proudman Oceanographic Laboratory. 243, 254.

9. *Гриб О.М.* Историчні відомості про штучне поповнення Куяльницького лиману водами інших водойм // Матер. Всеукр. наук.-практ. конф. «Лимани Північно-Західного Причорномор'я: сучасний гідроекологічний стан; проблеми водного та екологічного менеджменту, рекомендації щодо їх вирішення» – Одеса: ОДЕКУ, 2014 р. – С.61-63.
10. *Адобовский В.В., Богатова Ю.И.* Особенности современного гидролого-гидрохимического режима Куяльницкого лимана и прогнозная оценка его составляющих в условиях возможного пополнения водоема морскими и пресными водами // Український гідрометеорологічний журнал, № 13, 2013.- С.127-137.
11. *Chow, Ven Te,* 1959. Open-Channel Hydraulics. McGraw-Hill, New York, 1959. 680 pp. Illus.
12. Мелкомасштабная структура гидрофизических полей верхнего слоя океана / Под.ред. Ю.П. Доронина и В.Н. Степанова. – М.: Московское отделение Гидрометеоиздата, 1988. – 164 с.
13. *Simon, A.J., Kent, E.C., Taylor, P.K.* 1999. The Southampton Oceanography Centre (SOC) Ocean-Atmosphere Heat, Momentum and Freshwater Flux Atlas. Tech. rept. Southampton Oceanography Centre.

Наукове видання

Відповідальні редактори:
ЛОБОДА Наталія Степанівна
ГОПЧЕНКО Євген Дмитрович

**ВОДНИЙ РЕЖИМ ТА ГІДРОЕКОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ
КУЯЛЬНИЦЬКОГО ЛИМАНУ**

Монографія

Українською мовою

Підписано до друку 25.03.2016 р. Формат 60x84/16.
Папір офсетний. Умов. друк. арк. 19,3.
Наклад 100 прим. Замовлення № 215
Видавництво та друкарня «ТЕС»
(Свідоцтво ДК № 771) Одеса, Канатна 81/12
Тел.: (0482)42-90-98, (0482)42-89-72

Надруковано з готового оригінал – макета

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