

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. Лободи, Є.Д. Гопченка. Одеськ. держ. екол-ний ун-т, – 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 XXI 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: TES 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 29.10.2015 р.)

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**.

ISBN 978-617-7337-24-8

© Одеський державний екологічний університет, 2016

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

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-лимани» 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-лимани» 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-лимани». 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

$$S_{K,j} = \frac{C_{K,j}}{W_{K,j}}. \quad (9.3)$$

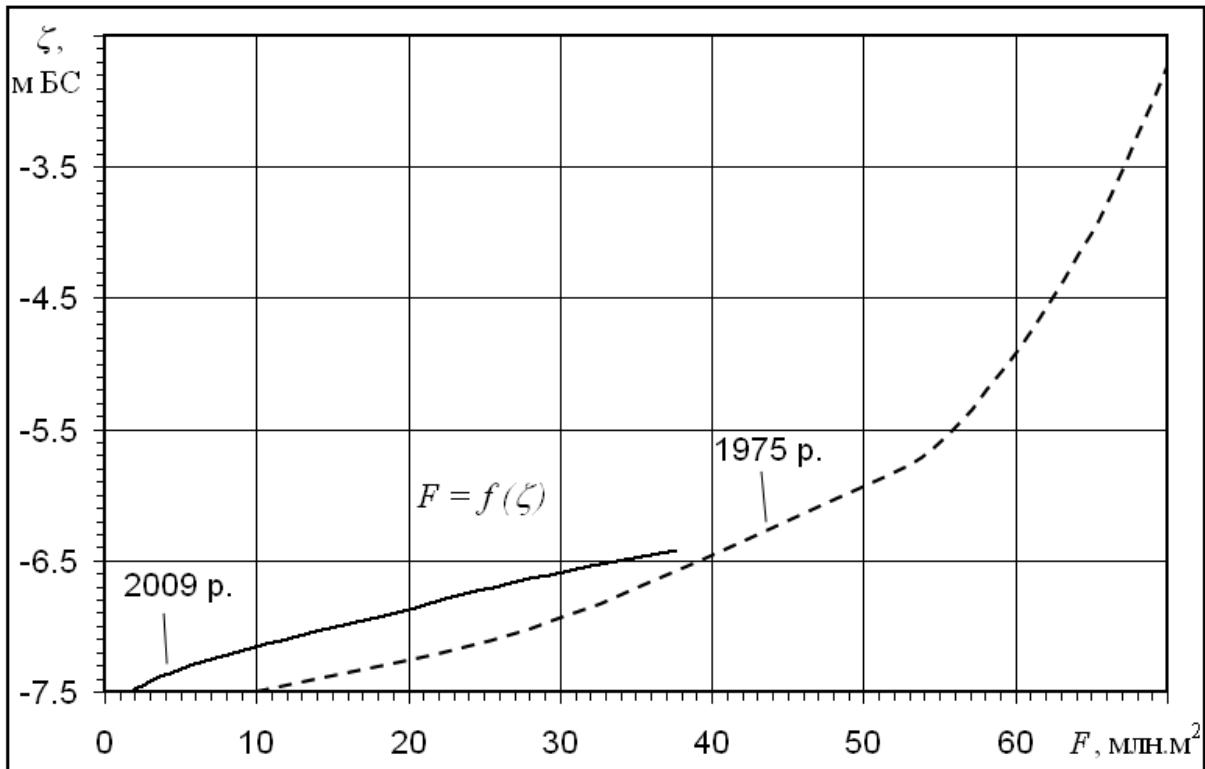


Рис. 9.1 – Криві площ водної поверхні $F = f(\zeta)$ Куяльницького лиману [1]

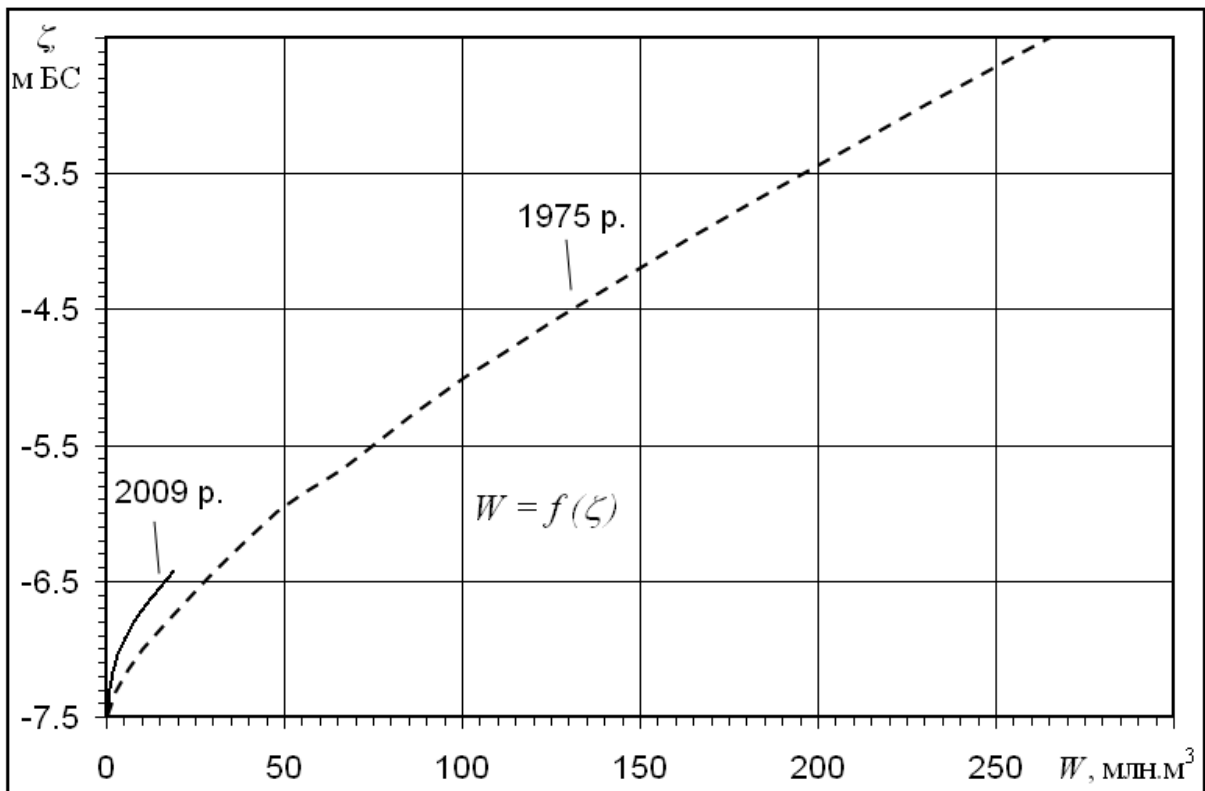


Рис. 9.2 – Криві об'ємів води $W = f(\zeta)$ Куяльницького лиману [1]

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].

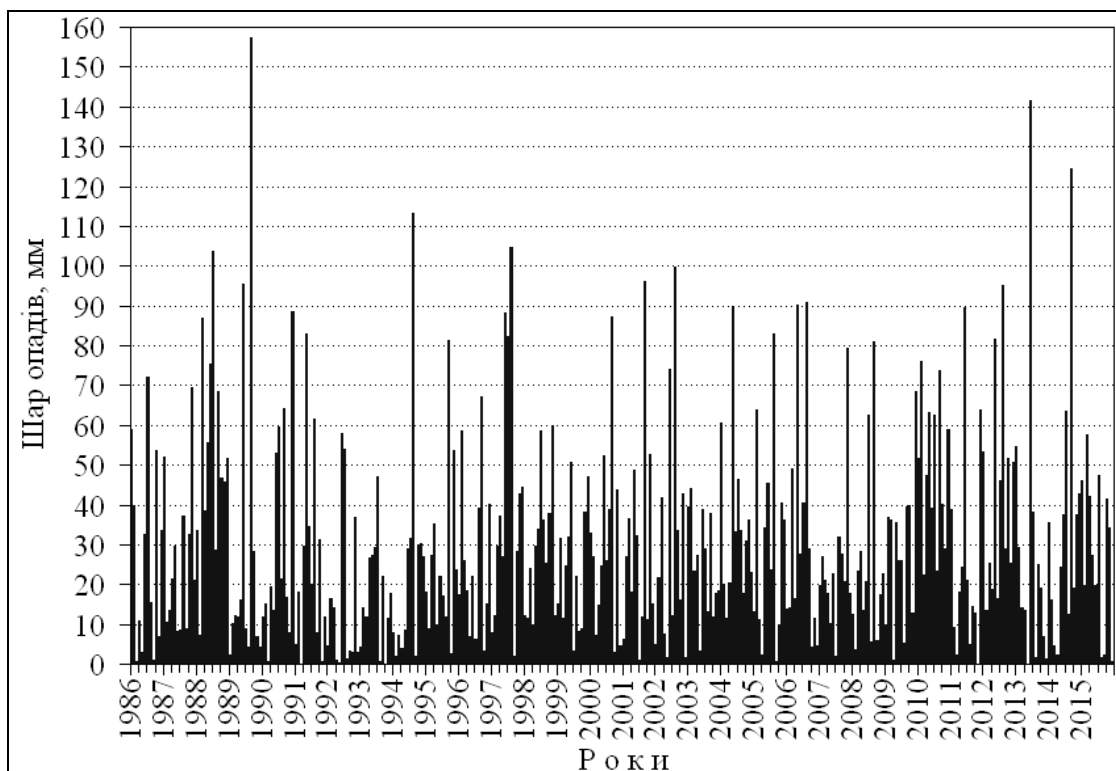


Рис. 9.3 – Мінливість щомісячних шарів атмосферних опадів $P_{K,j}$ (мм) на метеорологічному посту «Одеса-Куяльник» за період з 01.1986 р. по 12.2015 р.

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).

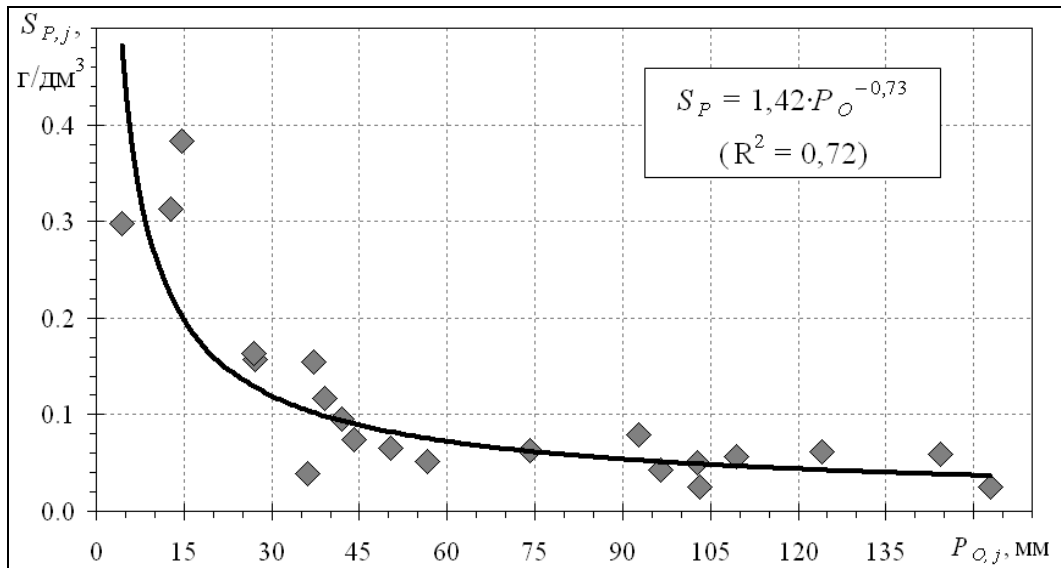


Рис. 9.4 – Зв’язок середньомісячних значень мінералізації атмосферних опадів ($S_{P,j}$, мг/дм³) зі щомісячними сумами опадів ($P_{O,j}$, мм) в районі м. Одеси за період з 2013 по 2015 рр. ($P_{O,j}$ – дані метеостанції «Одеса-Обсерваторія»[11]; $S_{P,j}$ – дані ОДЕКУ [1, 15, 16]; R^2 – детермінант кореляції)

9.3 Визначення об’єму та мінералізації припливних вод до лиману

Об’єм припливу вод $W_{r,j}$ (поверхневих, схилових, підземних), млн. м³, з водозбірного басейну до Куяльницького лиману за розрахунковий період визначався за формулою

$$W_{r,j} = W_{p.В.К.,j} + W_{p.Д.,j} + W_{p.К.,j} + W_{б.Г.,j} + W_{б.К.,j} + W_{с.л.ВНС5,j} + W_{с.л.с.п.,j}, \quad (9.5)$$

де $W_{p.В.К.,j}$, $W_{p.Д.,j}$, $W_{p.К.,j}$, $W_{б.Г.,j}$, $W_{б.К.,j}$, $W_{с.л.ВНС5,j}$, $W_{с.л.с.п.,j}$ – об’єми надходження вод до лиману за розрахункові місяці (j), відповідно, від рр. В. Куяльник, Довбока, Кубанка, бб. Гільдендорфська, Корсунцівська, скидних лотків водо-насосної станції (ВНС) № 5 та ставків пересипу.

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 водозбірного 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 .

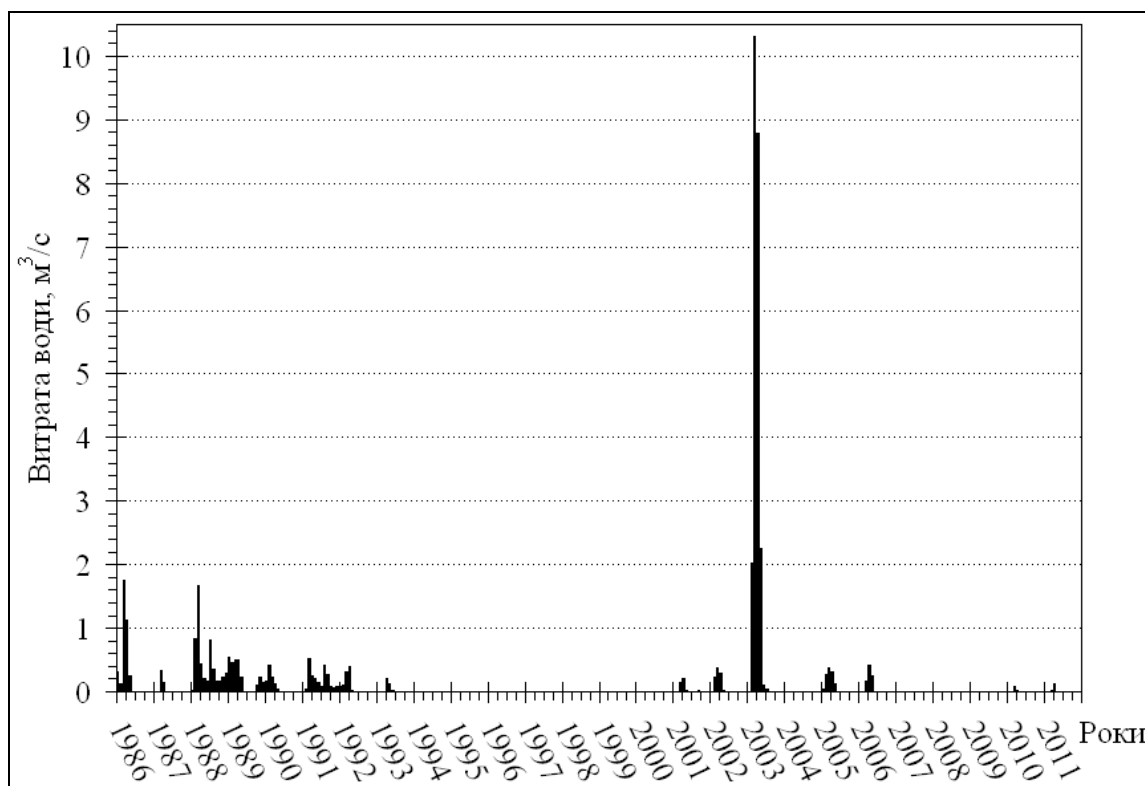


Рис. 9.5 – Мінливість середньомісячних витрат води в гирлі р. В. Куяльник (с. Северинівка) $Q_{p.V.K.,j}$ ($\text{м}^3/\text{с}$) за період 01.1986-12.2011 рр.

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).

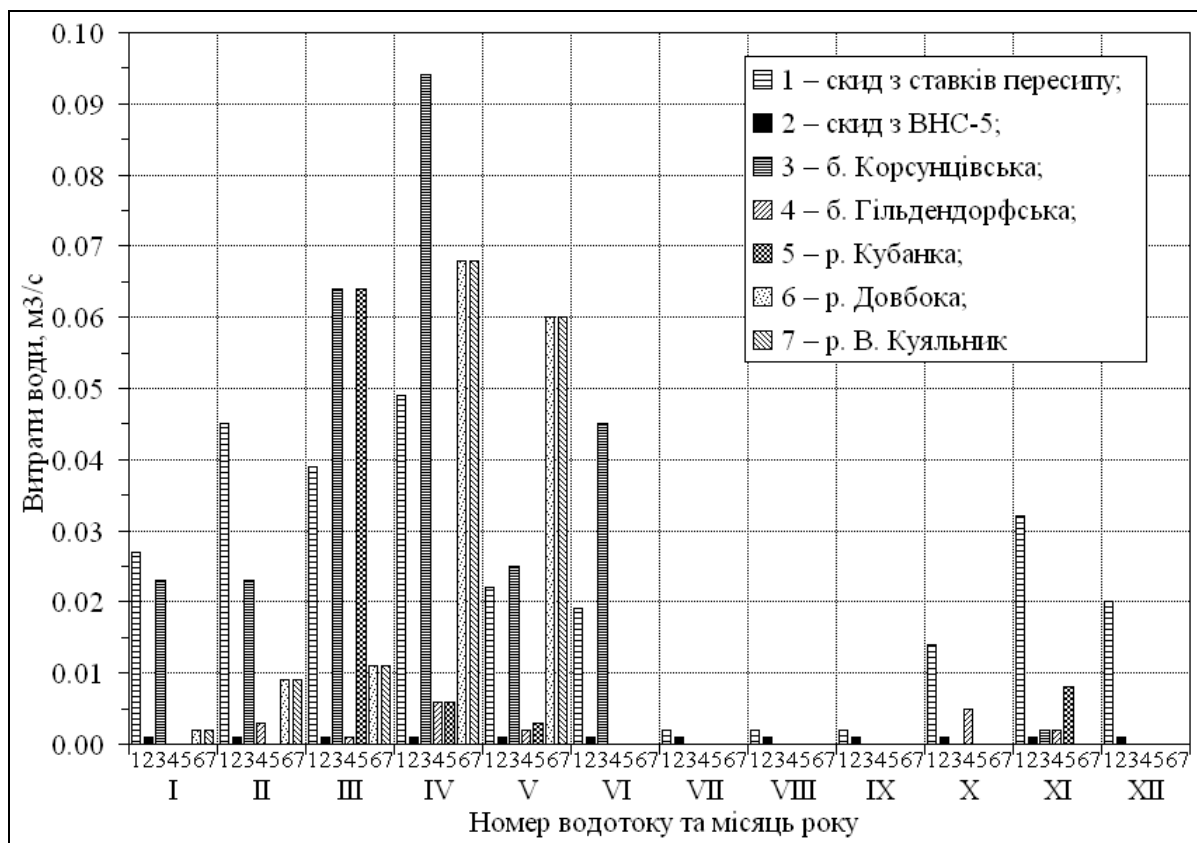


Рис. 9.6 – Мінливість середньомісячних витрат води ($\text{м}^3/\text{с}$) в гирлах приток Куяльницького лиману за період з січня по грудень 2015 р.

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

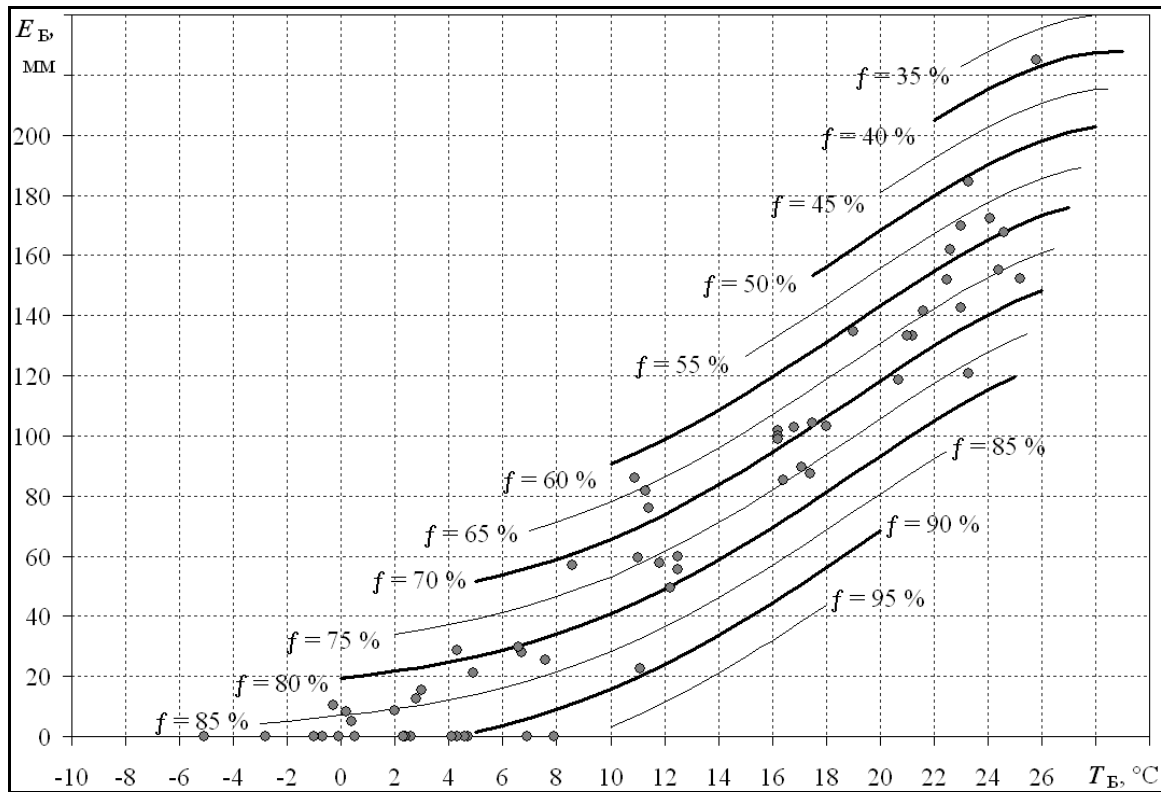


Рис. 9.7 – Зв'язок шарів випаровування з водної поверхні за місяць E_B , мм, з середньомісячними температурами повітря T_B , °С, та значеннями відносної вологості повітря f_B , % (підписи біля ліній), за даними метеостанції «Болград» [12, 22]

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	–	–

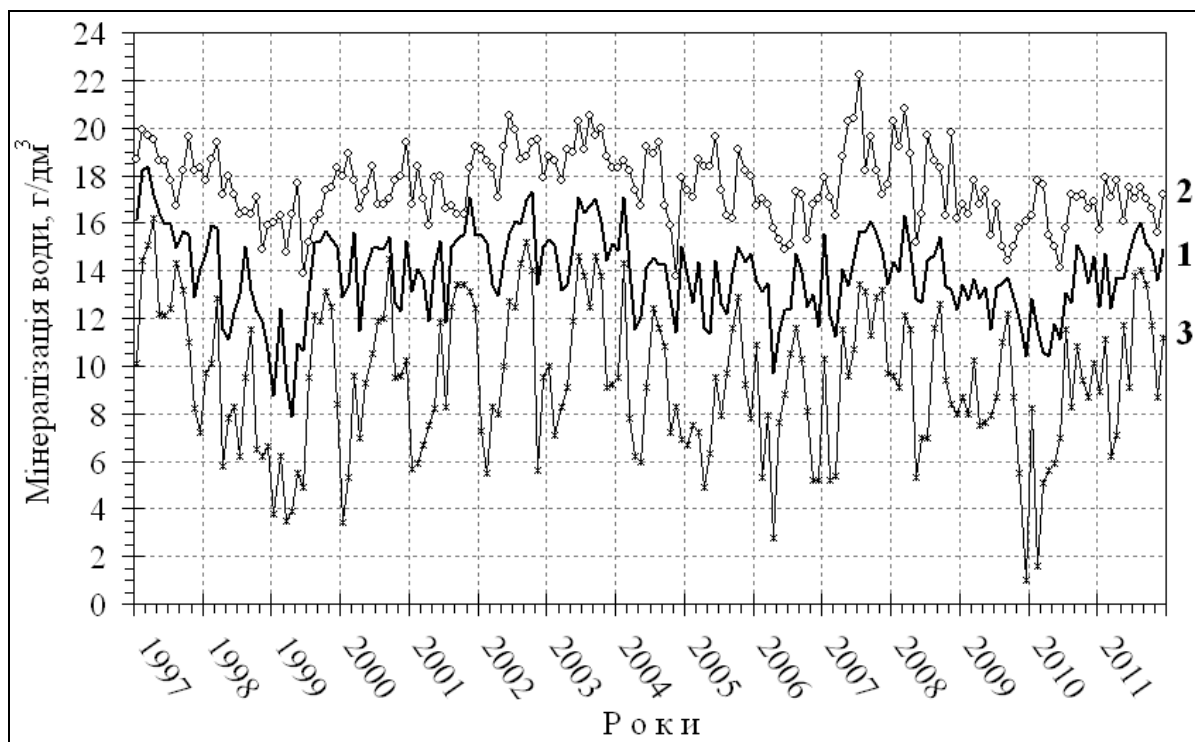


Рис. 9.8 – Мінливість середньомісячних (1), максимальних (2) і мінімальних (3) значень мінералізації води Одеської затоки Чорного моря, визначених за даними гідрологічного поста «Порт-Одеса» [1], за період з 01.1997 р. по 12.2011 р.

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].

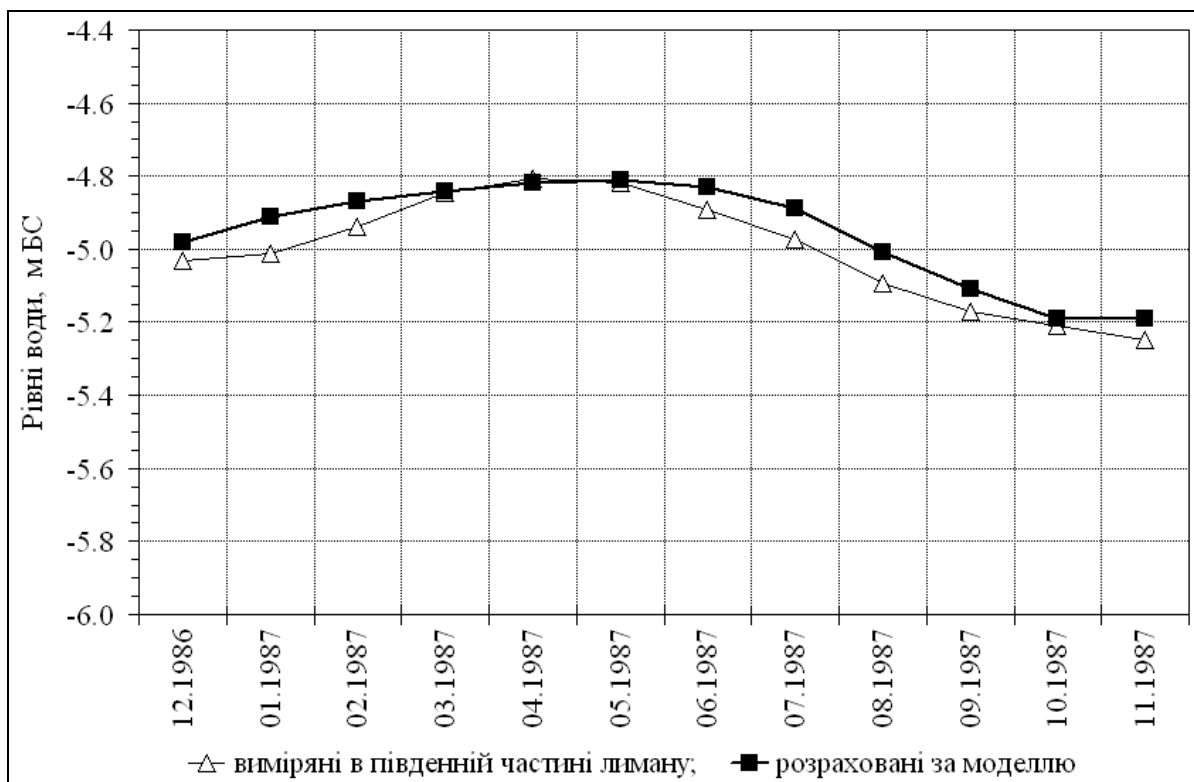


Рис. 9.9 – Мінливість середньомісячних рівнів води Куяльницького лиману (м BC) за період 12.1986-11.1987 рр.

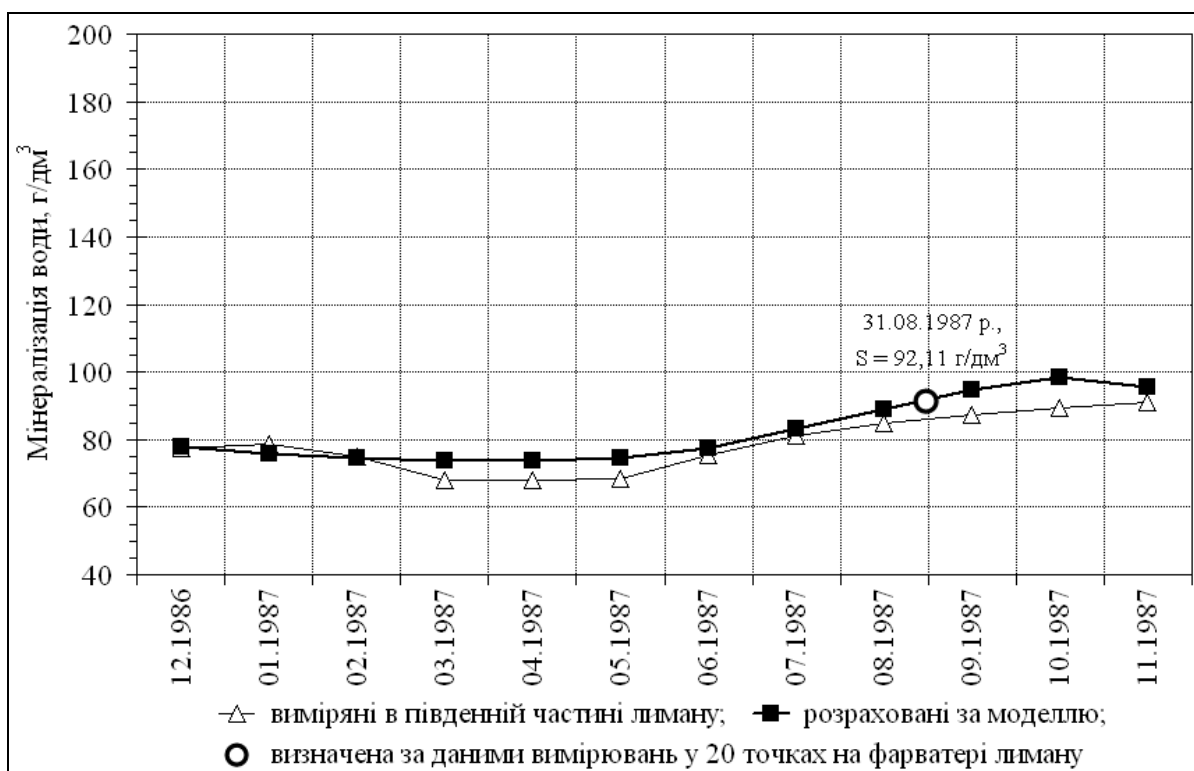


Рис. 9.10 – Мінливість середньомісячних значень мінералізації води (г/дм³) Куяльницького лиману за період 12.1986-11.1987 рр.

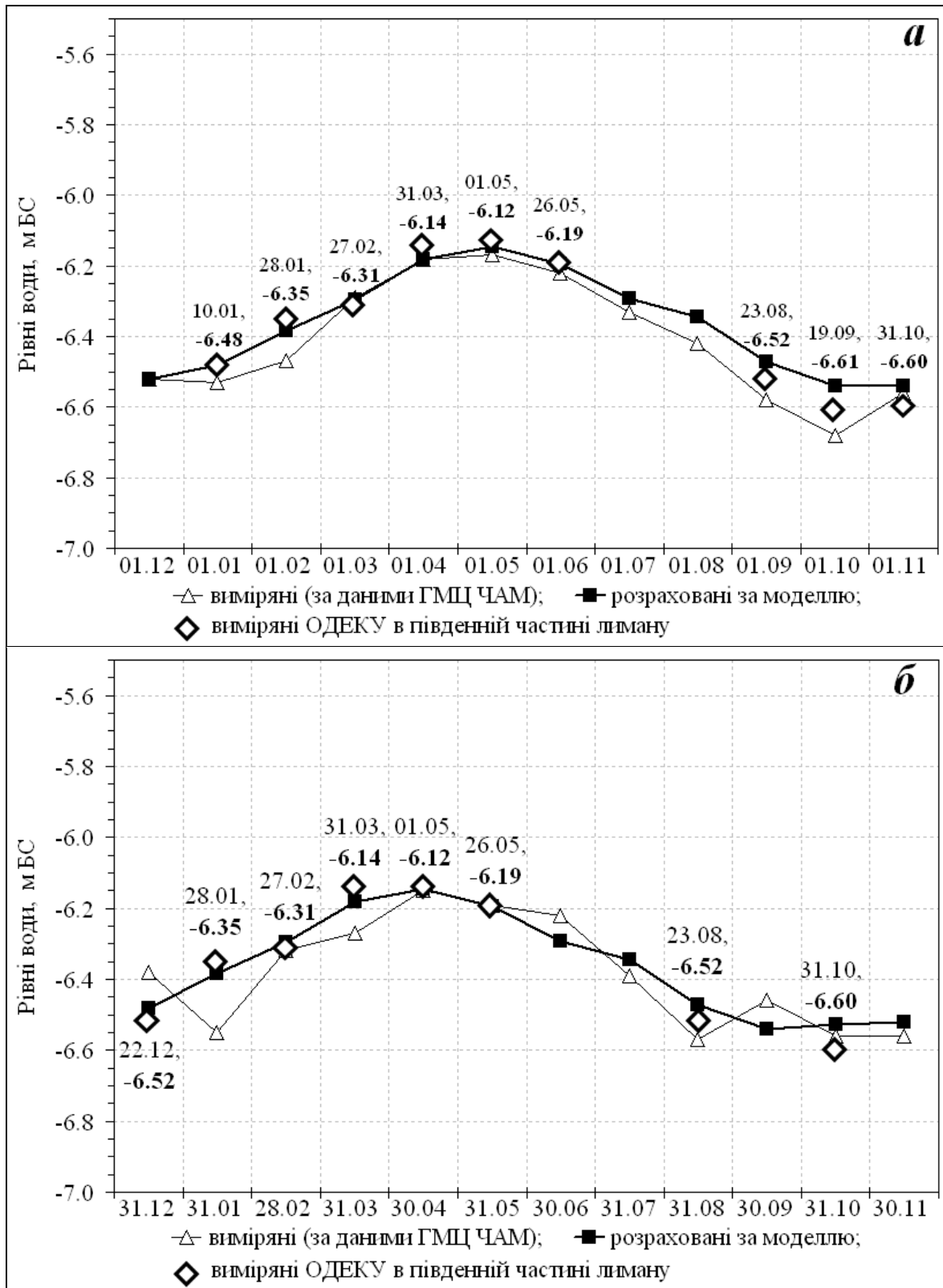


Рис. 9.11 – Мінливість виміряних і розрахованих рівнів води Куяльницького лиману (м БС) на початку (а) та наприкінці (б) місяця за період 12.2014-11.2015 рр. (цифри над/під ромбами – дати вимірювань рівнів води та їх фактичні значення за даними ОДЕКУ)

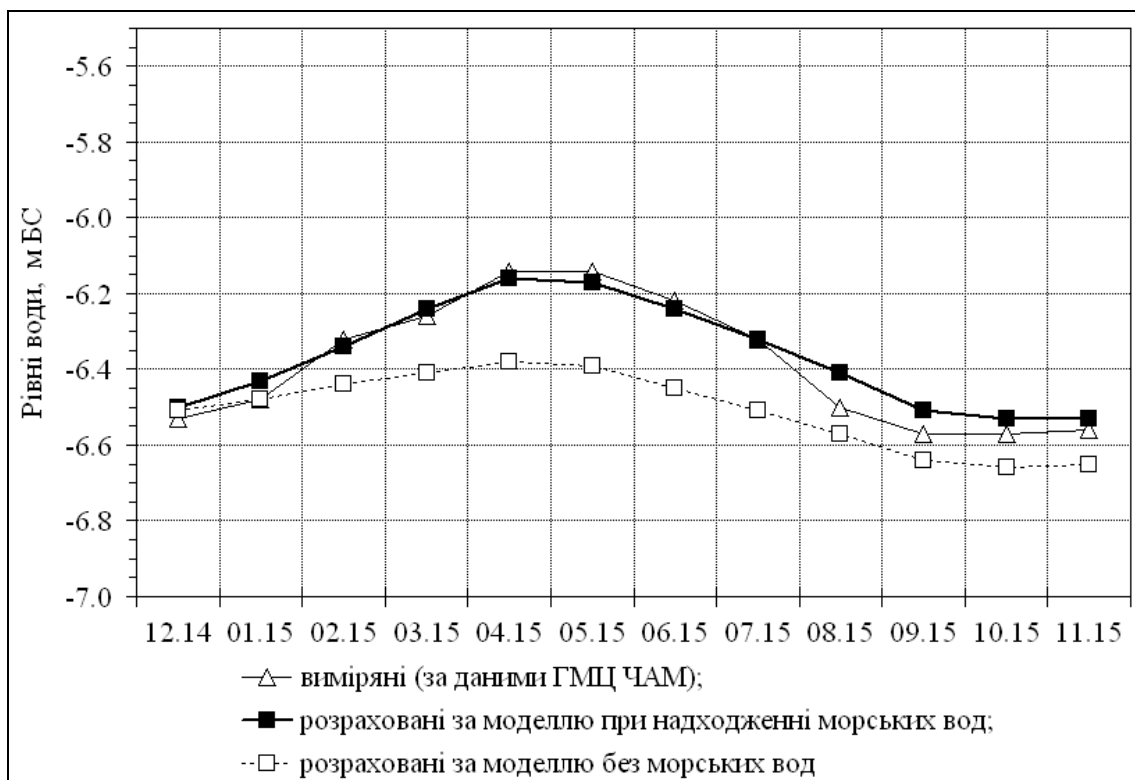


Рис. 9.12 – Мінливість середньомісячних рівнів води Куяльницького лиману (м БС) за період 12.2014-11.2015 рр.

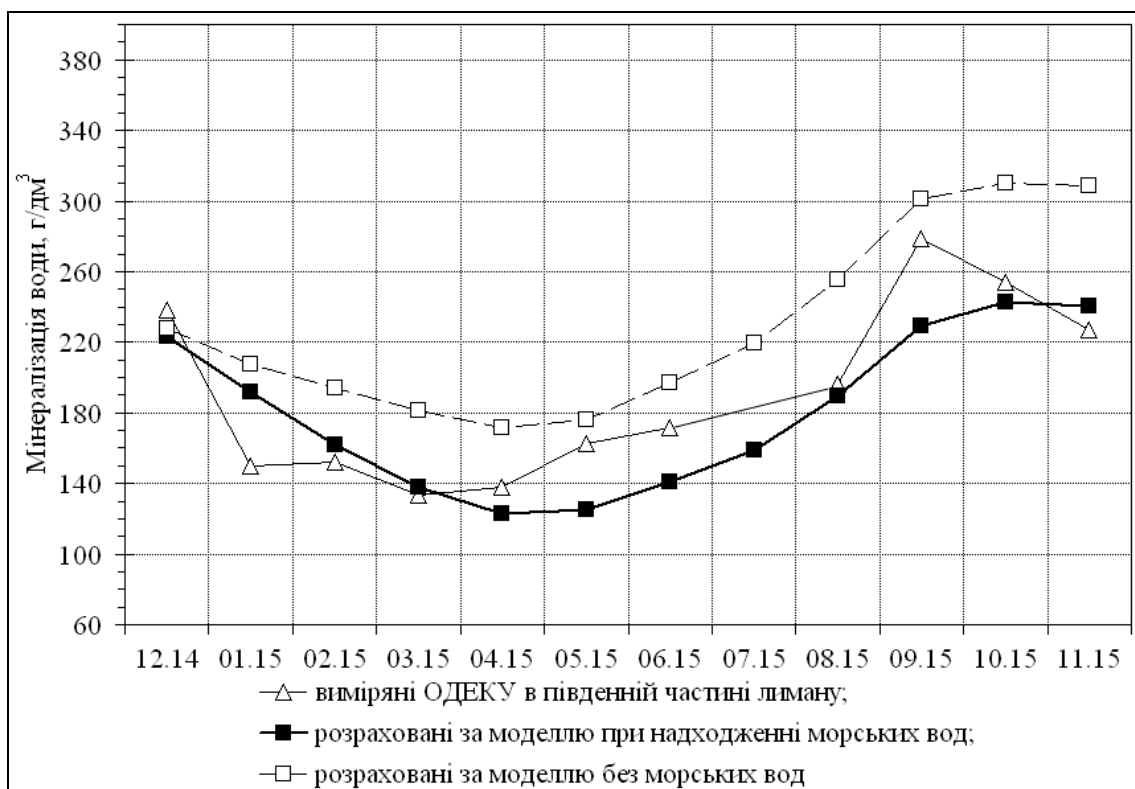


Рис. 9.13 – Мінливість середньомісячних значень мінералізації води (г/дм³) Куяльницького лиману за період 12.2014-11.2015 рр.

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

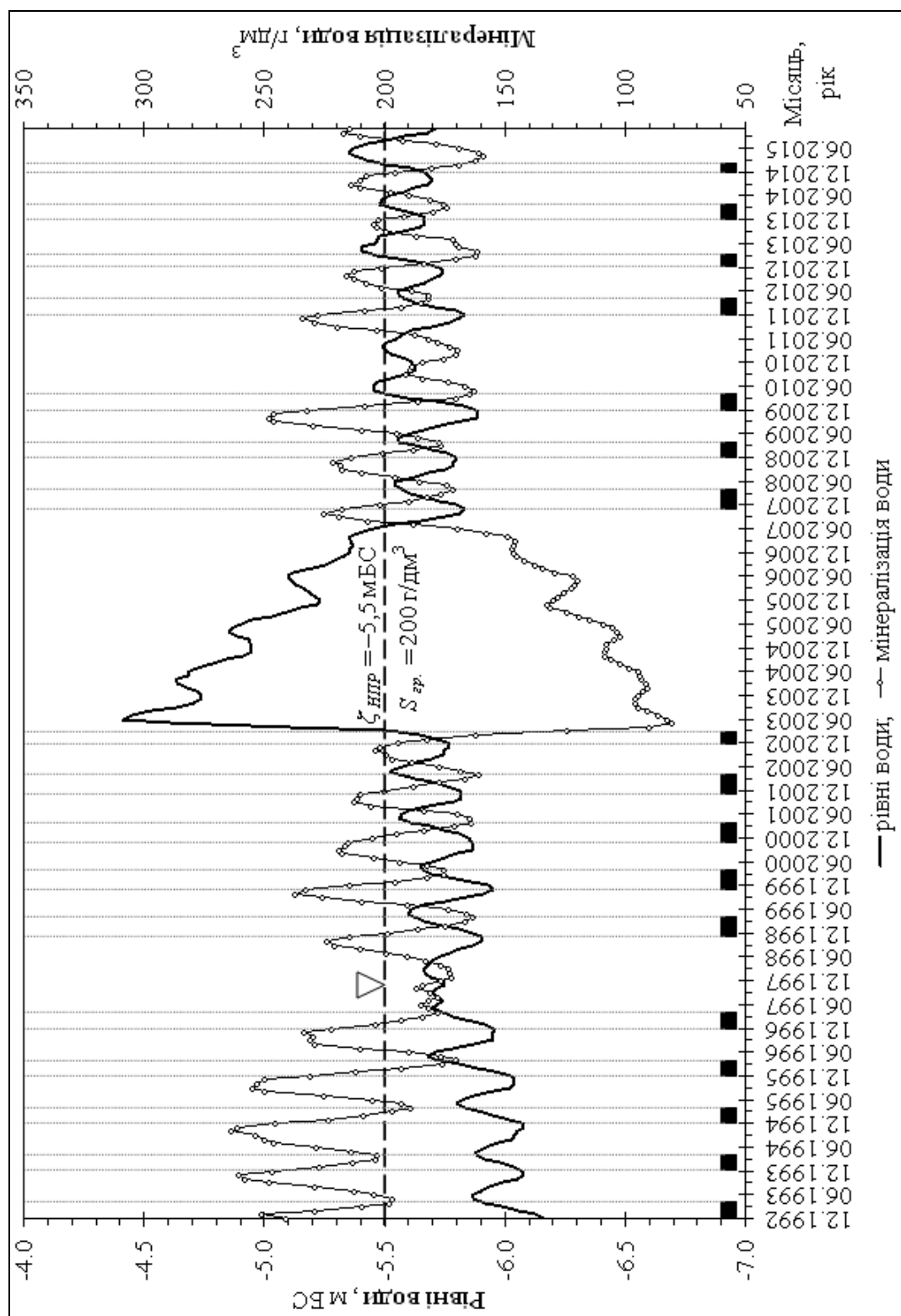


Рис. 9.14 – Мінливість середньомісячних рівнів і значень мінералізації води Куяльницького лиману за період 12.1992-11.2015 рр. (варіант 1): ■ – періоди подачі морської води з Одеської затоки

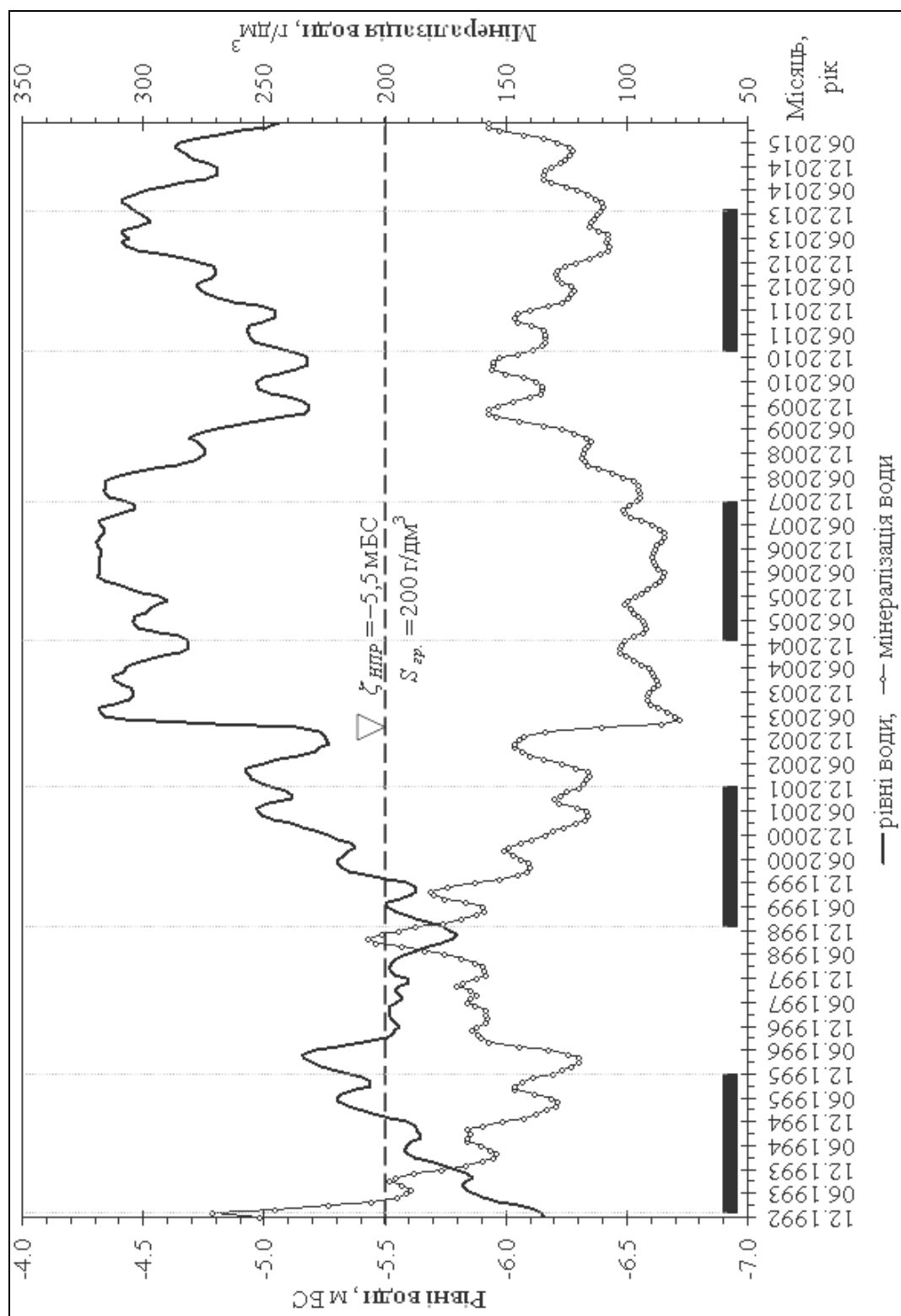


Рис. 9.15 – Мінливість середньомісячних рівнів і значень мінералізації води Куяльницького лиману за період 12.1992-11.2015 рр. (варіант 2): ■ – періоди подачі морської води з Одеської затоки

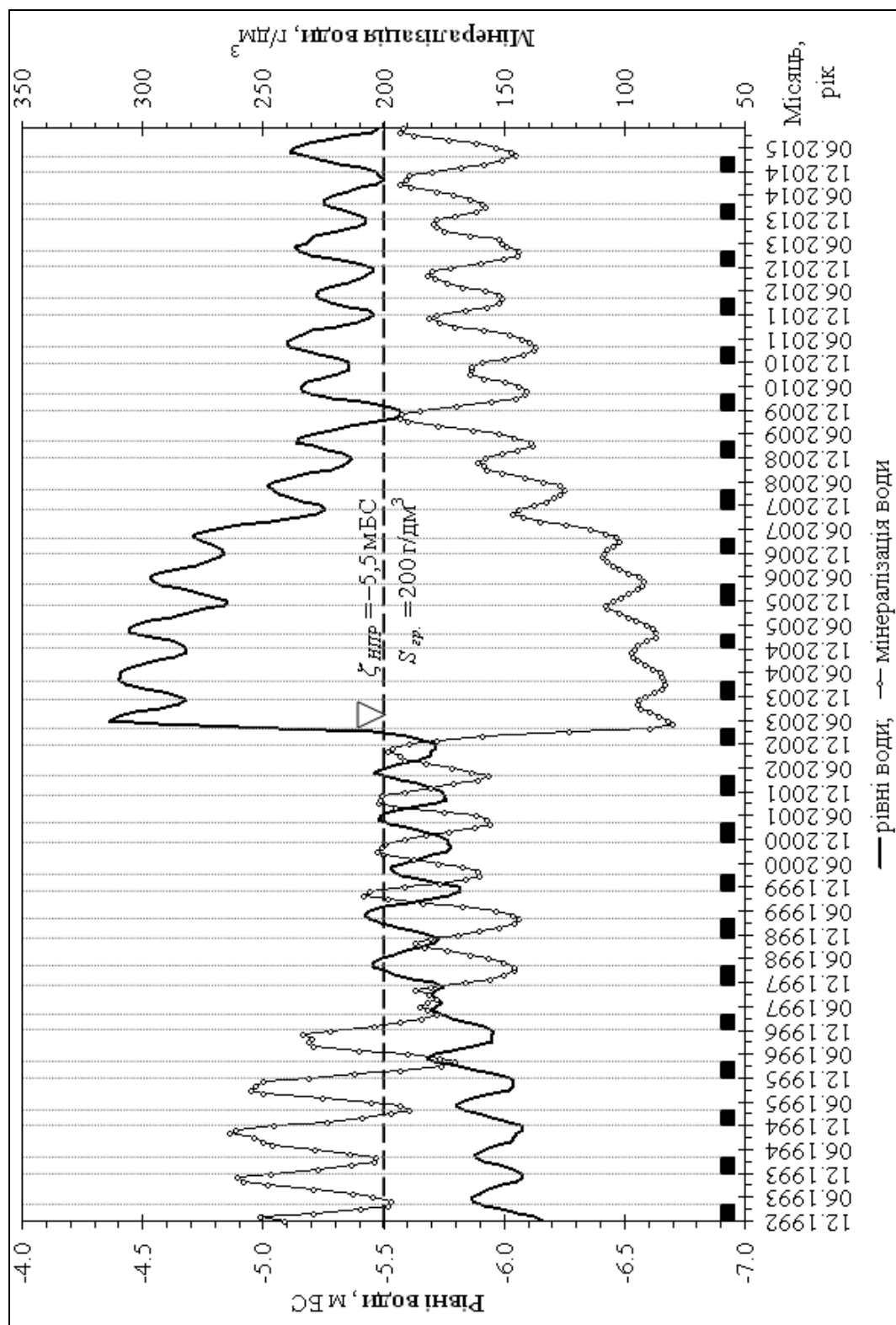


Рис. 9.16 – Мінливість середньомісячних рівнів і значень мінералізації води Куяльницького лиману за період 12.1992-11.2015 рр. (варіант 3): ■ – періоди подачі морської води з Одеської затоки

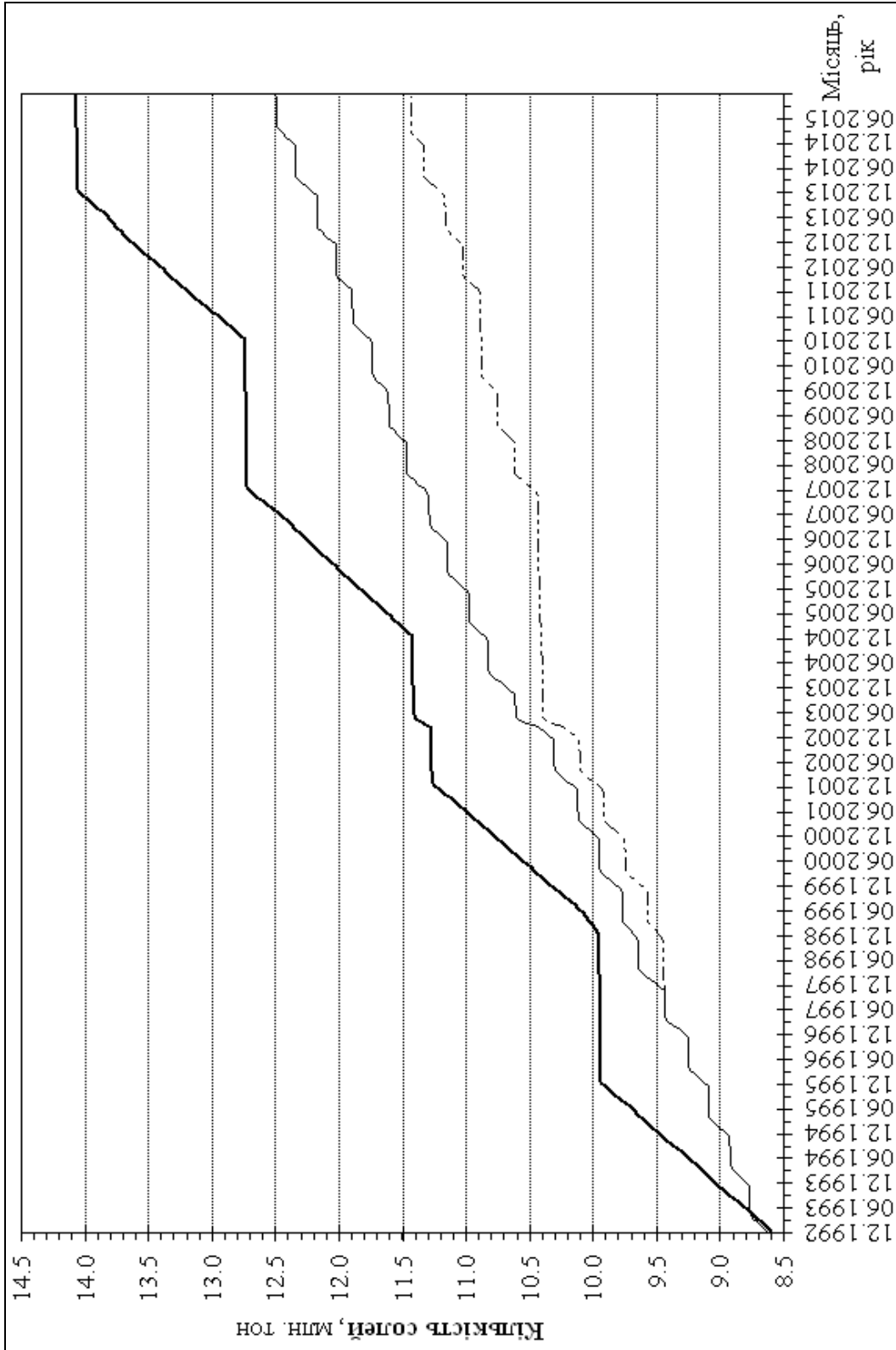


Рис. 9.17 – Мінливість кількості солей в Кукльницькому лимані наприкінці розрахункових місяців за період 12.1992-11.2015 рр. (варіант 1 – нижня лінія; варіант 2 – верхня лінія; варіант 3 – середня лінія)

$\zeta_{НПР}$. 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].

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.