

МІНІСТЕРСТВО ОБРАЗОВАННЯ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ГОСУДАРСТВЕННИЙ ЕКОЛОГІЧЕСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ВОДНІ РЕСУРСИ ТА ГІДРОЕКОЛОГІЧНИЙ СТАН ТИЛІГУЛЬСЬКОГО ЛИМАНУ

Монографія

за редакцією д-ра геогр.н., проф. Тучковенка Ю.С.
д-ра геогр.н., проф. Лободи Н.С.



Одеса
ТЕС
2014

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

**ВОДНІ РЕСУРСИ
ТА ГІДРОЕКОЛОГІЧНИЙ СТАН
ТИЛІГУЛЬСЬКОГО ЛИМАНУ**

Монографія

за редакцією д-ра геогр.н., проф. Тучковенка Ю.С.
д-ра геогр.н., проф. Лободи Н.С.

ОДЕСА

ТЕС

2014

ББК 26.221

В-62

УДК 556.5:551.468.4

Водні ресурси та гідроекологічний стан Тилігульського лиману: Монографія / за ред. Ю.С. Тучковенка, Н.С. Лободи. Одеський державний екологічний університет. – Одеса: ТЕС, 2014. – 278 с., іл. 139, табл. 62, бібл. 240.

Надані фізико-географічна, соціально-економічна і гідрографічна характеристики Тилігульського лиману та його водозбірному басейну, опис природних ресурсів лиману і проблем їх збереження, аналіз гідрохімічного і гідроекологічного режимів лиману в сучасних умовах. Особлива увага приділяється оцінці змін водних ресурсів річок водозбору Тилігульського лиману та інших складових його водно-сольового балансу під впливом водогосподарської діяльності і глобального потепління (за кліматичними сценаріями).

Для фахівців в області гідроекології, океанології і морського природокористування, гідрології суші, екології та охорони морського середовища, студентів гідрометеорологічних і екологічних спеціальностей.

Water resources and hydroecological conditions in Tyligulskyi Liman: Monograph / Y.S. Tuchkovenko, N.S. Loboda. Eds. Odessa State Environmental University. – Odessa: TEC, 2014. – 278 pp.

The monograph describes the physiographic, socioeconomic and hydrographic conditions in the Tyligulskyi Liman Lagoon and in its drainage basin, the natural resources of the lagoon and problems of their conservation the hydrological and hydroecological regime in the lagoon in current conditions. The special attention is given to the assessments of changes in the water resources of rivers in Tyligulskyi Liman drainage basin and to other components of its water-salt balance under the impact of water management and global warming (using climatic scenarios).

The monograph is recommended for the experts in the hydroecology, oceanology, marine nature management, land hydrology, ecology and protection of the marine environment, as well as for the students in hydrometeorological and environmental fields.

Відповідальні редактори:

д-р геогр.н., проф. Ю.С. ТУЧКОВЕНКО; д-р геогр.н., проф. Н.С. ЛОБОДА

Р е ц е н з е н т и: д-р геогр.н. М.А. Берлинський, д-р геогр.н., проф. П.Д. Ломакин

*Рекомендовано до друку вченою радою Одеського державного екологічного університету
Міністерства освіти і науки України (протокол № 9 від 31.10.2013 р.)*

ISBN 978-617-7054-64-0

Список авторів:

© Ю.С. Тучковенко, Н.С. Лобода, О.М. Гриб, О.Р. Губанова, В.М. Хохлов, Є.Д. Гопченко, Г.Г. Мінічева*, О.А. Тучковенко, Ю.В. Божок, Ю.І. Богатова*, Д.В. Кушнір, В.В. Адобовський*, А.Б. Зотов*, 2014

*працівники Одеського філіалу Інституту біології південних морів (з 2014 р. – Інституту морської біології) НАН України

© Одеський державний екологічний університет, 2014
Наукове видання

ЗМІСТ

Вступ (Тучковенко Ю.С., Лобода Н.С.).....	6
Розділ 1. Фізико-географічна характеристика Тилігульського лиману та його водозбірного басейну (Тучковенко Ю.С., Лобода Н.С., Тучковенко О.А.).....	9
1.1 Географічна характеристика лиману.....	9
1.2 Географічна характеристика водозбірного басейну лиману.....	12
Розділ 2. Природні ресурси Тилігульського лиману, проблеми їх збереження (Тучковенко Ю.С., Тучковенко О.А.).....	18
2.1 Природні ресурси лиману.....	18
2.2 Державна законодавча база і регіональна стратегія охорони та використання природних ресурсів лиману.....	20
2.3 Екологічні проблеми лиману.....	24
Розділ 3. Соціо-еколого-економічна характеристика природно-господарського комплексу Тилігульського лиману, проблеми менеджменту (Губанова О.Р.).....	26
Розділ 4. Зміна кліматичних чинників формування стоку на водозборі Тилігульського лиману за останні десятиріччя (Лобода Н.С., Божок Ю.В.).....	37
4.1 Основні тенденції змін кліматичних чинників у межах України.....	37
4.2 Основні тенденції змін кліматичних чинників у межах водозбору Тилігульського лиману.....	39
4.3 Зміна посушливості клімату у басейні Тилігульського лиману.....	46
Розділ 5. Оцінка водних ресурсів річок басейну Тилігульського лиману за даними спостережень (Лобода Н.С.).....	54
5.1 Гідрологічна вивченість.....	54
5.2 Річний стік.....	55
5.3 Внутрішньорічний розподіл стоку.....	61
5.4 Максимальний стік.....	64
5.5 Мінімальний стік.....	65
Розділ 6. Оцінка водних ресурсів річок басейну Тилігульського лиману за метеорологічними даними (Лобода Н.С., Гонченко Є.Д.)...	69
6.1 Метод водно-теплогового балансу як основа визначення природного стоку річок за метеорологічними даними.....	70
6.2 Просторово-часові узагальнення характеристик річного кліматичного стоку на території Північно-Західного Причорномор'я.....	73
6.3 Оцінка природних водних ресурсів річок басейну Тилігульського лиману за моделлю «клімат-стік».....	75
6.4 Оцінка внутрішньорічного розподілу стоку за моделлю	

«клімат-стік».....	77
6.5 Оцінка характеристик мінімального стоку за моделлю «клімат-стік».....	79
6.6 Оцінка характеристик максимального стоку за моделлю Є.Д. Гопченка.....	81
Розділ 7. Оцінка водних ресурсів річок басейну Тилігульського лиману в умовах водогосподарської діяльності (Лобода Н.С.)	88
7.1 Стохастична модель побутового річного стоку.....	88
7.2 Штучні водойми як основний чинник антропогенного впливу на водозборі Тилігульського лиману.....	92
7.3 Оцінка впливу штучних водойм на річний стік річок водозбору Тилігульського лиману з використанням моделі «клімат-стік».....	94
Розділ 8. Обґрунтування вибору регіональної кліматичної моделі для аналізу сучасного стану та прогнозу кліматичних змін в межах водозбору Тилігульського лиману (Хохлов В.М.).....	99
8.1 Сценарії майбутніх змін клімату Землі.....	99
8.2 Оцінка відповідності кліматичних сценаріїв даним спостережень.....	102
8.3 Зміни режиму опадів та температури повітря за реалізацією моделі REMO (сценарій M10).....	108
Розділ 9. Оцінка водних ресурсів річок водозбору Тилігульського лиману в умовах змін глобального клімату за сценарієм M10 (Лобода Н.С., Божок Ю.В.).....	112
9.1 Застосування моделі «клімат-стік» до визначення водних ресурсів за даними сценаріїв змін клімату.....	112
9.2 Зміни кліматичних чинників формування стоку за сценарієм M10.....	117
9.3 Оцінка водних ресурсів за даними сценарію M10 на основі моделі «клімат –стік».....	121
Розділ 10. Гідрографія та морфометрія Тилігульського лиману (Гриб О.М.).....	129
10.1 Морфометричні характеристики та рельєф дна.....	129
10.2 Характеристика з'єднувального каналу «лиман-море».....	142
Розділ 11. Гідрологічний режим Тилігульського лиману (Тучковенко Ю.С., Тучковенко О.А., Кушнір Д.В., Адобовський В.В.)..	148
11.1 Мінливість рівня води.....	148
11.2 Мінливість термогалінних умов.....	151
11.3 Циркуляція вод.....	158
Розділ 12. Водно-сольовий баланс Тилігульського лиману (Гриб О.М., Тучковенко Ю.С., Лобода Н.С.)	173
12.1 Розрахунок водно-сольових балансів різних частин лиману...	174
12.2 Визначення об'єму та мінералізації атмосферних опадів.....	181

12.3 Визначення об'єму та мінералізації припливних вод (поверхневих, схилових, підземних), що надійшли в лиман з його водозбірної басейну.....	183
12.4 Визначення випаровування з водної поверхні лиману.....	186
12.5 Визначення об'ємів припливу-стоку вод через з'єднувальний канал «лиман-море» та мінералізації морських вод.....	197
12.6 Результати моделювання водно-сольового балансу лиману при різних варіантах водообміну з морем.....	203
Розділ 13. Оцінка рівнів і мінералізації води Тилігульського лиману та його частин при різних варіантах функціонування водойми в умовах майбутнього клімату (до 2100 року) (<i>Гриб О.М.</i>).....	215
13.1 Вихідні дані для моделювання водно-сольового балансу Тилігульського лиману у майбутньому (до 2100 року).....	215
13.2 Результати моделювання водно-сольового балансу лиману за різних умов функціонування водойми у майбутньому.....	221
Розділ 14. Гідроекологічний режим лиману (<i>Тучковенко Ю.С., Мінічева Г.Г., Богатова Ю.І., Зотов А.Б., Тучковенко О.А.</i>)	234
Висновки (<i>Лобода Н.С., Тучковенко Ю.С.</i>).....	248
Список літератури.....	258

РОЗДІЛ 12

ВОДНО-СОЛЬОВИЙ БАЛАНС ТИЛІГУЛЬСЬКОГО ЛИМАНУ

У дискретному вигляді рівняння моделі водно-сольового балансу Тилігульського лиману можуть бути записані таким чином:

- водного балансу:

$$W_{T,j} = W_{T,j-1} + (W_{P,j} + W_{r,j} - W_{E,j} \pm W_{кан,j}) \Delta t; \quad (12.1)$$

та

- балансу маси солей:

$$C_{T,j} = C_{T,j-1} + (W_{P,j}S_{P,j} + W_{r,j}S_{r,j} \pm W_{кан,j}S_{кан,j}) \Delta t \quad (12.2)$$

де Δt – розрахунковий крок моделі у часі, який брався рівним 1 місяцю;

$W_{T,j-1}$ – об’єм води в лимані наприкінці попереднього (відносно розрахункового) місяця $(j-1)$, млн. м³;

$W_{T,j}$ – об’єм води в лимані наприкінці місяця (j) , який розраховується, 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 водозбірної басейну до лиману за місяць (j) , млн. м³;

$W_{E,j}$ – об’єм води, що випарився з водної поверхні лиману за місяць (j) , млн. м³;

$W_{кан,j}$ – об’єм припливу-стоку води через канал «лиман-море» за місяць (j) , млн. м³;

$C_{T,j-1} = W_{T,j-1}S_{T,j-1}$ – маса солей в лимані наприкінці попереднього (відносно розрахункового) місяця $(j-1)$, тис. т;

$C_{T,j} = W_{T,j}S_{T,j}$ – маса солей в лимані наприкінці місяця (j) , за який виконується розрахунок, тис. т;

$S_{T,j-1}$ – мінералізація води в лимані наприкінці попереднього (відносно розрахункового) місяця $(j-1)$, г/дм³;

$S_{T,j}$ – 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 мінералізація припливних вод (поверхневих, схилових, підземних), що надійшли до лиману з його водозбірної басейну за місяць (j), г/дм³;

$S_{кан,j}$ – мінералізація води, що надходить або витікає через канал «лиман-море» за місяць (j), г/дм³. Якщо вода у розрахунковий місяць (j) витікає із лиману в море, то береться $S_{кан,j} = S_{T,j-1}$. У разі надходження морської води до лиману $S_{кан,j} = S_{м,j}$, де $S_{м,j}$ – мінералізація (солоність) морської води.

На кожному розрахунковому кроці за часом визначається об'єм води в лимані наприкінці розрахункового місяця (j) $W_{T,j} = W_{T,j-1} + \Delta W_T$. Надалі, із застосуванням функціональних залежностей $Z_{T,j} = f(W_{T,j})$, $F_{T,j} = f(Z_{T,j})$ (рис. 10.7) та рівнянь (10.1)-(10.7) визначаються площа водної поверхні $F_{T,j}$ і відмітка рівня води у лимані $\zeta_{T,j}$ (м БС) наприкінці місяця (j). Мінералізація води в лимані наприкінці місяця (j) розраховується таким чином

$$S_{T,j} = \frac{C_{T,j}}{W_{T,j}} \quad (12.3)$$

12.1 Розрахунок водно-сольових балансів різних частин лиману

З урахуванням поділу Тилігульського лиману на чотири частини (див. розділ 10), які розрізняються за морфометричними характеристиками [1, 2], моделювання водно-сольового балансу виконувалося окремо для кожної з них.

Рівняння водно-сольового балансу I частини Тилігульського лиману, з детермінованим у часі розрахунковим кроком в 1 місяць, записуються таким чином:

$$W_{j,I} = W_{j-1,I} + W_{P,j,I} + W_{r,j,I} - W_{E,j,I} \pm W_{кан,j} \pm W_{j,I-II}, \quad (12.4)$$

$$W_{j,I} S_{j,I} = W_{j-1,I} S_{j-1,I} + W_{P,j,I} S_{P,j,I} + W_{r,j,I} S_{r,j,I} \pm W_{кан,j} S_{кан,j} \pm \pm W_{j,I-II} S_{j-1,I-II}, \quad (12.5)$$

де I – індекс приналежності до першої частини лиману;

$W_{j,I-II}$ – об'єм водообміну між I та II частинами лиману за розрахунковий період (j), млн. м³ (додатні значення $W_{j,I-II}$ відповідають надходженню вод з II частини лиману до I , від'ємні значення – витоку вод з I частини до II);

$S_{j-1,I-II}$ – мінералізація води наприкінці попереднього (відносно розрахункового) місяця ($j-1$) в I частині лиману, якщо вода витікає з неї до II частини, $S_{j-1,I-II} = S_{j-1,I}$ або в II частині лиману, якщо вода надходить з неї до I частини, $S_{j-1,I-II} = S_{j-1,II}$, г/дм³.

Інші складові рівнянь (12.4), (12.5) мають той же зміст, що і в рівняннях (12.1), (12.2), але відносяться до I частини лиману.

Рівняння водно-сольового балансу II частини лиману враховують водо- та солеобмін з суміжними I та III частинами:

$$W_{j,II} = W_{j-1,II} + W_{P,j,II} + W_{r,j,II} - W_{E,j,II} \pm W_{j,II-III} \pm W_{j,II-I}, \quad (12.6)$$

$$W_{j,II} S_{j,II} = W_{j-1,II} S_{j-1,II} + W_{P,j,II} S_{P,j,II} + W_{r,j,II} S_{r,j,II} \pm W_{j,II-III} S_{j,II-III} \pm W_{j,II-I} S_{j-1,II-I}, \quad (12.7)$$

де II – індекс другої частини лиману;

$W_{j,II-I}$ – об'єм водообміну між I та II частинами лиману за розрахунковий місяць (j), млн. м³, $W_{j,II-I} = -W_{j,I-II}$;

$W_{j,II-III}$ – об'єм водообміну між II та III частинами лиману за розрахунковий період (j), млн. м³, (додатні значення $W_{j,II-III}$ відповідають надходженню вод з III частини лиману до II , від'ємні значення – витоку вод з II частини до III);

$S_{j-1,II-I}$ – мінералізація води наприкінці попереднього місяця ($j-1$) в II частині лиману, якщо вода витікає з неї до I частини, $S_{j-1,II-I} = S_{j-1,II}$ або в I частині лиману, якщо вода надходить з неї до II частини, $S_{j-1,II-I} = S_{j-1,I}$, г/дм³.

$S_{j-1,II-III}$ – мінералізація води наприкінці попереднього (відносно розрахункового) місяця ($j-1$) в II частині лиману, якщо вода витікає з неї до III частини, $S_{j-1,II-III} = S_{j-1,II}$ або в III частині лиману, якщо вода надходить з неї до II частини, $S_{j-1,II-III} = S_{j-1,III}$, г/дм³.

Відповідно до (12.4)-(12.7) записуються рівняння водно-сольового балансу для III та IV частин лиману:

$$W_{j,III} = W_{j-1,III} + W_{P,j,III} + W_{r,j,III} - W_{E,j,III} \pm W_{j,III-II} \pm W_{j,III-IV}, \quad (12.8)$$

$$W_{j,III}S_{j,III} = W_{j-I,III}S_{j-I,III} + W_{P,j,III}S_{P,j,III} + W_{r,j,III}S_{r,j,III} \pm \\ \pm W_{j,III-II}S_{j,III-II} \pm W_{j,III-IV}S_{j-I,III-IV}, \quad (12.9)$$

$$W_{j,IV} = W_{j-I,IV} + W_{P,j,IV} + W_{r,j,IV} - W_{E,j,IV} \pm W_{j,IV-III}, \quad (12.10)$$

$$W_{j,IV}S_{j,IV} = W_{j-I,IV}S_{j-I,IV} + W_{P,j,IV}S_{P,j,IV} + W_{r,j,IV}S_{r,j,IV} \pm, \\ \pm W_{j,IV-III}S_{j-I,IV-III}. \quad (12.11)$$

Складові рівнянь (12.4)-(12.11), які враховують водообмін між різними частинами лиману та солоність вод, що беруть участь у цьому водообміні, оцінювались в два етапи за такою схемою.

На першому етапі:

1. За алгоритмом, викладеним на початку розділу, обчислювався загальний об'єм $W_{T,j}$ води, млн. м³, та загальна для всіх частин відмітка рівня води у лимані $\zeta_{T,j}$, мБС, наприкінці розрахункового місяця (j).

2. Із застосуванням функціональних залежностей $W_{i,j} = f(Z_{T,j})$ (рис. 10.3-10.6) та рівнянь (10.2) - (10.6) визначалися об'єми води в кожній з чотирьох частин лиману $W_{i,j}$ (де $i = I, II, III, IV$), млн. м³, при середній для всього лиману відмітці рівня води $\zeta_{T,j}$, мБС.

3. З використанням рівнянь (12.4), (12.6), (12.8), (12.10), але без врахування водообміну між різними частинами Тилігульського лиману ($W_{j,I-II} = W_{j,II-I} = W_{j,II-III} = W_{j,III-II} = W_{j,III-IV} = W_{j,IV-III} = 0$), обчислювалися нові об'єми води $W'_{j,i}$ в кожній з частин лиману. Тобто водні баланси i -х частин лиману розраховувалися як для замкнених водойм.

4. Для кожної i -ї частини лиману визначався загальний об'єм водообміну $\Delta W'_{j,i} = W_{j,i} - W'_{j,i}$, млн. м³, з суміжними частинами лиману та морем. Додатні значення $\Delta W'_{j,i}$ відповідали надходженню вод до i -ї частини лиману з суміжних частин або з моря (для I частини), а від'ємні значення – витоку вод з i -ї частини до суміжних або через з'єднувальний канал в море (для I частини). Об'єми водообміну окремих частин лиману з кожною із суміжних частин та з морем (для I частини), коли канал «лиман-море» був відкритий, а також солоність вод, що брали участь у цьому водообміні, визначалися в послідовності показаній в табл. 12.1.

На другому етапі: В зв'язку з тим, що шар випаровування з водної поверхні $E_{j,i}$ залежить від мінералізації води $E_{j,i} = f(S_{j,i})$, на другому етапі з урахуванням середньомісячної мінералізації води $S_{j,i}$, визначеної на першому етапі, для кожної i -ї частини лиману уточнювалися об'єми випаровування з водної поверхні $W_{E,j,i}$ (див. пп. 12.4) та повторювались розрахунки, що виконувалися на першому етапі.

Таблиця 12.1. Послідовність визначення об'ємів водообміну окремих частин лиману з кожною із суміжних частин лиману та з Чорним морем (для I частини) та значень солоності вод, що беруть участь у водообміні

Розрахункові умови	Формули для визначення об'ємів водообміну між суміжними частинами	Пояснення до формул та значень солоності вод	Напрямок водообміну між частинами лиману
1	2	3	4
для IV частини лиману			
якщо $\Delta W'_{j, IV} > 0$, то	$W_{j, IV-III} = \Delta W'_{j, IV}$	вода надходить із III до IV частини з солоністю $S_{j-1, IV-III} = S_{j-1, III}$	IV ч. \leftarrow III ч.
якщо $\Delta W'_{j, IV} < 0$, то	$W_{j, IV-III} = \Delta W'_{j, IV}$	вода витікає із IV до III частини з солоністю $S_{j-1, IV-III} = S_{j-1, IV}$	IV ч. \rightarrow III ч.
якщо $\Delta W'_{j, IV} = 0$, то	$W_{j, IV-III} = 0$	водообмін між IV та III частинами відсутній	IV ч. \leftrightarrow III ч.
для III частини лиману			
якщо $\Delta W'_{j, III} > 0$ та $\Delta W'_{j, IV} > 0$, то	$W_{j, III-IV} = -\Delta W'_{j, IV}$, $W_{j, III-II} = \Delta W'_{j, III} + \Delta W'_{j, IV}$	вода надходить із II до III частини з солоністю $S_{j-1, III-II} = S_{j-1, II}$, а далі витікає до IV частини з солоністю $S_{j-1, III-IV} = S_{j-1, III}$	IV ч. \leftarrow III ч. \leftarrow II ч.
якщо $\Delta W'_{j, III} > 0$ та $\Delta W'_{j, IV} = 0$, то	$W_{j, III-IV} = 0$, $W_{j, III-II} = \Delta W'_{j, III}$	вода надходить із II до III частини з солоністю $S_{j-1, III-II} = S_{j-1, II}$	IV ч. \leftrightarrow III ч. \leftarrow II ч.

Продовження табл. 12.1

1	2	3	4
якщо $\Delta W'_{j, III} > 0$ та $\Delta W'_{j, IV} < 0$, то	при $\Delta W'_{j, III} = -\Delta W'_{j, IV}$: $W_{j, III-IV} = -\Delta W'_{j, IV}$, $W_{j, III-II} = 0$	вода надходить із IV до III частини з солоністю $S_{j-1, III-IV} = S_{j-1, IV}$	IV ч. \rightarrow III ч. \rightarrow II ч.
	при $\Delta W'_{j, III} > -\Delta W'_{j, IV}$: $W_{j, III-IV} = -\Delta W'_{j, IV}$, $W_{j, III-II} = \Delta W'_{j, III} + \Delta W'_{j, IV}$	вода надходить із IV та II частин до III частини з солоністю $S_{j-1, III-IV} = S_{j-1, IV}$ і $S_{j-1, III-II} = S_{j-1, II}$	IV ч. \rightarrow III ч. \leftarrow II ч.
	при $\Delta W'_{j, III} < -\Delta W'_{j, IV}$: $W_{j, III-IV} = -\Delta W'_{j, IV}$, $W_{j, III-II} = \Delta W'_{j, III} + \Delta W'_{j, IV}$	вода надходить із IV до III частини з солоністю $S_{j-1, III-IV} = S_{j-1, IV}$, а далі витікає до II частини з солоністю $S_{j-1, III-II} = S_{j-1, III}$	IV ч. \rightarrow III ч. \rightarrow II ч.
якщо $\Delta W'_{j, III} < 0$ та $\Delta W'_{j, IV} < 0$, то	$W_{j, III-IV} = -\Delta W'_{j, IV}$, $W_{j, III-II} = \Delta W'_{j, III} + \Delta W'_{j, IV}$	вода надходить із IV до III частини з солоністю $S_{j-1, III-IV} = S_{j-1, IV}$, а далі витікає до II частини з солоністю $S_{j-1, III-II} = S_{j-1, III}$	IV ч. \rightarrow III ч. \rightarrow II ч.

Продовження табл. 12.1

1	2	3	4
якщо $\Delta W'_{j,III} < 0$ та $\Delta W'_{j,IV} > 0$, то	при $\Delta W'_{j,III} = -\Delta W'_{j,IV}$: $W_{j,III-IV} = -\Delta W'_{j,IV}$, $W_{j,III-II} = 0$	вода витікає із III до IV частини з солоністю $S_{j-1,III-IV} = S_{j-1,III}$	IV ч. \leftarrow III ч. \rightarrow II ч.
	при $\Delta W'_{j,III} > -\Delta W'_{j,IV}$: $W_{j,III-IV} = -\Delta W'_{j,IV}$, $W_{j,III-II} = \Delta W'_{j,III} + \Delta W'_{j,IV}$	вода витікає із III до IV та II частин з солоністю $S_{j-1,III-IV} = S_{j-1,III}$ і $S_{j-1,III-II} = S_{j-1,III}$	IV ч. \leftarrow III ч. \rightarrow II ч.
	при $\Delta W'_{j,III} < -\Delta W'_{j,IV}$: $W_{j,III-IV} = -\Delta W'_{j,IV}$, $W_{j,III-II} = \Delta W'_{j,IV} - \Delta W'_{j,III}$	вода надходить із II до III частини з солоністю $S_{j-1,III-II} = S_{j-1,II}$, а далі витікає до IV частини з солоністю $S_{j-1,III-IV} = S_{j-1,III}$	IV ч. \leftarrow III ч. \leftarrow II ч.
якщо $\Delta W'_{j,III} < 0$ та $\Delta W'_{j,IV} = 0$, то	$W_{j,III-IV} = 0$, $W_{j,III-II} = \Delta W'_{j,III}$	вода витікає із III до II частини з солоністю $S_{j-1,III-II} = S_{j-1,III}$	IV ч. \rightarrow III ч. \rightarrow II ч.

Продовження табл. 12.1

1	2	3	4
якщо $\Delta W'_{j,III} = 0$ та $\Delta W'_{j,IV} = 0$, то	$W_{j,III-IV} = 0$, $W_{j,III-II} = 0$	водообмін між III, IV та II частинами відсутній	IV ч. ↔ III ч. ↔ II ч.
якщо $\Delta W'_{j,III} = 0$ та $\Delta W'_{j,IV} > 0$, то	$W_{j,III-IV} = -\Delta W'_{j,IV}$, $W_{j,III-II} = \Delta W'_{j,IV}$	вода витікає із III до IV частини з солоністю $S_{j-1,III-IV} = S_{j-1,III}$ та надходить із II до III частини з солоністю $S_{j-1,III-II} = S_{j-1,II}$	IV ч. \leftarrow III ч. \leftarrow II ч.
якщо $\Delta W'_{j,III} = 0$ та $\Delta W'_{j,IV} < 0$, то	$W_{j,III-IV} = -\Delta W'_{j,IV}$, $W_{j,III-II} = \Delta W'_{j,IV}$	вода надходить із IV до III частини з солоністю $S_{j-1,III-IV} = S_{j-1,IV}$, а далі витікає до II частини з солоністю $S_{j-1,III-II} = S_{j-1,III}$	IV ч. \rightarrow III ч. \rightarrow II ч.
для II частини лиману			
так само, як і для III частини лиману, тільки з заміною: IV на III, III на II, II на I			
для I частини лиману (при наявності водообміну з морем)			
так само, як і для III частини лиману, тільки з заміною: IV на II, III на I, II на м (море)			
для I частини лиману (при відсутності водообміну з морем)			
так само, як і для IV частини лиману, тільки з заміною: IV на I, III на II			

12.2 Визначення об'єму та мінералізації атмосферних опадів

Об'єм атмосферних опадів $W_{P,j}$, млн. м³, що випали на водну поверхню Тилігульського лиману за розрахунковий період (місяць (j)), визначався за формулою

$$W_{P,j} = \sum_{i=I}^{IV} W_{P,j,i}, \quad (12.12)$$

де $W_{P,j,i}$ – об'єм атмосферних опадів, що випали на водну поверхню i -ї частини лиману ($i = I, II, III, IV$) за j -й місяць року

$$W_{P,j,i} = P_{j,i} F_{j-1,i}, \quad (12.13)$$

де $P_{j,i}$ – шар атмосферних опадів за розрахунковий місяць (j), м;

$F_{j-1,i}$ – площа водної поверхні i -ї частини лиману наприкінці попереднього (відносно розрахункового) місяця, млн. м².

Вихідними даними для обчислення $W_{P,j,i}$ були сумарні за місяць шари атмосферних опадів, виміряні на метеостанціях (рис. 12.1): «порт-Южний» – за періоди з січня 1980 р. по грудень 1988 р. [3] та з січня 1996 р. по грудень 2012 р. [1, 4]; «Сербка» – за період з листопада 1976 р. по грудень 2012 р. [3, 5]; «порт-Одеса» – за період з січня 1953 р. по грудень 2012 р. [3, 6-8] (рис. 12.2 та 12.3).

При визначенні об'єму атмосферних опадів, які випали на водну поверхню I частини лиману, використовувалися дані спостережень на метеорологічній станції «порт-Южний». Для II та III частин опади розраховувалися як середнє арифметичне між даними по метеостанціях «порт-Южний» та «Сербка». Для IV частини об'єм атмосферних опадів визначався за даними, виміряними на метеорологічній станції «Сербка».

У зв'язку з тим, що на метеостанціях «порт-Южний» та «Сербка» дані про шари атмосферних опадів є не за всі місяці періоду з січня 1953 р. по грудень 2012 р., для їх відновлення були встановлені зв'язки з шарами атмосферних опадів на метеорологічній станції «порт-Одеса», де ряд спостережень за атмосферними опадами є безперервним.

Середня мінералізація атмосферних опадів, що випали на водну поверхню водойми $S_{P,j,i}$ (г/дм³), для всіх розрахункових періодів (місяців року) та всіх частин Тилігульського лиману бралась однаковою: $S_{P,j,i} = 0,035$ г/дм³ [9].

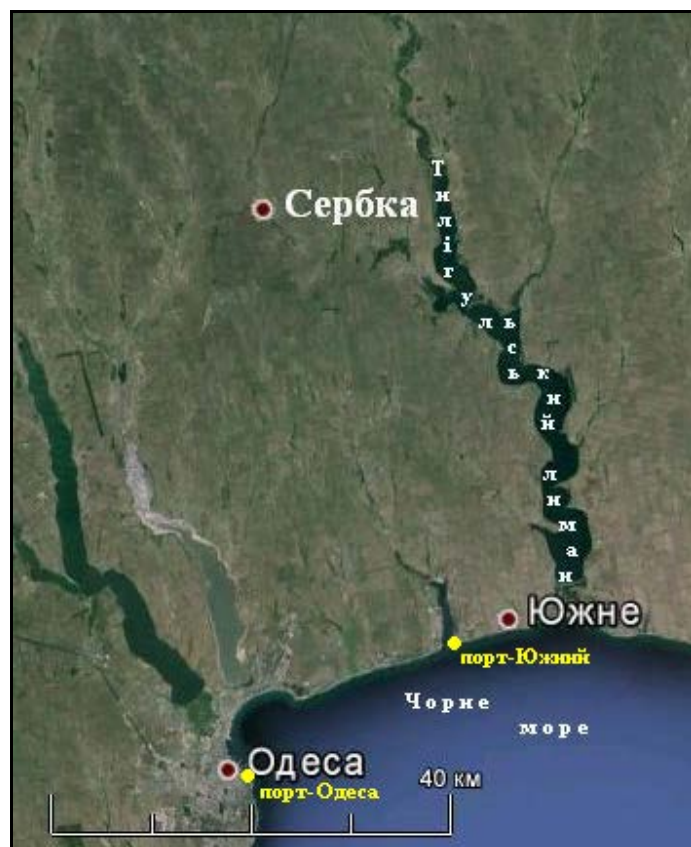


Рис. 12.1. Місцезнаходження метеостанцій «порт-Южний», «Сербка» та «порт-Одеса»

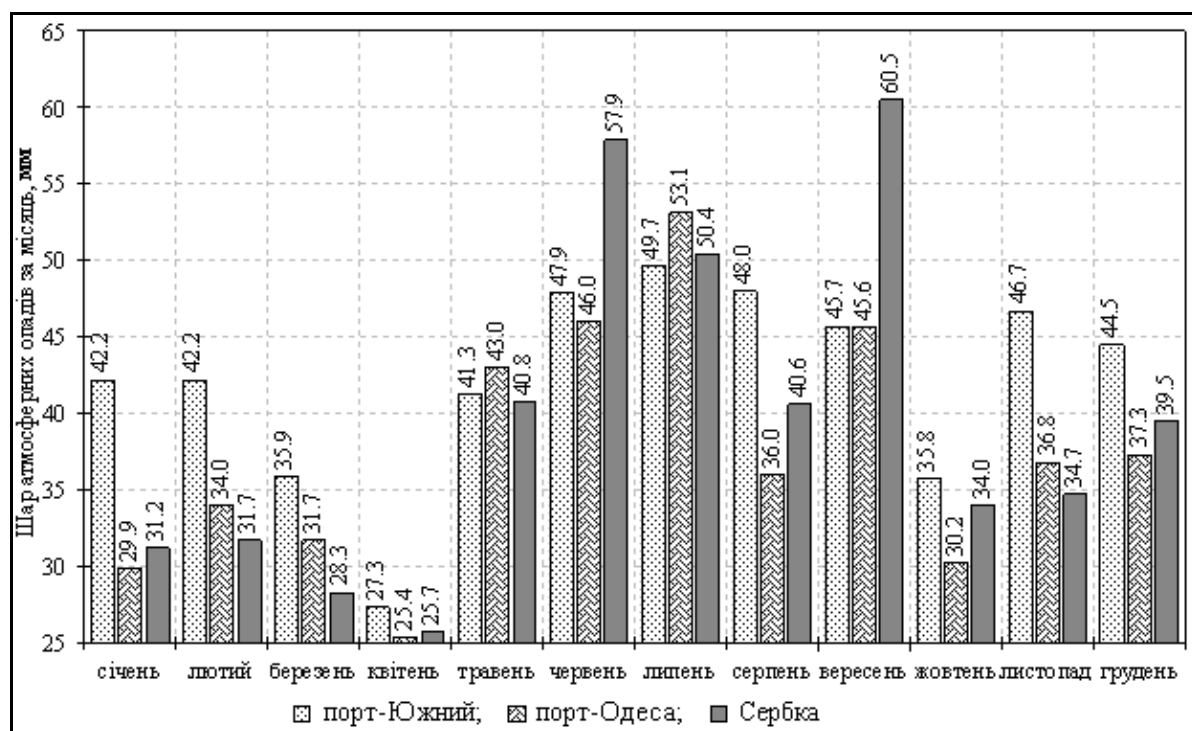


Рис. 12.2. Внутрішньорічний розподіл атмосферних опадів на метеостанціях «порт-Южний», «Сербка» та «порт-Одеса»

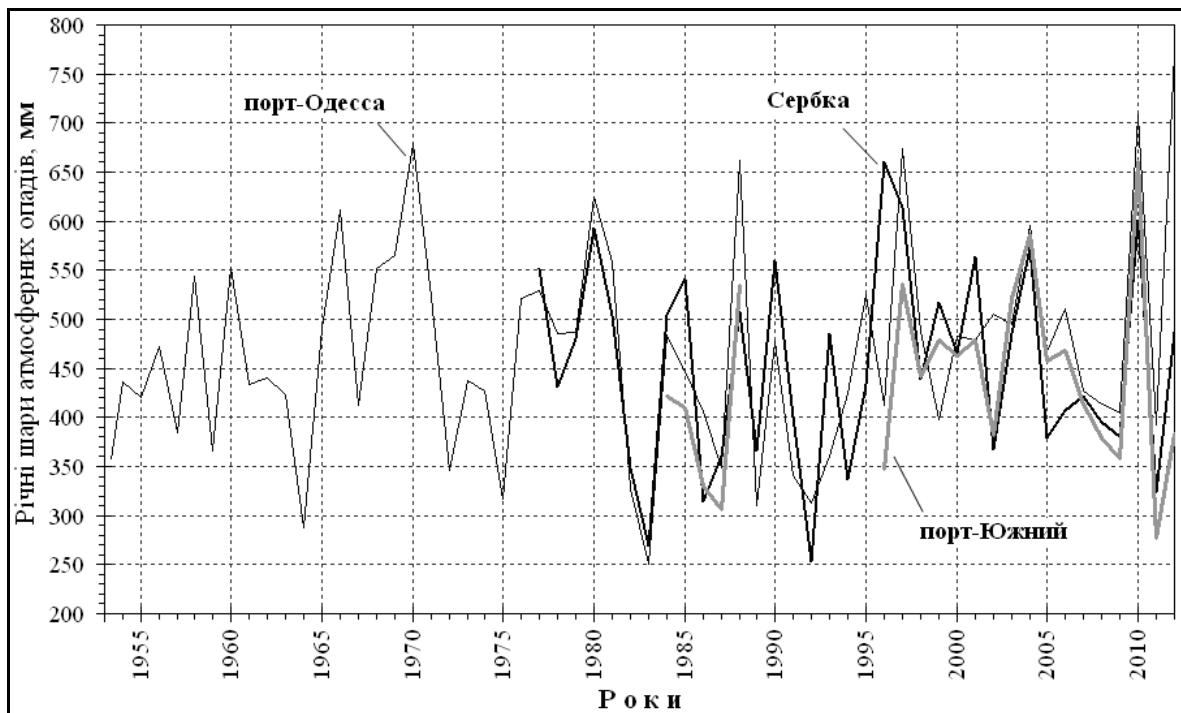


Рис. 12.3. Річні шари атмосферних опадів на метеостанціях «порт-Южный», «Сербка» та «порт-Одеса»

12.3 Визначення об'єму та мінералізації припливних вод (поверхневих, схилових, підземних), що надійшли в лиман з його водозбірного басейну

Об'єм припливу вод $W_{r,j}$ (поверхневих, схилових, підземних), млн. м^3 , з водозбірного басейну до Тилігульського лиману за розрахунковий період визначався за формулою

$$W_{r,j} = \sum_{i=I}^{IV} W_{r,j,i}, \quad (12.14)$$

де $W_{r,j,i}$ – об'єм припливу вод до i -ї частини лиману ($i = \text{I, II, III, IV}$) за розрахунковий j -й місяць року, який обчислювався як сумарний стік з річок і балок та боковий приплив.

Приплив до I частини лиману розраховувався за такою формулою

$$W_{r,j,I} = W_{\text{б.Кам},j} + W_{\text{б.Бес},j} + W_{\text{б.Лен},j} + W_{\text{бок.пр.},j,I}, \quad (12.15)$$

де $W_{\text{б.Кам},j}, W_{\text{б.Бес},j}, W_{\text{б.Лен},j}$ – об'єми стоку за розрахунковий місяць (j) балок Кам'янистої (Кам'яної), Бесарабської та Ленінської, відповідно;

$W_{\text{бок.пр.},j,I}$ – об'єми бокового припливу води до I частини лиману.

Приплив до другої частини лиману визначався таким чином

$$W_{r,j,II} = W_{б.Кеф,j} + W_{б.Хут,j} + W_{б.Чаб,j} + W_{бок.пр.,j,II}, \quad (12.16)$$

де $W_{б.Кеф,j}, W_{б.Хут,j}, W_{б.Чаб,j}$ – об'єми стоку за місяць (j) балок Кефалевої, Хуторської та Чабанської, відповідно;

$W_{бок.пр.,j,II}$ – об'єм бокового припливу до II частини;

Приплив до третьої частини лиману розраховувався як

$$W_{r,j,III} = W_{р.Цар,j} + W_{бок.пр.,j,III}, \quad (12.17)$$

де $W_{р.Цар,j}$ – об'єм стоку за місяць (j) р.Царега;

$W_{бок.пр.,j,III}$ – об'єми бокового припливу води за місяць (j) в III частину лиману з водозбору, який не входить в межі басейну р.Царега.

Надходження води до четвертої частини лиману визначалися за таким рівнянням

$$W_{r,j,IV} = W_{р.Тил,j} + W_{р.Бал,j} + W_{бок.пр.,j,IV}, \quad (12.18)$$

де $W_{р.Тил,j}, W_{р.Бал,j}$ – відповідно, об'єми стоку за розрахунковий місяць (j) річок Тилігул і Балай;

$W_{бок.пр.,j,IV}$ – об'єми бокового припливу води за місяць в IV частину лиману з водозбору, який не входить в межі басейнів річок Тилігул та Балай.

При наявності даних про середньомісячні витрати води річок і балок, що впадають в лиман, як, наприклад, в передгірловій ділянці р. Тилігул (рис. 12.4) [10], 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

$$W_{r,j,k} = 86400 n_j Q_{r,j,k} 10^{-6}, \quad (12.19)$$

де $Q_{r,j,k}$ – середня за розрахунковий місяць (j) витрата води k -го водотоку, м³/с;

n_j – кількість діб в j -му місяці року;

86400 – кількість секунд в одній добі, с;

10^{-6} – переводний коефіцієнт з м³ до млн. м³.

У зв'язку з тим, що гідрологічний пост, де вимірюються витрати води, є тільки в гирловій частині р. Тилігул – смт Березівка, фактичні об'єми припливу вод з водозбірного басейну до лиману були визначені лише для його IV частини за період з 1953 по 2011 рр. (рис. 12.4).

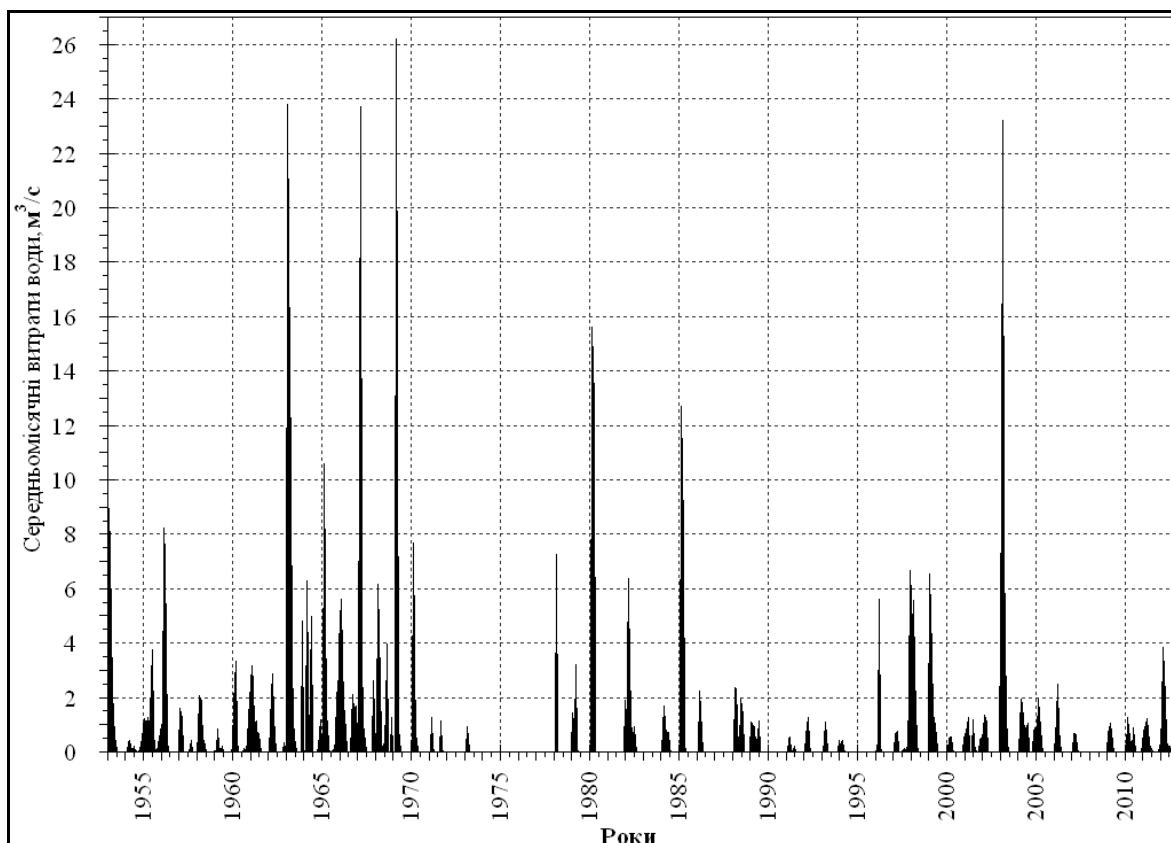


Рис. 12.4. Середньомісячні витрати води, р. Тилігул – смт Березівка, за період з січня 1953 р. по грудень 2012 р.

Для 2012 р., через відсутність офіційних даних про витрати води у створі р. Тилігул – смт Березівка, які публікуються в [10], в розрахунках водного балансу IV частини Тилігульського лиману використані середні багаторічні витрати води та об'єми стоку річки (табл. 12.2), які добре узгоджуються з даними епізодичних вимірювань витрат води в цьому році, виконаних фахівцем ОФ ІБПМ НАН України В.В. Адобовським (табл. 12.3).

Через те, що для інших річок і балок водозбірного басейну Тилігульського лиману дані спостережень за стоком води відсутні, оцінка їх внесків у водний баланс лиману в період 1953-2012 рр. виконувалась на підставі результатів розрахунків за моделлю «клімат-стік» (див. розділ 7). Останні свідчать, що у роки із забезпеченістю $P=50\%$ побутовий (порушений господарською діяльністю) річний приплив прісних вод з водозбірного басейну лиману на більш ніж 99 % складається зі стоку р. Тилігул (див. пп. 7.3, табл. 7.6). Тому для уникнення зайвих похибок при моделюванні водно-сольового балансу лиману та його частин вважалося, що приплив води до них визначається тільки стоком р. Тилігул, мінералізація вод якої для усіх місяців року в період з 1953 по 2012 рр. бралась рівною $S_{r,j,Tul} = 1,295 \text{ г/дм}^3$ [11].

Таблиця 12.2. Середні багаторічні витрати води $Q_{r,j,T_{вл}}$ та об'єми стоку $W_{r,j,T_{вл}}$ р. Тилігул – смт Березівка, за період з 1953 по 2012 рр.

Місяць	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	За рік
$Q_{r,j,T_{вл}}$, м ³ /с	0,37	1,29	3,85	1,99	0,41	0,22	0,21	0,089	0,12	0,043	0,085	0,31	0,75
$W_{r,j,T_{вл}}$, млн. м ³	0,991	3,149	10,312	5,158	1,098	0,570	0,562	0,238	0,311	0,115	0,220	0,830	23,556

Таблиця 12.3. Виміряні в 2012 р. та середні багаторічні за березень, квітень і травень витрати води р. Тилігул – смт Березівка

Дата вимірювання	Витрати води, м ³ /с	
	Виміряні (середні за добу)	Середні багаторічні за місяць
24.03.2012	3,01	3,85
15.04.2012	1,04	1,99
20.05.2012	0,36	0,41

12.4 Визначення випаровування з водної поверхні лиману

Випаровування з водної поверхні є однією з найважливіших складових витратної частини водного балансу озер, лиманів, ставків і водосховищ. Вирішальне значення ця складова має для водойм аридної зони (у тому числі, лиманів розташованих на території Північно-Західного Причорномор'я), де шар води, яка випарилася за рік перевищує шар атмосферних опадів, що випали на водну поверхню водойм.

Для Тилігульського лиману, який належить до групи закритих водойм з епізодичним водообміном з морем, випаровування з водної поверхні є головною, а в періоди, коли з'єднувальний канал «лиман-море» не функціонує – єдиною, складовою витратної частини водного балансу. В умовах зменшення припливу води з водозбірної басейну лиману та майже припинення водообміну з морем, за рахунок випаровування відбувається зменшення рівнів води, глибин лиману, обміління та пересихання його мілководних ділянок [12-14]. З урахуванням того, що випаровування з водної поверхні Тилігульського лиману ніколи не вимірювалось [14-17], його кількісна оцінка є однією з актуальних задач, вирішення якої необхідно як для моделювання водно-сольового балансу водойми, так і при обґрунтуванні оптимальних рівнів і солоності води, кисневого режиму та інших показників екологічного стану лиману [1, 12, 13].

У зв'язку з тим, що на Тилігульському лимані детальні дослідження випаровування з водної поверхні не виконувались, наукові публікації з результатами оцінки цієї складової водного балансу лиману майже відсутні. Наприклад, до кінця XX ст. оцінити випаровування з водної поверхні в районі лиману було можливе лише з використанням декількох наукових публікацій [15-18], у яких представлені загальні дані про випаровування з поверхні водойм Північно-Західного Причорномор'я.

Перші узагальнені дані про норми, внутрішньорічний розподіл, максимальні та мінімальні величини випаровування з поверхні водойм на території Північно-Західного Причорномор'я і методи їх розрахунку в теплий сезон року (з квітня по жовтень) опубліковані в роботах М.С. Каганера [15, 18]. Наприклад, з використанням карти норм випаровування, опублікованої в роботі [18], встановлено, що шар випареної за рік води в районі Тилігульського лиману дорівнює 850 мм. Однак, М.С. Каганер пояснює, що це шар випаровування з поверхні прісних водойм, а шар випаровування з поверхні солоних озер і лиманів Криму та Північно-Західного Причорномор'я залежить від концентрації солей в їх водах і зменшується при збільшенні мінералізації води (ропи).

В роботі [11] М.С. Каганером встановлено, що на м./ст. «Болград» (яка знаходиться на відстані приблизно 225 км за азимутом 240° від південно-західної межі Тилігульського лиману) випаровування з поверхні випарного басейну (площа 20 м^2 , глибина 2 м), який було визначено в СРСР як водойму-еталон [15, 19], в середньому за теплий сезон з 1953 по 1966 рр. становило 800 мм. Найбільший шар випаровування дорівнював 860 мм, найменший – 693 мм. Впродовж теплого сезону шар випаровування за місяць поступово збільшувався з 62 мм – у квітні, до 165 мм – в липні, а потім зменшувався до 62 мм – в жовтні.

На м./ст. «порт-Одеса», яка знаходиться більш ніж в шість разів ближче до Тилігульського лиману, ніж м./ст. «Болград» (на відстані приблизно 35 км за азимутом 240° від південно-західної межі лиману), середній шар випаровування з водної поверхні за теплий сезон дорівнював 936 мм, найбільший – 1067 мм, найменший – 828 мм [15]. Впродовж теплого сезону року шар випаровування за місяць поступово збільшувався з 88 мм – у квітні, до 194 мм – в липні, а потім зменшувався до 65 мм – у жовтні. На жаль, на м./ст. «порт-Одеса» випарного басейну не встановлено, тому дані про шари випаровування з водної поверхні, які вимірювались на цій метеостанції наземним випаровувачем ГГИ-3000 (площа $0,3 \text{ м}^2$, глибина $0,65 \text{ м}$), завищені відносно фактичних шарів випаровування з водної поверхні реальних водойм. Це підтверджується даними м./ст. «Болград», де випаровування з водної поверхні вимірювалось як з використанням еталонного випаровувального басейну, так і наземного випаровувача ГГИ-3000 [15]. За цими даними визначено, що річний шар випаровування з водної поверхні, виміряний ГГИ-3000 на

м./ст. «Болград» за період з 1953 по 1966 рр., становить 1031 мм, тобто перевищує шар випаровування з поверхні випаровувального басейну на 231 мм. Також встановлено, що максимальний шар випаровування з водної поверхні, виміряний ГГІ-3000, становить 213 мм і спостерігається не в липні, а в серпні. Загалом, шари випаровування за місяць, виміряні на м./ст. Болград» з водної поверхні ГГІ-3000, перевищують фактичні величини випаровування в середньому на 33 мм і змінюються від 17 до 53 мм.

За період з 1970 по 2010 рр. опубліковані лише дві монографії, в яких представлені результати досліджень гідрологічного режиму, водообміну та складових водно-сольового балансу Тилігульського лиману (у тому числі, узагальнені дані про випаровування з поверхні водойми) [9, 10]. Наприклад, М.Ш. Розенгарт у 1974 р. [9], при оцінці випаровування з водної поверхні в районі Тилігульського лиману з урахуванням солоності води (за даними про випаровування з поверхні північно-західної частини Чорного моря при солоності води 18 ‰) встановив, що межі коливання річних шарів випаровування дорівнюють 639-886 мм, при нормі випаровування – 764 мм. Однак, В.М. Тімченко – у 1990 р. [10], при визначенні «найбільш вірогідних значень» складових водного балансу лиману, встановив, що річне випаровування з його водної поверхні дорівнює 93,2 млн. м³ або 825 мм (при площі водної поверхні 113 млн. м²).

В період з 2009 по 2013 рр. дослідженнями гідроекологічних проблем Тилігульського лиману та складових водно-сольового балансу водойми (у тому числі, випаровування з водної поверхні лиману) активно займалися фахівці ОДЕКУ [1, 12-14]. Результати цих досліджень увійшли в опубліковану в 2012 р. монографію [13], один з розділів якої присвячений випаровуванню з водної поверхні Причорноморських лиманів. Для оцінки випаровування в цій роботі були використані дані вимірювань шарів випаровування з водної поверхні випарного басейну на м./ст. «Болград». З використанням цих даних встановлено, що за період з 1960 по 2010 рр. річне значення випаровування з водної поверхні в середньому дорівнює 777 мм [13].

Найбільший шар випаровування на м./ст. «Болград» становить 1151 мм (1972 р.), найменший – дорівнює 645 мм (1978 р.). В середньому за період з 1960 по 2010 рр. впродовж року середнє місячне випаровування збільшувалося з 43 мм – в березні до 152 мм – в липні, а потім поступово зменшувалося до 10 мм – в грудні [13].

В монографії також узагальнені результати оцінки впливу збільшення солоності води (в діапазоні від 0 до 330 ‰) на зменшення шару випаровування з поверхні солоних озер і лиманів [13].

З урахуванням поділу лиману на чотири частини, об'єм води, що випарився з його поверхні за кожен місяць (j) $W_{E,j}$, млн. м³, визначається за формулою

$$W_{E,j} = \sum_{i=I}^{IV} W_{E,j,i}, \quad (12.20)$$

де $W_{E,j,i}$ – об'єми води, що випарились з водної поверхні кожної з чотирьох ($i = I, II, III, IV$) частин лиману за j -й (розрахунковий) місяць, млн. м³.

Об'єми випаровування $W_{E,j,i}$ розраховувалися таким чином:

$$W_{E,j,i} = E_{S,j,i} F_{j-1,i}, \quad (12.21)$$

$$E_{S,j,i} = k_{S,j,i} E_{Ю,j}, \quad (12.22)$$

$$k_{S,j,i} = 1 - 0,0033 S_{j-1,i}, \quad (12.23)$$

де $E_{S,j,i}$ – шар випаровування з водної поверхні i -ї частини лиману за розрахунковий місяць (j), м;

$F_{j-1,i}$ – площа водної поверхні i -ї частини лиману наприкінці попереднього (відносно розрахункового) місяця, млн. м²;

$E_{Ю,j}$ – розрахунковий шар води, що випарився за місяць (j) з водної поверхні в районі м./ст. «порт-Южний» (знаходиться на відстані приблизно 12,5 км за азимутом 240° від південно-західної межі лиману), м;

$k_{S,j,i}$ – безрозмірний коефіцієнт, що враховує вплив солоності (мінералізації) води на зменшення випаровування з водної поверхні лиману [1, 20-23];

$S_{j-1,i}$ – солоність води в лимані наприкінці попереднього (відносно розрахункового) місяця, яка змінюється від 0 до 40 ‰ (г/дм³).

У зв'язку з тим, що ні на Тилігульському лимані, ні на м./ст. «порт-Южний» випаровування з водної поверхні не вимірюється, шар випаровуваної за місяць води можна визначити такими способами:

а) з використанням середніх багаторічних шарів випаровування, визначених за даними м./ст. «Болград» (рис. 12.5);

б) з використанням виміряних на м./ст. «Болград» шарів випаровування (рис. 12.6);

в) з використанням встановлених в інших наукових роботах, присвячених цій тематиці, зв'язків між випаровуванням і температурою повітря [21, 22];

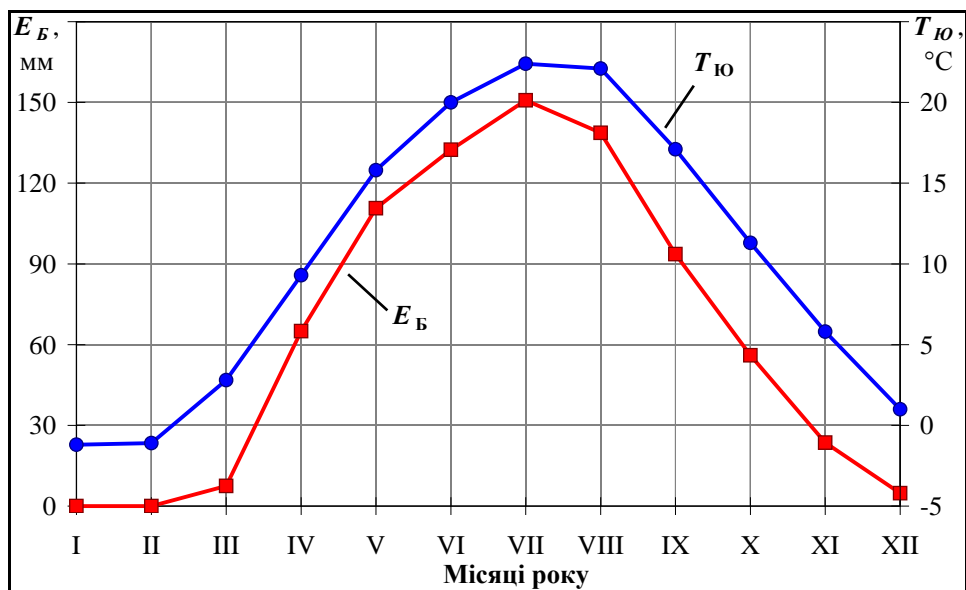


Рис. 12.5. Внутрішньорічний розподіл величин випаровування з водної поверхні за місяць E_B , мм, на м./ст. «Болград» та середньомісячних температур повітря $T_{ю}$, °C, на м./ст. «порт-Южний» [1, 14]

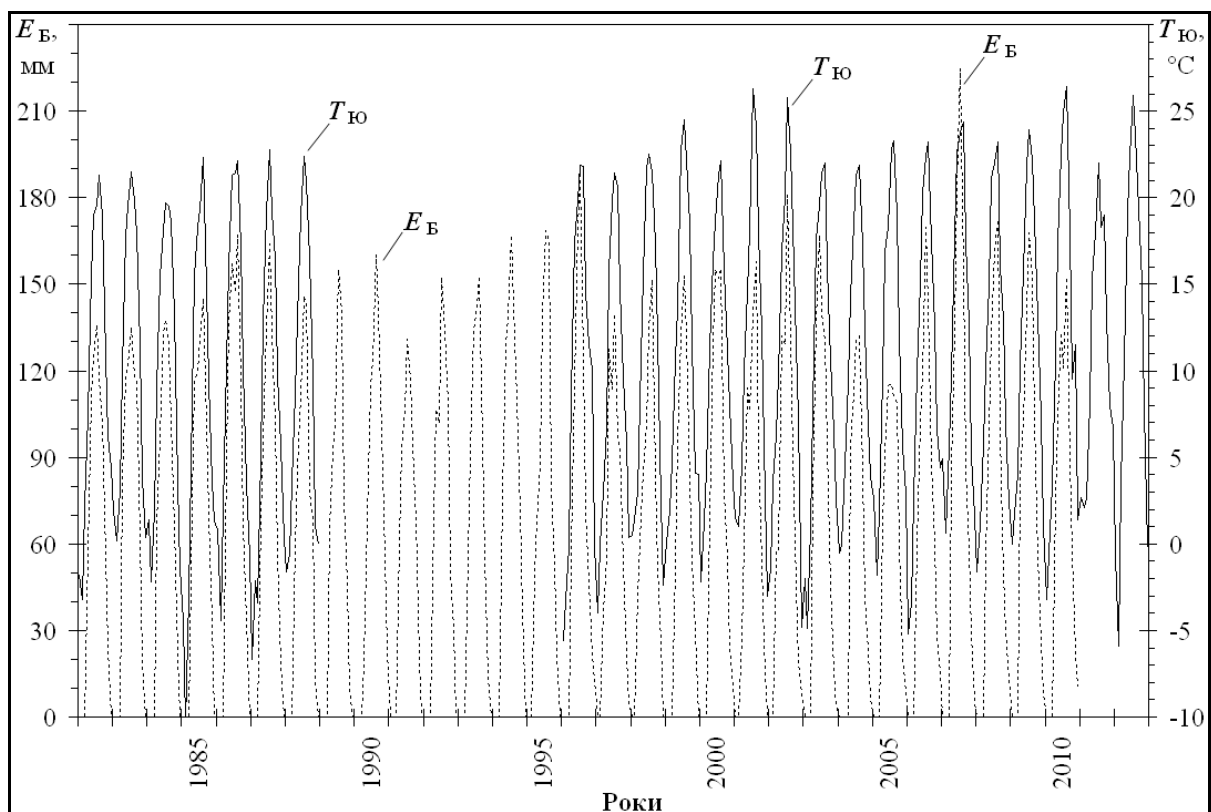


Рис. 12.6. Мінливість виміряних за місяць величин випаровування з водної поверхні E_B (мм) на м./ст. «Болград» та середньомісячних температур повітря $T_{ю}$, °C, на м./ст. «порт-Южний» (за період з січня 1982 р. по грудень 2012 р.) [1, 14]

г) через вдосконалення розроблених раніше методів визначення шарів випаровування [15, 16, 18, 19, 24-26], з використанням наявних метеорологічних даних [1, 4, 12, 13, 15, 18, 27, 28].

Оскільки м./ст. «порт-Южний» діє лише з початку 80-х рр. XX ст. [4], то для визначення та оцінки випаровування з водної поверхні в районі Тилігульського лиману за більш тривалий період необхідно пов'язати метеорологічні дані, виміряні на цій метеостанції, з даними найближчих до неї метеостанцій, наприклад, з даними метеостанцій «порт-Одеса» або «Болград».

Ці метеостанції знаходяться в практично однакових погодних умовах, що видно, наприклад, з графіків зв'язку між середньомісячними температурами повітря (рис. 12.7 та 12.8).

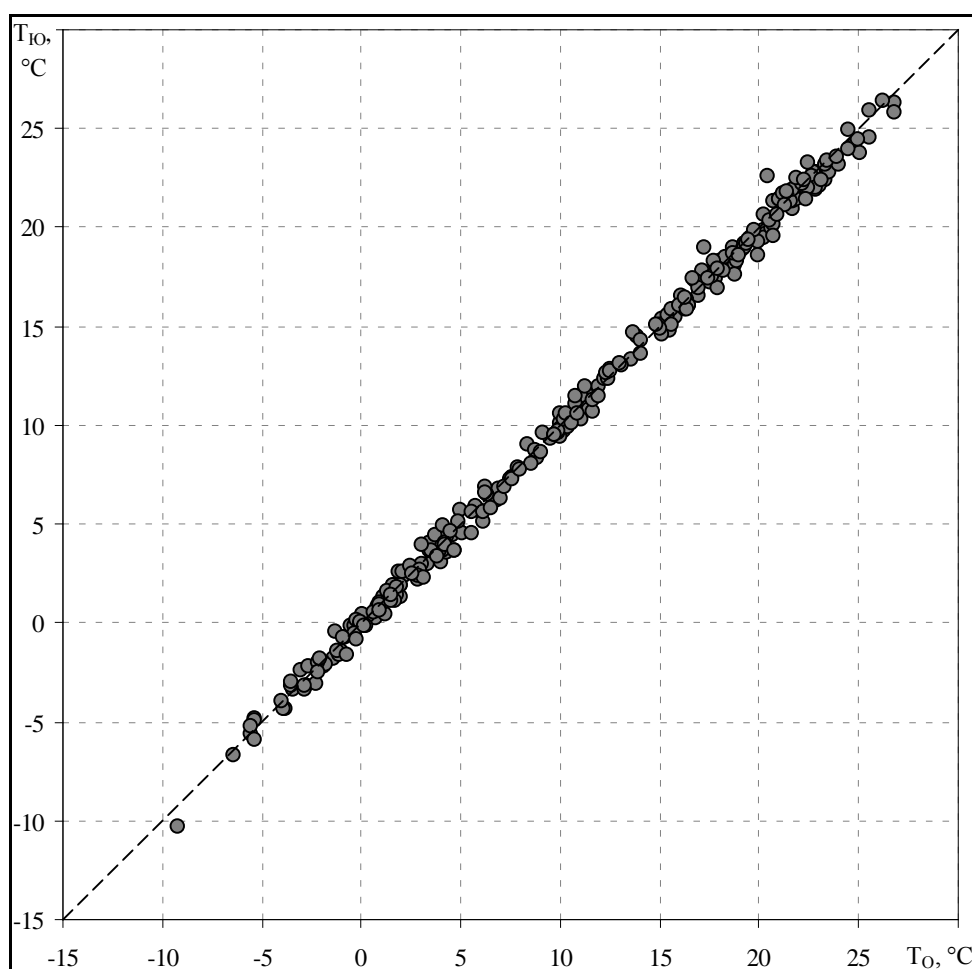


Рис. 12.7. Зв'язок середніх температур повітря на метеостанціях «порт-Южний» $T_{\text{Ю}}$ та «порт-Одеса» $T_{\text{О}}$, °C, за періоди з січня 1982 р. по грудень 1988 р. та з січня 1996 р. по лютий 2013 р. [1, 14]: - - - — лінія рівних значень

З рис. 12.7 та 12.8 видно, що температури повітря на всіх трьох метеостанціях («порт-Южний», «порт-Одеса» та «Болград») знаходяться

на лінії рівних значень, тому, якщо температури повітря на метеостанції «порт-Южний» відсутні (наприклад, за період з січня 1989 р. по грудень 1995 р.) [4], то вони можуть бути відновлені за даними метеостанції «порт-Одеса» (рис. 12.7) або метеостанції «Болград» (рис. 12.8).

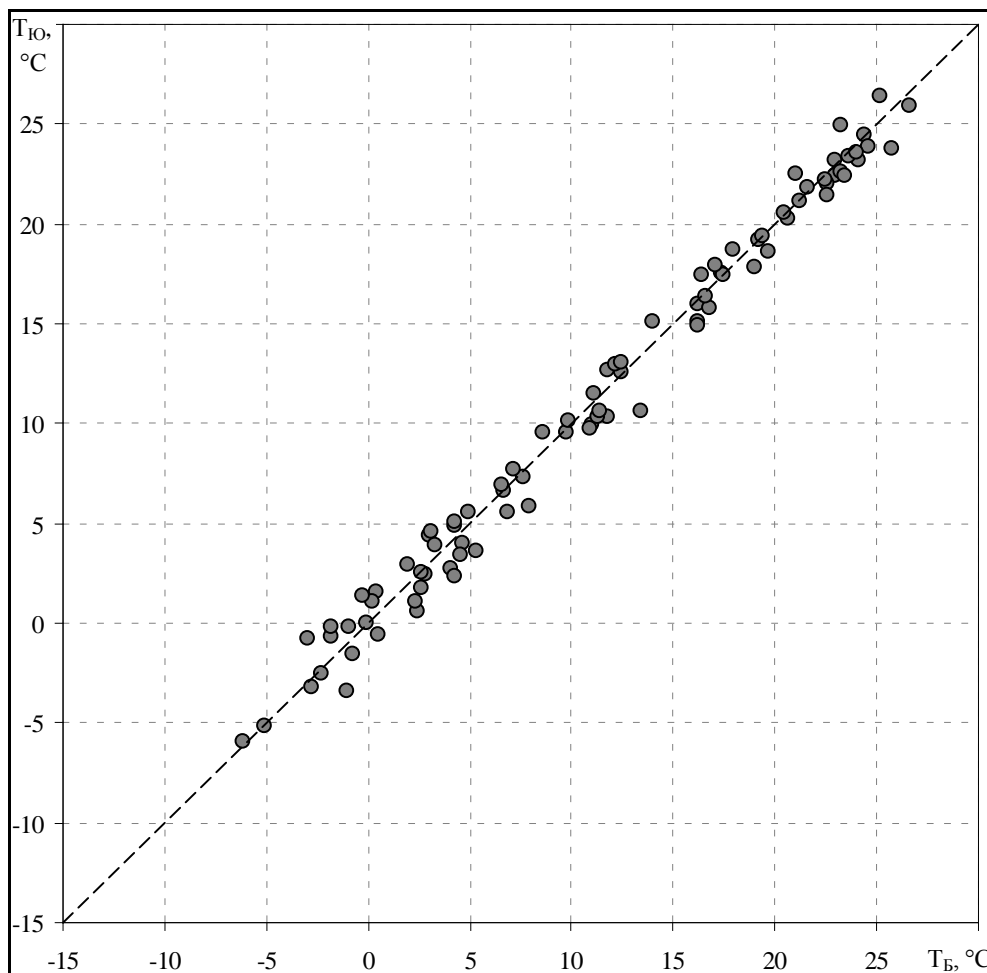


Рис. 12.8. Зв'язок середніх температур повітря на метеостанціях «порт-Южний» $T_{\text{Ю}}$ та «Болград» $T_{\text{Б}}$, °C, за період з листопада 2005 р. по лютий 2013 р. [1, 14]: - - - – лінія рівних значень

Отримані зв'язки (рис. 12.7, 12.8) дозволяють використовувати температури повітря, виміряні на будь-якій з цих трьох метеостанцій, для визначення випаровування води в межах водозбору Тилігульського лиману, із застосуванням зв'язків між температурою повітря та випаровуванням з водної поверхні (рис. 12.9, 12.10), встановлених в роботах [1, 24, 25].

На жаль м./ст. «Болград», де вимірюється випаровування з поверхні випарного басейну, розташована на відстані приблизно 212 км за азимутом 240° від м./ст. «порт-Южний» (Григорівський або Малий Аджаликський лиман) та на відстані приблизно 225 км від південно-

західної межі Тилігульського лиману, тому використання даних про випаровування з водної поверхні, виміряних на цій метеостанції, може бути рекомендовано лише в тих випадках, коли визначити випаровування іншими способами не має можливості.

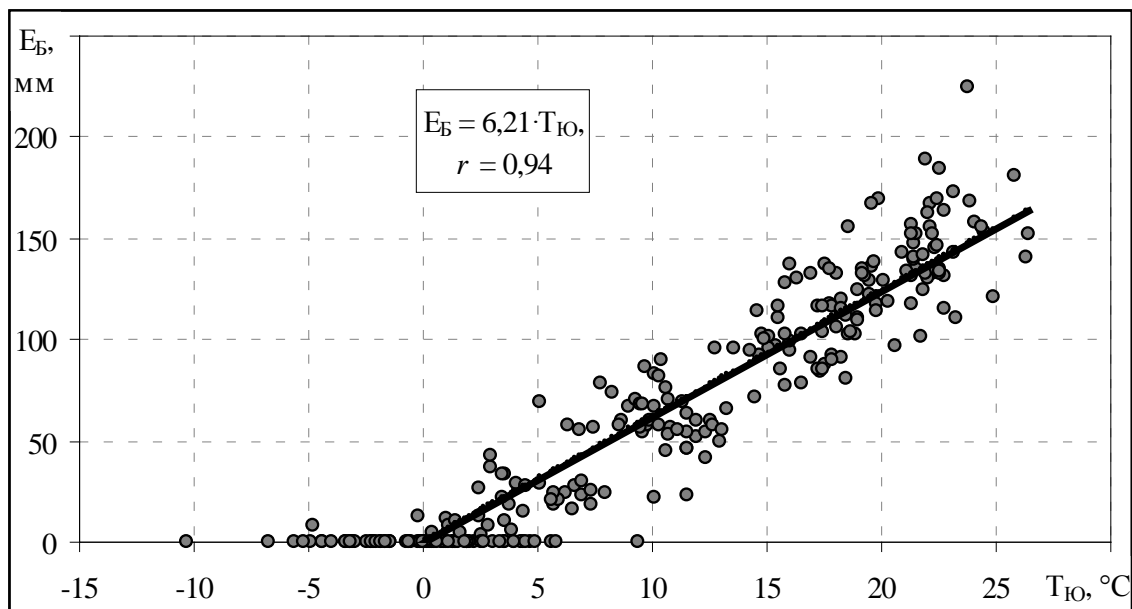


Рис. 12.9. Зв'язок виміряних за місяць величин випаровування з водної поверхні E_b , мм, на м./ст. «Болград» та середньомісячних температур повітря $T_{ю}$, °C, на м./ст. «порт-Южний», за період з січня 1982 р. по грудень 2010 р. [1, 24, 25]

Найближчим до м./ст. «порт-Южний» пунктом спостережень, де мають місце наявні метеорологічні дані за багаторічний період, є м./ст. «порт-Одеса», яка знаходиться на відстані лише 22,5 км за азимутом приблизно 240° від м./ст. «порт-Южний» та на відстані приблизно 35 км від північно-західної межі Тилігульського лиману. Однак, на м./ст. «порт-Одеса» випаровування з водної поверхні не вимірюється. З урахуванням цього, для підвищення точності визначення випаровування з поверхні Тилігульського лиману, в роботах [1, 14] пропонується використовувати зв'язок щомісячних шарів випаровування з середньомісячними температурами та значеннями відносної вологості повітря, який встановлено за даними м./ст. «Болград» (рис. 12.11) за період з листопада 2005 р. по грудень 2010 р.

Зв'язок випаровування з водної поверхні з середньомісячними значеннями температури і відносної вологості повітря встановлено ще в 1948 р. М.М. Івановим [18, 26], а пізніше (в 1968 р.) О.Р. Константиновим в монографії [19] рекомендовані подібні зв'язки, як найбільш зручні для практичного використання при визначенні випаровування з водної поверхні, оскільки не потребують введення додаткових поправок.

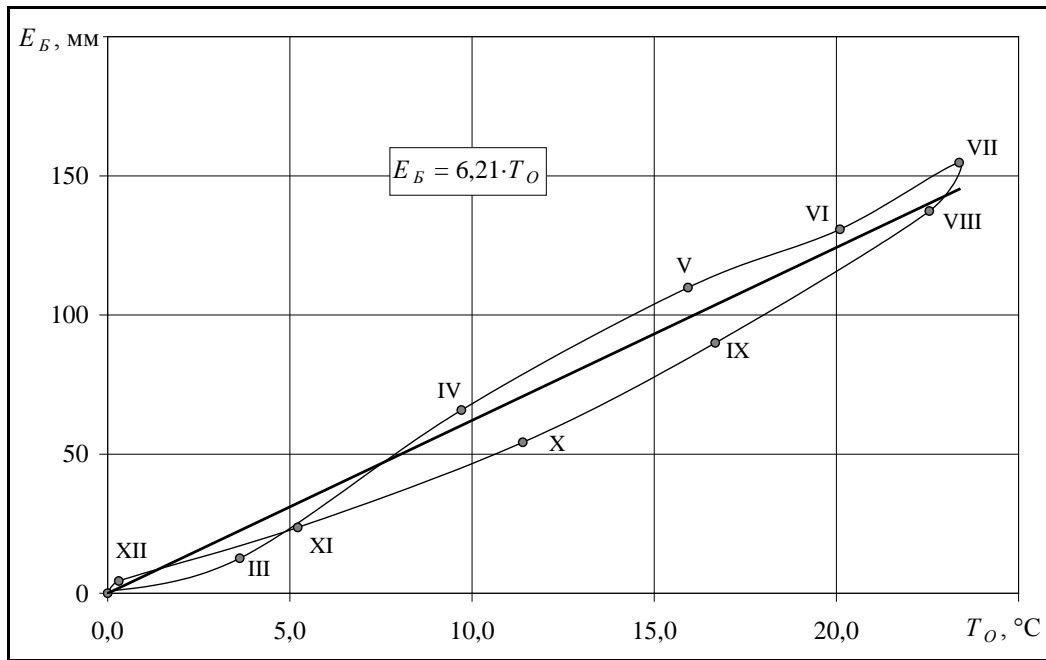


Рис. 12.10. Зв'язок місячних величин випаровування E_B , мм, на м./ст. «Болград» та середньомісячних температур повітря T_O , °С, на м./ст.«порт-Одеса», за період з 1960 по 2007 рр. (римські цифри – місяці року) [1, 24, 25]

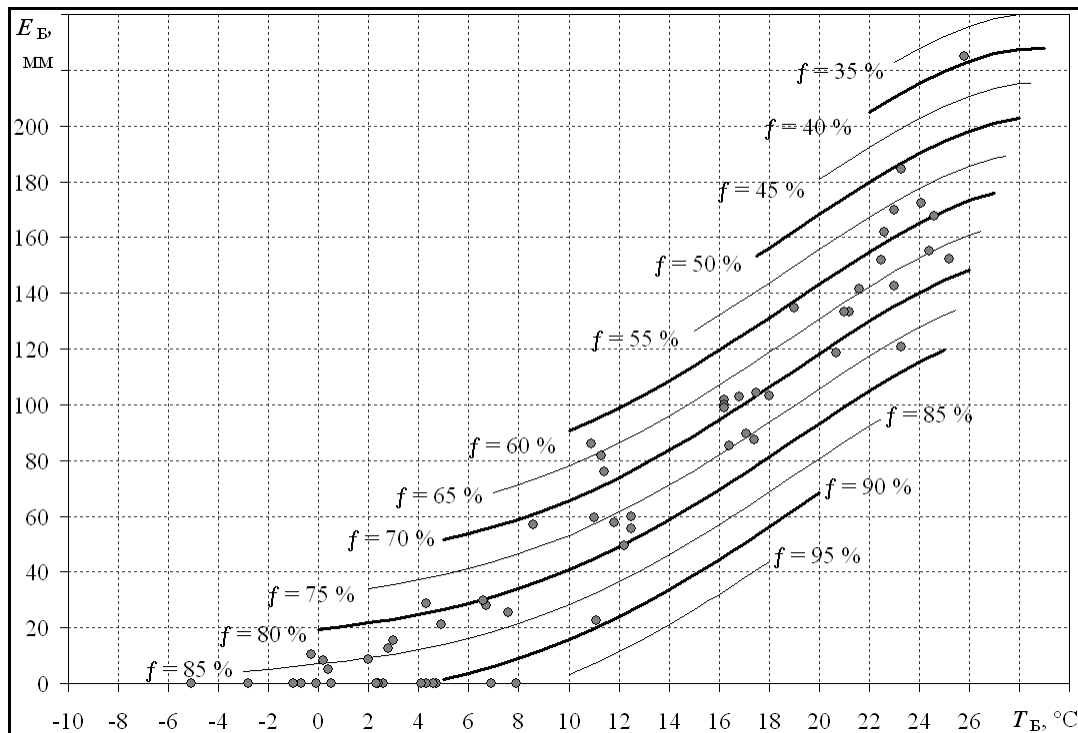


Рис. 12.11. Зв'язок випаровування з водної поверхні E_B , мм, з середньомісячними температурами повітря T_B , °С, та відносною вологістю повітря f_B , % (підписи поблизу точок), за даними м./ст. «Болград» (за період з листопада 2005 р. по грудень 2010 р.)

З рис. 12.6 та 12.11 видно, що випаровування води з поверхні випарного басейну відбувається з квітня по грудень, а у січні-березні дорівнює 0 мм. При збільшенні температури та зменшенні відносної вологості повітря шар випаровування збільшується, а при зменшенні температури та збільшенні відносної вологості повітря – зменшується.

У зимово-весняний сезон року (з січня по березень-квітень) у декількох випадках при середньомісячній температурі повітря 0-5 °С шар випареної за місяць води дорівнював 0 мм. Це може пояснюватись тим, що в ці місяці на поверхні випарного басейну ще був льодяний покрив, сформований раніше при від'ємних температурах повітря.

У зимовий період при від'ємних температурах повітря його випарна здатність дуже мала, отже можна вважати, що шар випаровування з поверхні лиману дорівнює нулю. Проте, при нестійкому переході температури повітря через 0 °С у бік від'ємної та її епізодичному зростанні впродовж декількох діб, можлива ситуація, коли від'ємній, але близькій до 0 °С, середньомісячній температурі відповідають досить великі значення випаровування з водної поверхні, як це спостерігалось в грудні 2010 р., коли при від'ємному значенні середньомісячної температури повітря (мінус 0,3 °С), шар випареної за місяць води становив 10,3 мм.

Через те, що вода Тилігульського лиману є солоною, випаровування з його поверхні буде меншим ніж з поверхні прісної водойми [1, 14]. Таким чином, можна вважати, що при 0 °С або від'ємних температурах повітря й відносній вологості повітря більший ніж 85-90 %, випаровування з поверхні лиману не відбувається навіть за відсутності льодяного покриву. Враховуючи те, що виміряні значення пружності водяної пари, які використовуються для визначення відносної вологості повітря, на м./ст. «порт-Южний» є лише за період з січня 1984 р. по грудень 1988 р. (без даних за травень 1985 р.), в роботі встановлено зв'язок між відотною вологістю повітря на цій та найближчих до неї метеостанціях «порт-Одеса» (рис. 12.12) та «Сербка» (рис. 12.13), де є дані спостережень за цим показником, відповідно, за періоди з січня 1976 р. по грудень 2013 р. та з листопада 1976 р. по грудень 2013 р. [1, 4, 14].

З рис. 12.12 видно, що відносна вологість повітря на метеостанції «порт-Южний» завжди дещо вища за відносну вологість повітря на метеостанції «порт-Одеса», але зв'язок між ними є тісний (коефіцієнт кореляції $r = 0,97$). Однак, відносна вологість повітря на метеостанції «Сербка» (рис. 12.13) в діапазоні від 50 до 80 % дещо менша від відносної вологості повітря на метеостанції «порт-Южний», а в діапазоні від 80 до 100 % – коливається відносно лінії рівних значень. Зв'язок між значеннями відносної вологості повітря на метеостанціях «Сербка» та «порт-Южний» існує, але він є не таким тісним, як в попередньому випадку. Це пов'язано з тим, що 14 з 59 розрахункових значень відносної вологості повітря мають

відхилення більш ніж 10 %, що дорівнює майже чверті від всіх використаних даних [14].

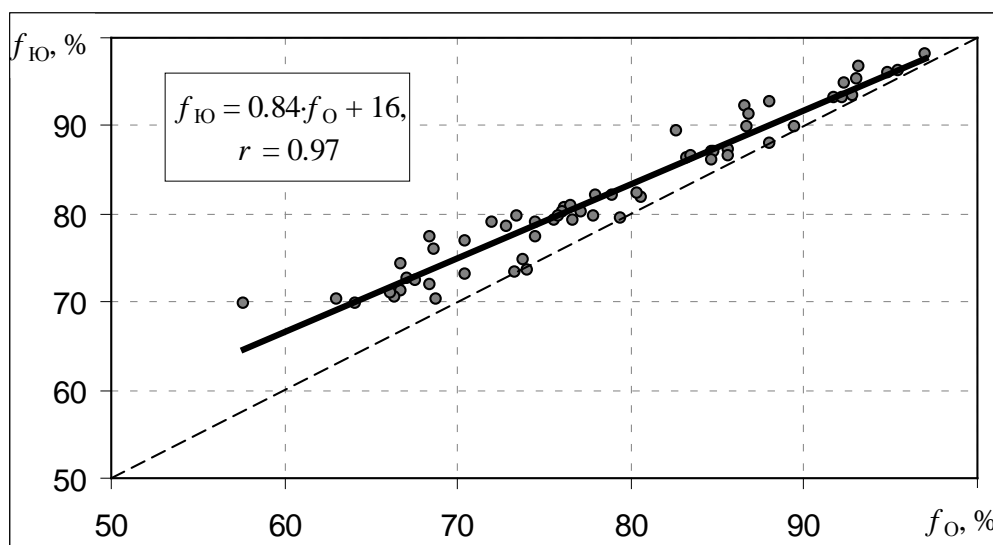


Рис. 12.12. Зв'язок середньомісячних значень відносної вологості повітря на метеостанціях «порт-Южний» $f_{Ю}$ та «порт-Одеса» f_O , %, за період з січня 1984 р. по грудень 1988 р. [14]: — — лінія зв'язку; - - — лінія рівних значень

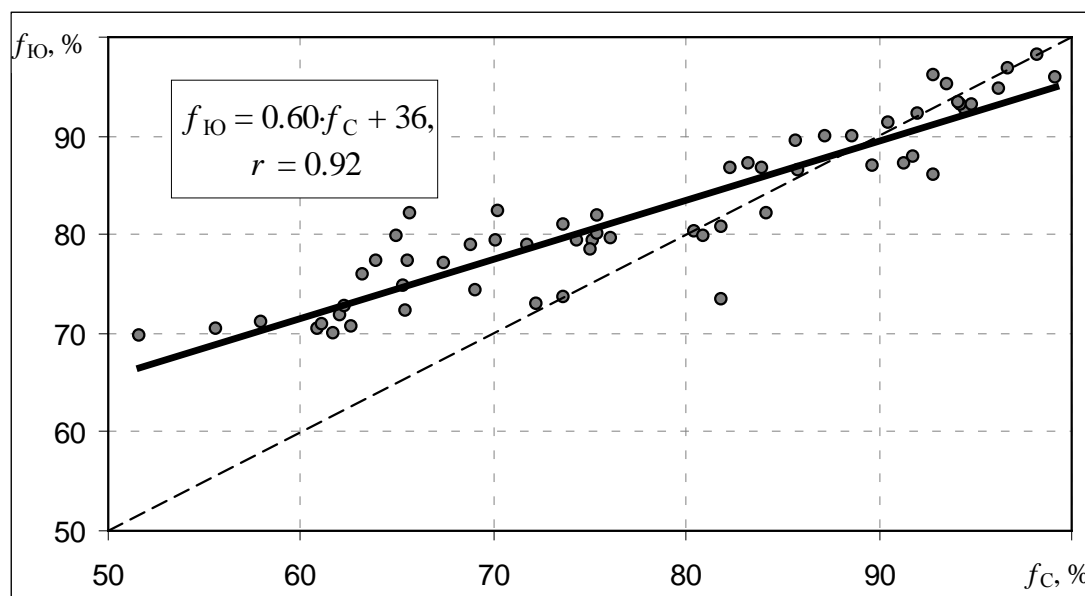


Рис. 12.13. Зв'язок середньомісячних значень відносної вологості повітря на метеостанціях «порт-Южний» $f_{Ю}$ та «Сербка» f_C , %, за період з січня 1984 р. по грудень 1988 р. [14]: — — лінія зв'язку; - - - — лінія рівних значень

З урахуванням цього, для розрахунку випаровування з водної поверхні в районі Тилігульського лиману за період з 1976 по 2013 рр. обраний зв'язок відносної вологості повітря, встановлений за даними метеостанцій «порт-Южний» $f_{Ю}$ та «порт-Одеса» $f_{О}$.

Для уточнення розрахунку відносної вологості повітря та випаровування з водної поверхні на метеостанції «порт-Южний» використані зв'язки між значеннями відносної вологості повітря на метеостанціях «порт-Южний» і «порт-Одеса», встановлені для окремих місяців року за період з січня 1984 р. по грудень 1988 р. (табл. 12.4).

Таблиця 12.4. Рівняння зв'язків між значеннями відносної вологості повітря на метеостанціях «порт-Южний» $f_{Ю}$ та «Одеса» $f_{О}$, %, коефіцієнти кореляції між ними r для окремих місяців року за період з січня 1984 р. по грудень 1988 р.

Місяць	Рівняння зв'язку	r	Місяць	Рівняння зв'язку	r
I	$f_{Ю, I} = 0,57 \cdot f_{О, I} + 42,1$	0,93	VII	$f_{Ю, VII} = 1,17 \cdot f_{О, VII} - 4,9$	0,94
II	$f_{Ю, II} = 1,07 \cdot f_{О, II} - 5,3$	0,97	VIII	$f_{Ю, VIII} = 0,42 \cdot f_{О, VIII} + 43,8$	0,84
III	$f_{Ю, III} = 0,88 \cdot f_{О, III} + 12,5$	0,98	IX	$f_{Ю, IX} = 0,56 \cdot f_{О, IX} + 35,7$	0,82
IV	$f_{Ю, IV} = 0,78 \cdot f_{О, IV} + 21,1$	0,51	X	$f_{Ю, X} = 1,01 \cdot f_{О, X} + 0,30$	0,94
V	$f_{Ю, V} = 0,57 \cdot f_{О, V} + 36,8$	0,99	XI	$f_{Ю, XI} = 0,72 \cdot f_{О, XI} + 25,9$	0,98
VI	$f_{Ю, VI} = 1,13 \cdot f_{О, VI} - 6,3$	0,96	XII	$f_{Ю, XII} = 1,68 \cdot f_{О, XII} - 54,3$	0,92

12.5 Визначення об'ємів припливу-стоку вод через з'єднувальний канал «лиман-море» та мінералізації морських вод

Об'єми припливу-стоку води через з'єднувальний канал «лиман-море» $W_{кан, j}$, млн. м³, за місяці року визначались за формулою

$$W_{кан, j} = 86400 N_j Q_{кан, j} 10^{-6}, \quad (12.24)$$

де N_j – кількість діб, коли канал був відкритим в j -му місяці;

$Q_{кан, j}$ – середні за місяць витрати води в з'єднувальному каналі, м³/с;

86400 – кількість секунд в одній добі, с;

10^{-6} – коефіцієнт розмірності, який переводить дані з м³ в млн. м³.

Середньомісячні витрати води в з'єднувальному каналі $Q_{кан, j}$ визначались з використанням гідравлічної формули Шезі-Маннінга [29, 30]:

$$Q_{\text{кан},j} = w_{\text{кан},j} V_{\text{кан},j} = \frac{w_{\text{кан},j}}{n_{\text{кан}}} R_{\text{кан},j}^{2/3} I_{\text{кан},j}^{1/2}, \quad (12.25)$$

де $w_{\text{кан},j}$ – площа водного перерізу каналу, м²;

$V_{\text{кан},j}$ – середня за місяць швидкість течії в каналі, м/с;

$n_{\text{кан}}$ – коефіцієнт шорсткості русла каналу, який в розрахунках береться як стала величина, що дорівнює $n_{\text{кан}} = 0,050$;

$R_{\text{кан},j}$ – гідравлічний радіус русла каналу, який приблизно дорівнює середній глибині каналу $R_{\text{кан},j} = h_{\text{кан},j}$, м;

$I_{\text{кан},j}$ – уклон водної поверхні в каналі.

Уклон водної поверхні в каналі $I_{\text{кан},j}$ визначався за формулою

$$I_{\text{кан},j} = \frac{\zeta_{\text{Ю},j} - \zeta_{\text{Т},j-1}}{l_{\text{кан}}}, \quad (12.26)$$

де $\zeta_{\text{Ю},j}$ – рівень води в морі в розрахунковий місяць (j) року, мБС;

$\zeta_{\text{Т},j-1}$ – рівень води в лимані наприкінці попереднього ($j-1$) відносно розрахункового місяця року, мБС;

$l_{\text{кан}} = 3300$ м – довжина каналу.

Площа водного перерізу з'єднувального каналу $w_{\text{кан},j}$, м², визначалась за формулою (10.8), а середня глибина в каналі $h_{\text{кан},j}$, м, – за формулою (10.9).

Відмітка рівня води в каналі $\zeta_{\text{кан},j}$, мБС, яка використовується для розрахунків $w_{\text{кан},j}$ та $h_{\text{кан},j}$, визначається як

$$\zeta_{\text{кан},j} = \frac{\zeta_{\text{Т},j-1} - \zeta_{\text{Ю},j}}{2}. \quad (12.27)$$

В зв'язку з тим, що відстань між гирлом з'єднувального каналу зі сторони моря та гідрометеорологічною станцією (ГМС) «порт-Южний» становить лише 12,5 км, в розрахунках прийнято, що середні за розрахункові місяці року відмітки рівня моря в районі з'єднувального каналу за період з серпня 1980 р. по грудень 2012 р., дорівнюють середньомісячним рівням води на ГМС «порт-Южний» $\zeta_{\text{Ю},j}$, мБС (рис. 12.14 та 12.15) [1, 4].

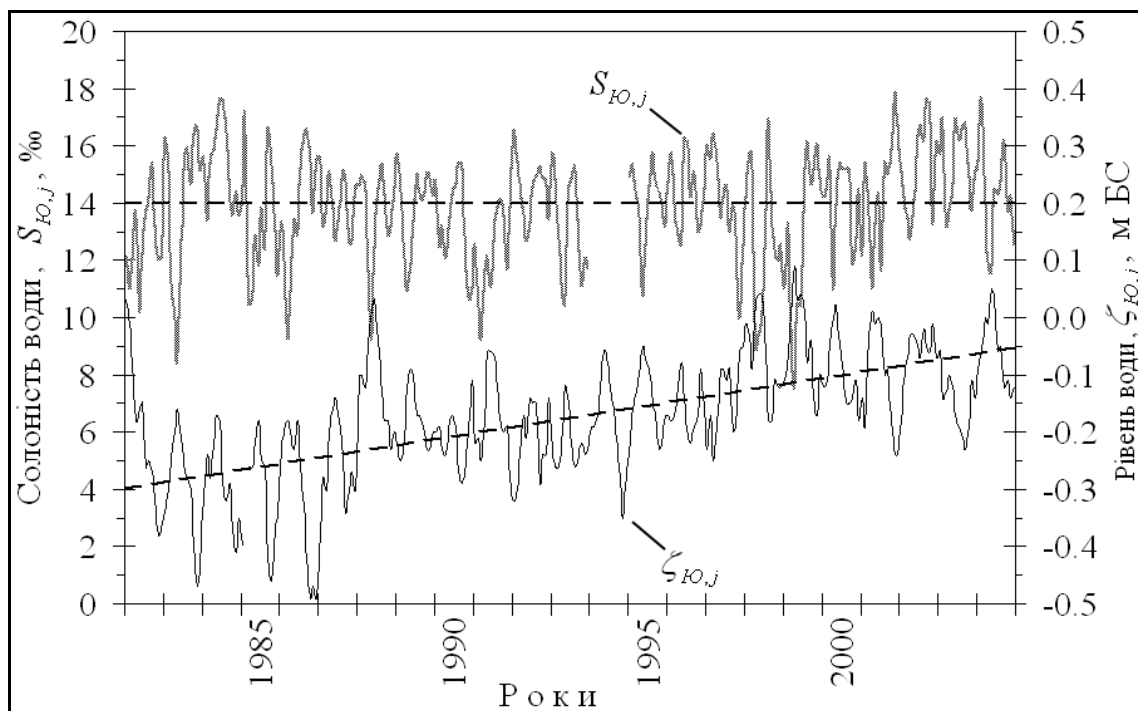


Рис. 12.14. Мінливість середньомісячних рівнів $\zeta_{Ю,j}$, мБС, та солоності води $S_{Ю,j}$, ‰, на ГМС «порт-Южний», за період з січня 1982 р. по грудень 2004 р.

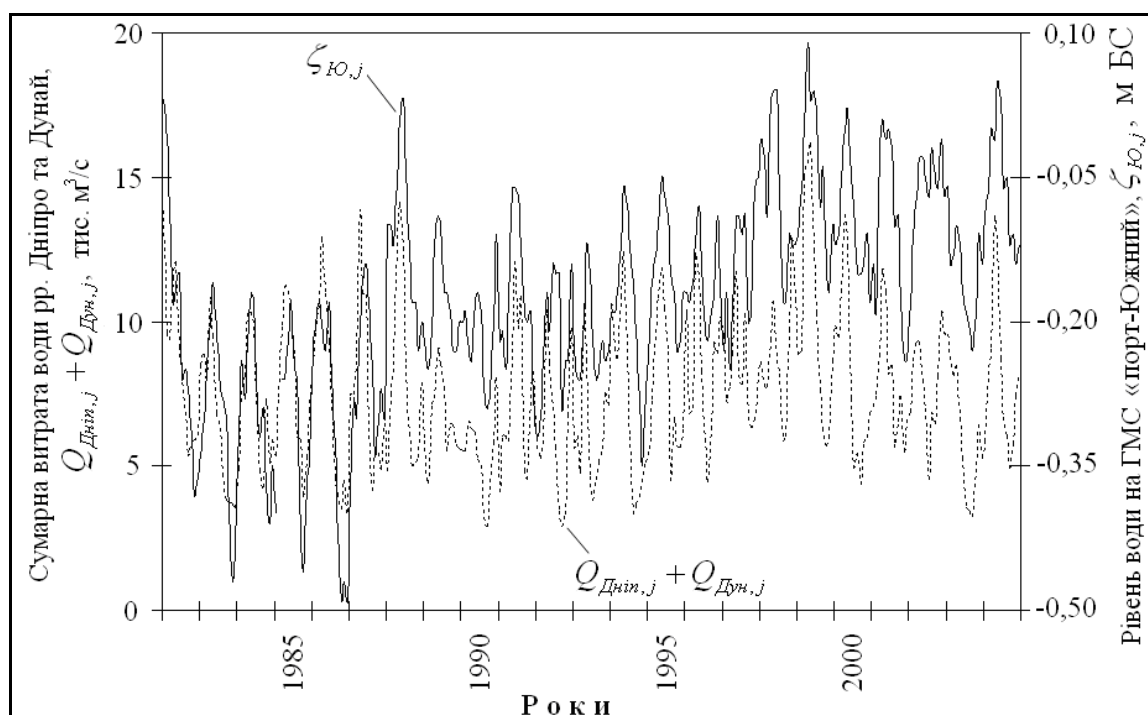


Рис. 12.15. Мінливість середньомісячних рівнів води на ГМС «порт-Южний» $\zeta_{Ю,j}$, мБС, та сумарних витрат води річок Дніпро $Q_{Дніп,j}$ та Дунай $Q_{Дун,j}$, тис. м³/с, за період з січня 1982 р. по грудень 2004 р.

За період з січня 1953 р. по липень 1980 р., а також для тих місяців, для яких рівні води на ГМС «порт-Южний» відсутні – липень 1981 р. та лютий 1985 р., середні за місяць відмітки рівня води Чорного моря в районі з'єднувального каналу визначались з використанням зв'язків між середньомісячними рівнями води на ГМС «порт-Южний» $\zeta_{Ю,j}$, мБС, та сумарними витратами води річок Дніпро $Q_{Дніп,j}$ і Дунай $Q_{Дун,j}$, м³/с, за період з січня 1982 р. по грудень 2004 р. (рис. 12.16, табл. 12.5).

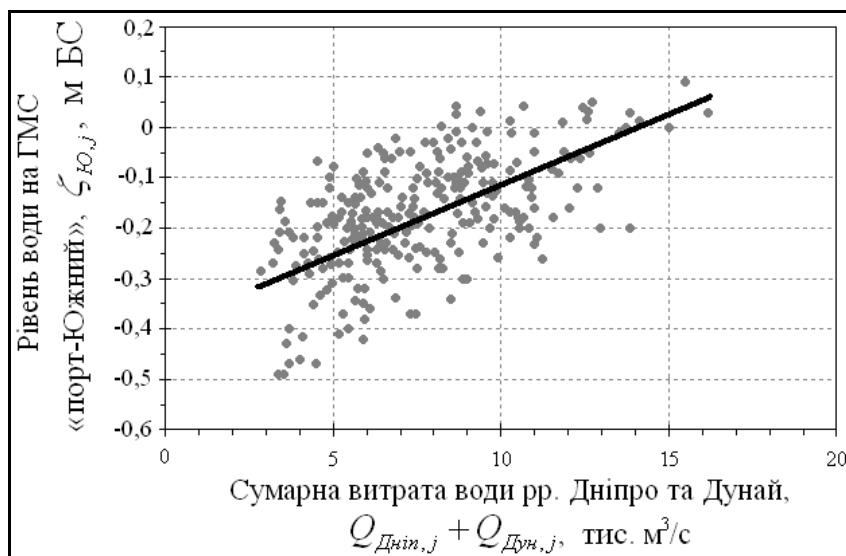


Рис. 12.16. Зв'язок середньомісячних рівнів води на ГМС «порт-Южний» $\zeta_{Ю,j}$, мБС, та сумарних витрат води річок Дніпро $Q_{Дніп,j}$ та Дунай $Q_{Дун,j}$, тис. м³/с, за період з січня 1982 р. по грудень 2004 р.

Таблиця 12.5. Параметри рівняння зв'язку $\zeta_{Ю,j} = a(Q_{Дніп,j} + Q_{Дун,j})^b$ між середньомісячними рівнями води на ГМС «порт-Южний» $\zeta_{Ю,j}$, мБС, та сумарними витратами води річок Дніпро $Q_{Дніп,j}$ та Дунай $Q_{Дун,j}$, м³/с, для місяців року, за період з січня 1982 р. по грудень 2004 р.

Місяці	a	b	Місяці	a	b
I	361,60	0,0321	VII	406,57	0,0201
II	331,47	0,0422	VIII	383,32	0,0266
III	314,76	0,0476	IX	360,54	0,0331
IV	371,21	0,0295	X	316,37	0,0475
V	355,15	0,0350	XI	253,30	0,0724
VI	392,69	0,0246	XII	272,95	0,0634

В розрахунках прийнято, що середньомісячні величини солоності води Чорного моря в районі морського гирла каналу за розрахункові місяці $S_{Ю,j}$, ‰, за період з січня 1982 р. по грудень 2012 р., дорівнюють середнім за місяці року величинами солоності води на ГМС «порт-Южний» (рис. 12.14) [1, 4].

За період з січня 1953 р. по грудень 1981 р., а також для тих місяців, для яких величини солоності води на ГМС «порт-Южний» $S_{Ю,j}$ відсутні – з січня по грудень 1994 р., середні за місяць величини солоності води в морі в районі морського гирла з'єднувального каналу визначались з використанням зв'язків між середньомісячними величинами солоності води на ГМС «порт-Южний» $S_{Ю,j}$, ‰, та витратами води р. Дніпро (Каховська ГЕС) $Q_{Дніп,j}$, м³/с, за період з січня 1982 р. по грудень 2004 р. (рис. 12.17, табл. 12.6) або за даними про внутрішньорічний розподіл середньомісячних значень солоності води на ГМС «порт-Южний» (рис. 12.18).

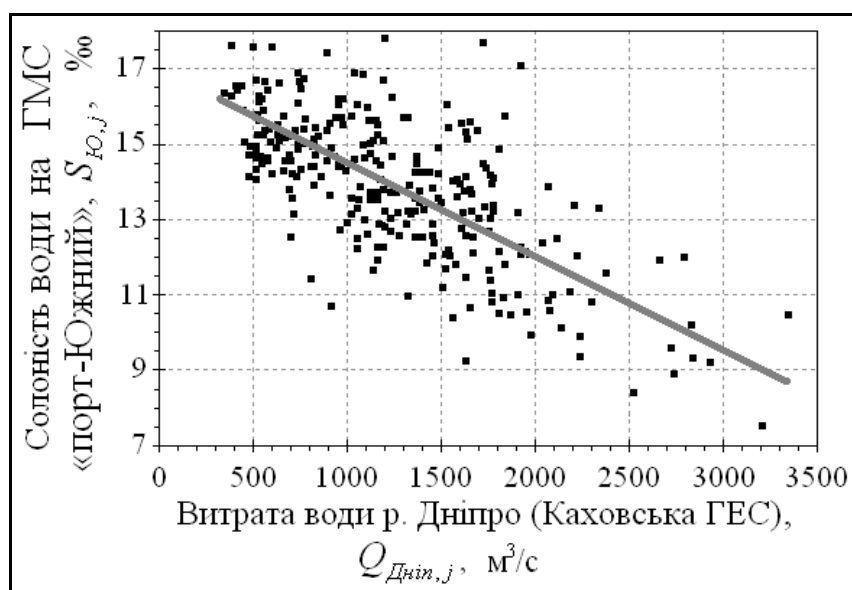


Рис. 12.17. Зв'язок середньомісячних величин солоності води Чорного моря на ГМС «порт-Южний» $S_{Ю,j}$, ‰, та витрат води р.Дніпро (Каховська ГЕС) $Q_{Дніп,j}$, м³/с, за період з січня 1982 р. по грудень 2004 р.

Таблиця 12.6. Параметри рівняння зв'язку $S_{Ю,j} = aQ_{Дніп,j}^b$ між середніми за місяці величинами солоності води на ГМС «порт-Южний» $S_{Ю,j}$, ‰, та витратами води р. Дніпро $Q_{Дніп,j}$, м³/с, для місяців року, за період з січня 1982 р. по грудень 2004 р.

Місяці	a	b	Місяці	a	b
I	60,095	-0,2016	VII	42,860	-0,1603
II	41,728	-0,1475	VIII	36,675	-0,1354
III	64,778	-0,2224	IX	25,824	-0,0820
IV	69,896	-0,2454	X	45,113	-0,1689
V	74,158	-0,2476	XI	59,778	-0,2072
VI	80,974	-0,2563	XII	79,259	-0,2420

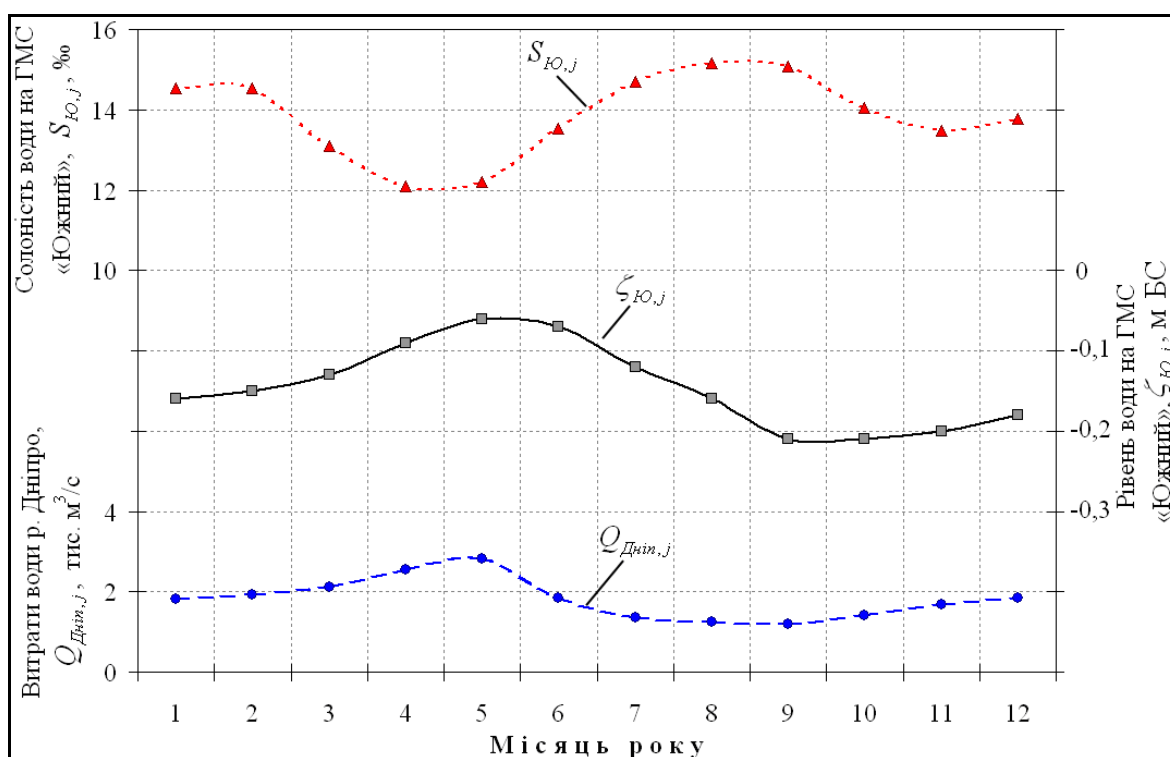


Рис. 12.18. Внутрішньорічний розподіл середньомісячних рівнів $\zeta_{Ю,j}$, мБС, і солоності води $S_{Ю,j}$, ‰, на ГМС «порт-Южний» та середньомісячних витрат води р. Дніпро (Каховська ГЕС) $Q_{Дніп,j}$, м³/с

12.6 Результати моделювання водно-сольового балансу лиману при різних варіантах водообміну з морем

Розрахунки водно-сольового балансу Тилігульського лиману в період з січня 1953 р. по грудень 2012 р. виконувалися для трьох варіантів функціонування водойми (водообміну з Чорним морем): **1 варіант** – при умовах, які фактично спостерігалися за розрахунковий період; **2 варіант** – при умові, що лиман був закритою водоймою, тобто водообмін з морем був відсутній; **3 варіант** – при умові, що в розрахунковий період забезпечувався безперервний водообмін з морем через з'єднувальний канал.

Моделювання за **1 варіантом** дозволило виконати калібрування та верифікацію розроблених моделей водного та сольового балансів водойми за ретроспективними даними. Моделювання водно-сольового балансу лиману за **2 варіантом** функціонування водойми дозволяє оцінити режим рівнів води та мінливість мінералізації води в лимані при відсутності водообміну з Чорним морем. Результати моделювання за **3 варіантом** функціонування водойми дозволяють оцінити режим рівнів і солоності води Тилігульського лиману при безперервному водообміні з морем. Головна мета розрахунків за різними варіантами формування водно-сольового балансу полягала в оцінці ролі водообміну з морем через з'єднувальний канал в стабілізації рівня води та накопиченні в лимані солей.

Початкові значення рівня та мінералізації води в усіх трьох варіантах брались однаковими для всіх частин лиману і дорівнювали, відповідно, -1,40 мБС та 8,00 г/дм³, тобто тим значенням, які спостерігались наприкінці 1952 р. [1].

Результати моделювання водно-сольового балансу лиману для різних варіантів водообміну з морем показані на рисунках: 12.19-12.24 (**1 варіант**); 12.25-12.26 (**2 варіант**); 12.27-12.30 (**3 варіант**).

З рис. 12.19 (**1 варіант**) видно, що при умовах функціонування лиману, які спостерігались в період 1953 - 2012 рр., використана модель водного балансу, дозволяє з високою точністю (в середньому $\pm 0,1$ м) розрахувати режим рівнів води в лимані за період 60 років та виявити періоди водообміну лиману з морем, наприклад, в 1954-1958 рр., коли інформація про строки з'єднання лиману з морем була відсутня, а наводилися лише загальні відомості про те, що в лиман надходила морська вода через прорви на пересипі між лиманом і морем [15].

З рис. 12.20-12.22 видно, що розрахункові значення солоності води загалом співпадають з фактичними. Найменші відхилення розрахованих значень солоності води (рис. 12.21) від фактичних (вимірних) спостерігаються в I частині та в середньому для всього лиману (рис. 12.20).

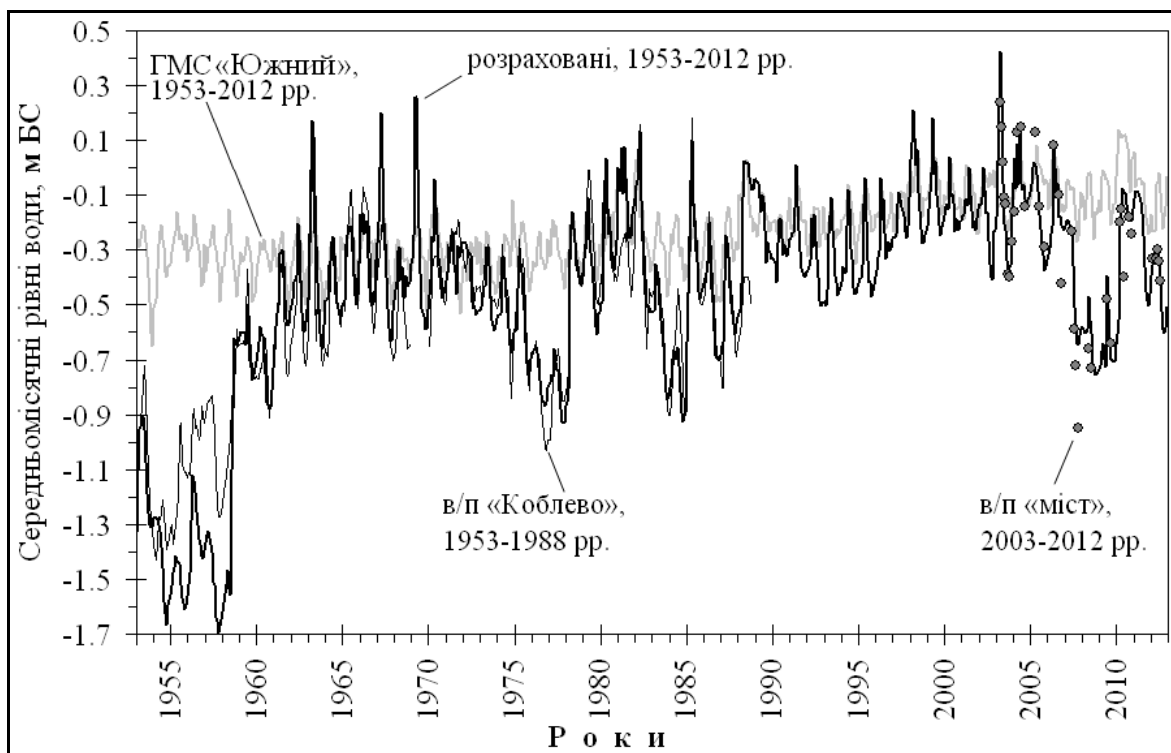


Рис. 12.19. Мінливість середньомісячних рівнів води Тилігульського лиману та Чорного моря за період з 1953 по 2012 рр. (1 варіант)

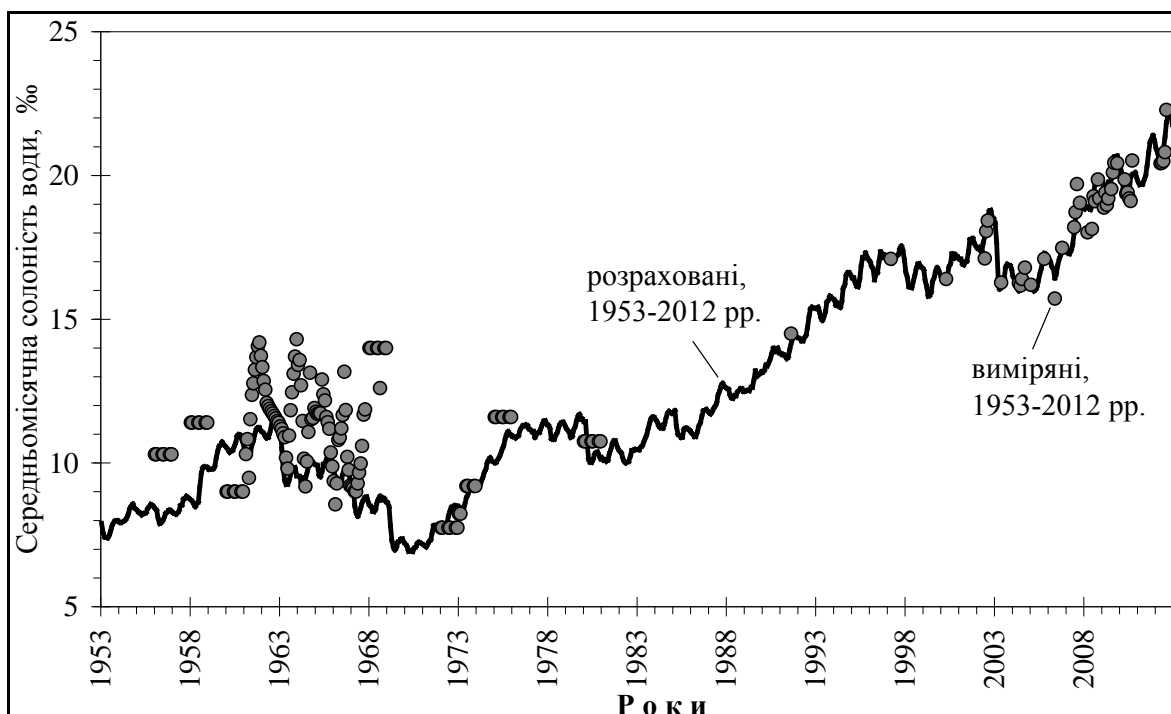


Рис. 12.20. Мінливість середньомісячних значень солоності води в цілому для Тилігульського лиману за період з 1953 по 2012 рр. (1 варіант)

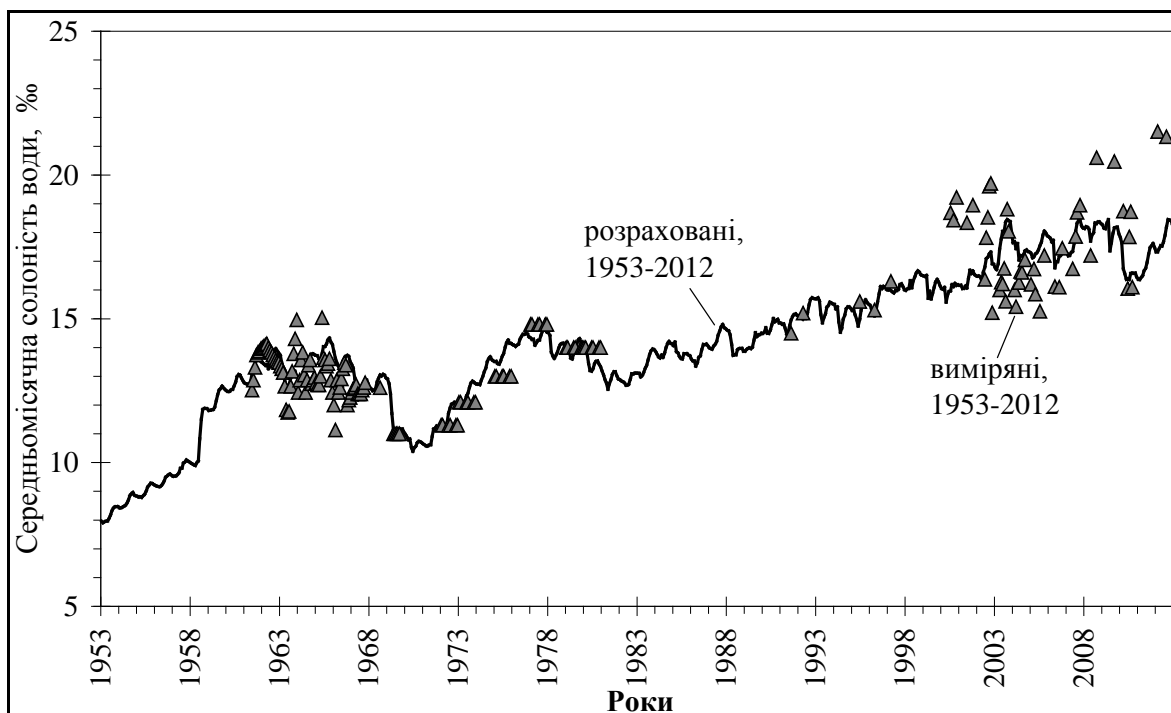


Рис. 12.21. Мінливість середньомісячних значень солоності води І частини Тилігульського лиману за період з 1953 по 2012 рр. (1 варіант)

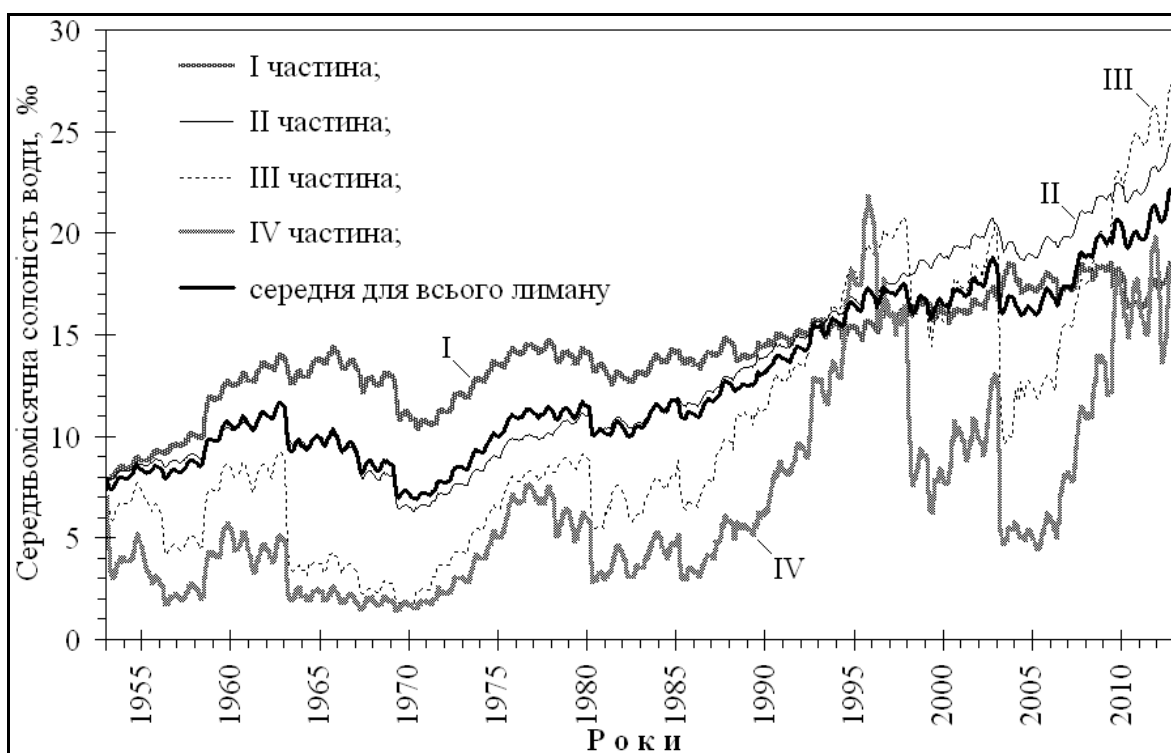


Рис. 12.22. Мінливість середньомісячних значень солоності води різних частин і всього Тилігульського лиману за період з 1953 по 2012 рр. (1 варіант)

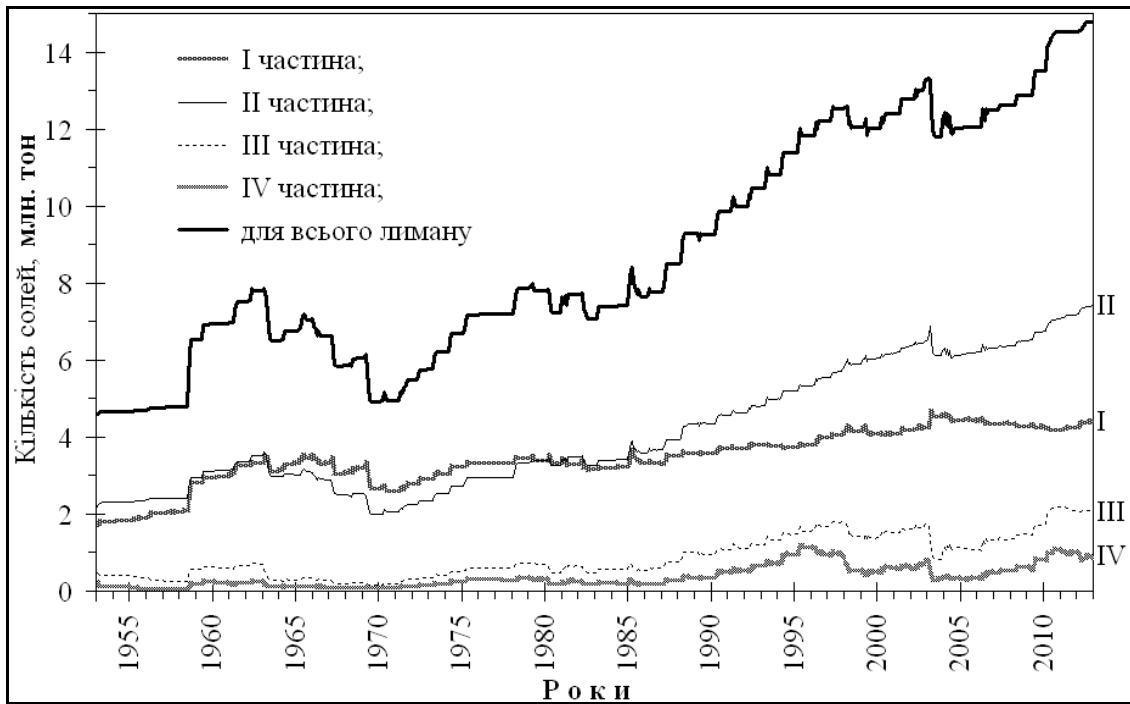


Рис. 12.23. Мінливість загальної кількості солей в Тилігульському лимані та його різних частинах за період з 1953 по 1992 рр. (1 варіант)

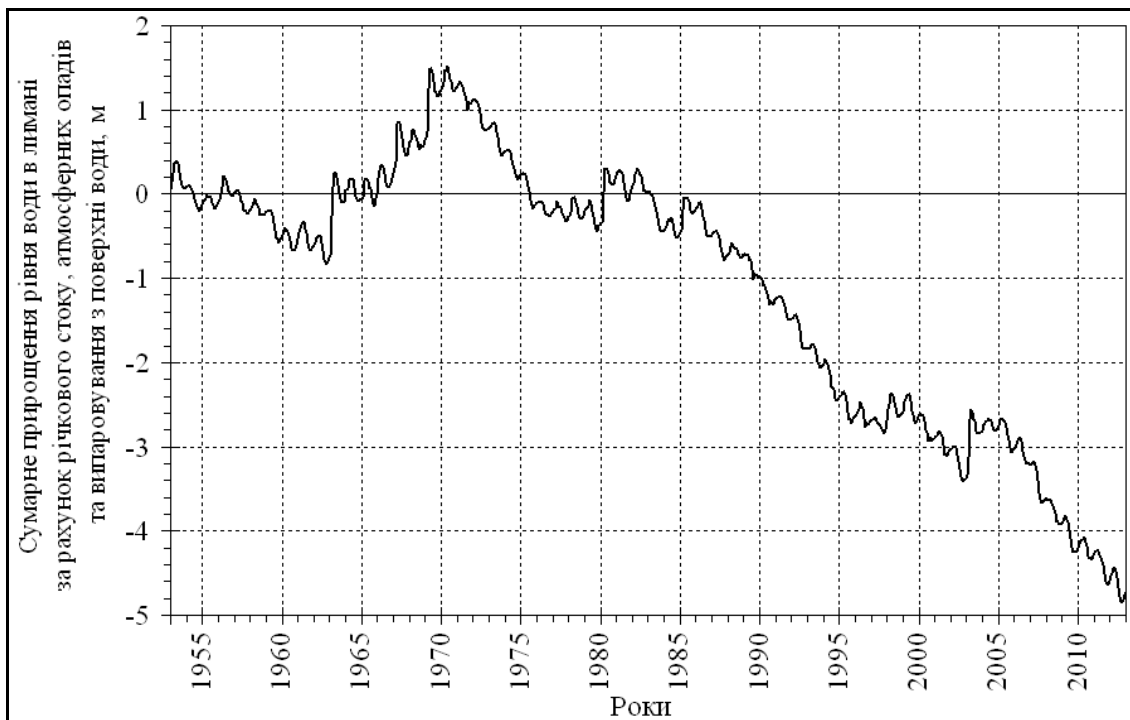


Рис. 12.24. Сумарне природження рівня води (м) в Тилігульському лимані, отримане з врахуванням атмосферних опадів, припливу води з водорозбірного басейну лиману та випаровування з водної поверхні, за період з 1953 по 2012 рр. (1 варіант)

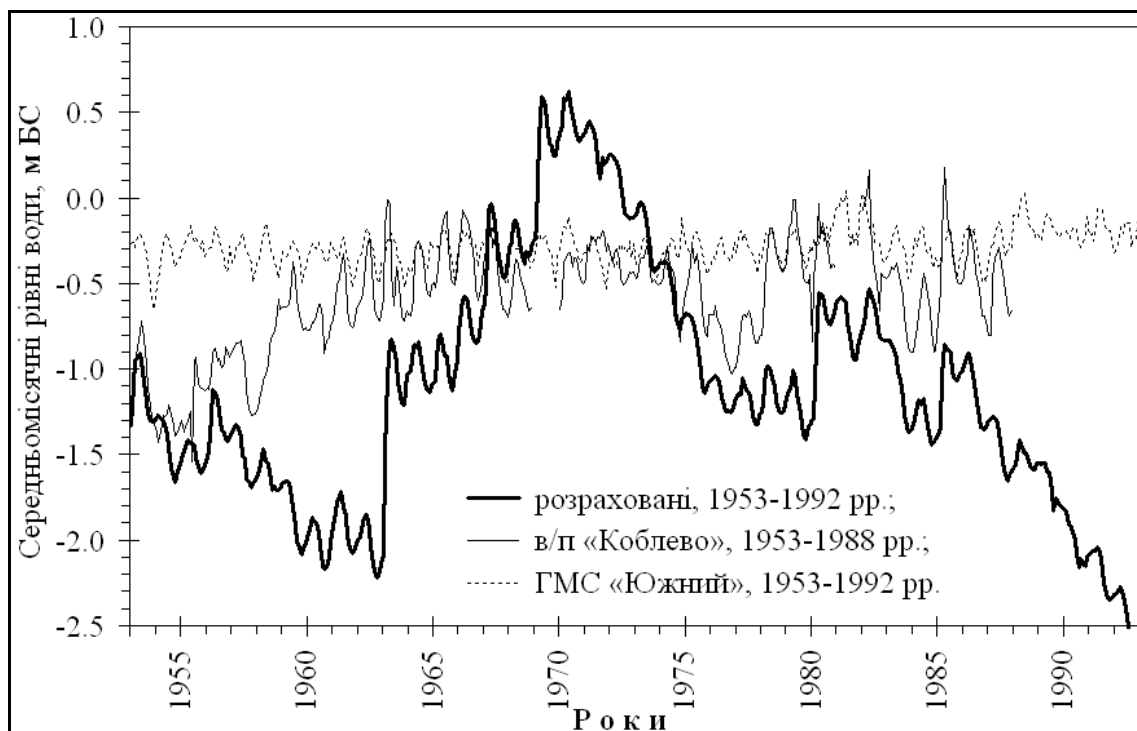


Рис. 12.25. Мінливість середньомісячних рівнів води Тилігульського лиману та Чорного моря за період з 1953 по 1992 рр. (2 варіант)

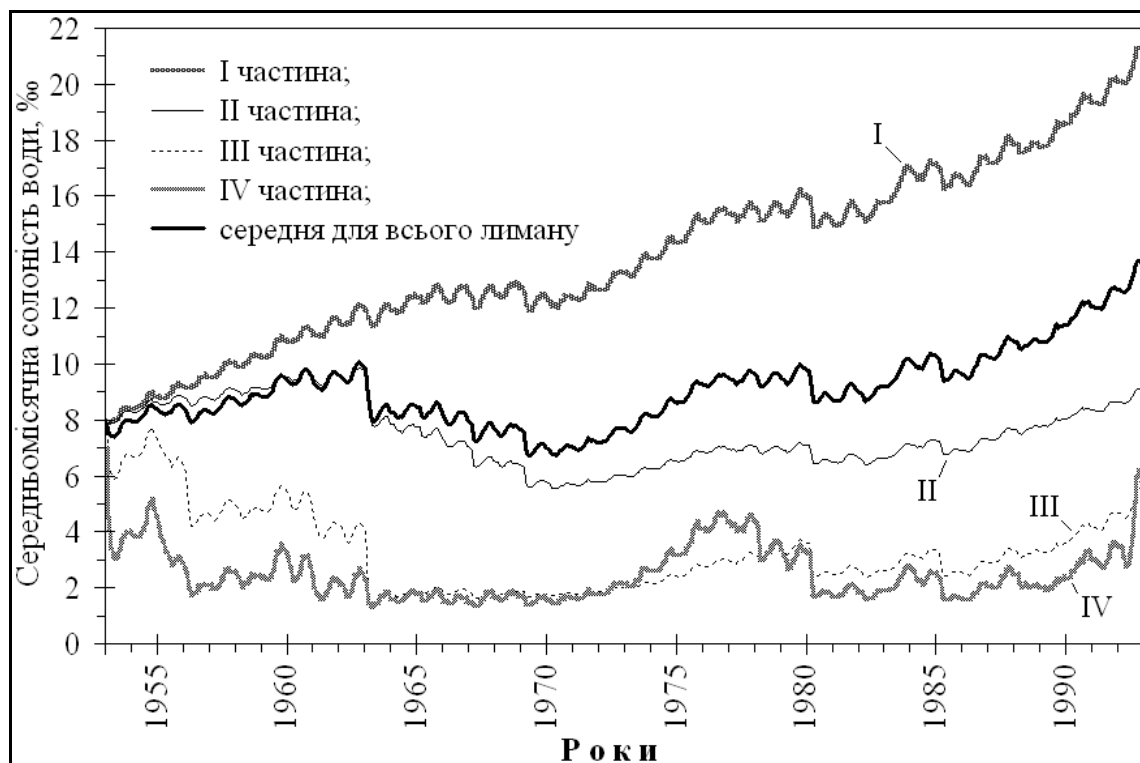


Рис. 12.26. Мінливість середньомісячних значень солоності води різних частин і всього Тилігульського лиману за період з 1953 по 1992 рр. (2 варіант)

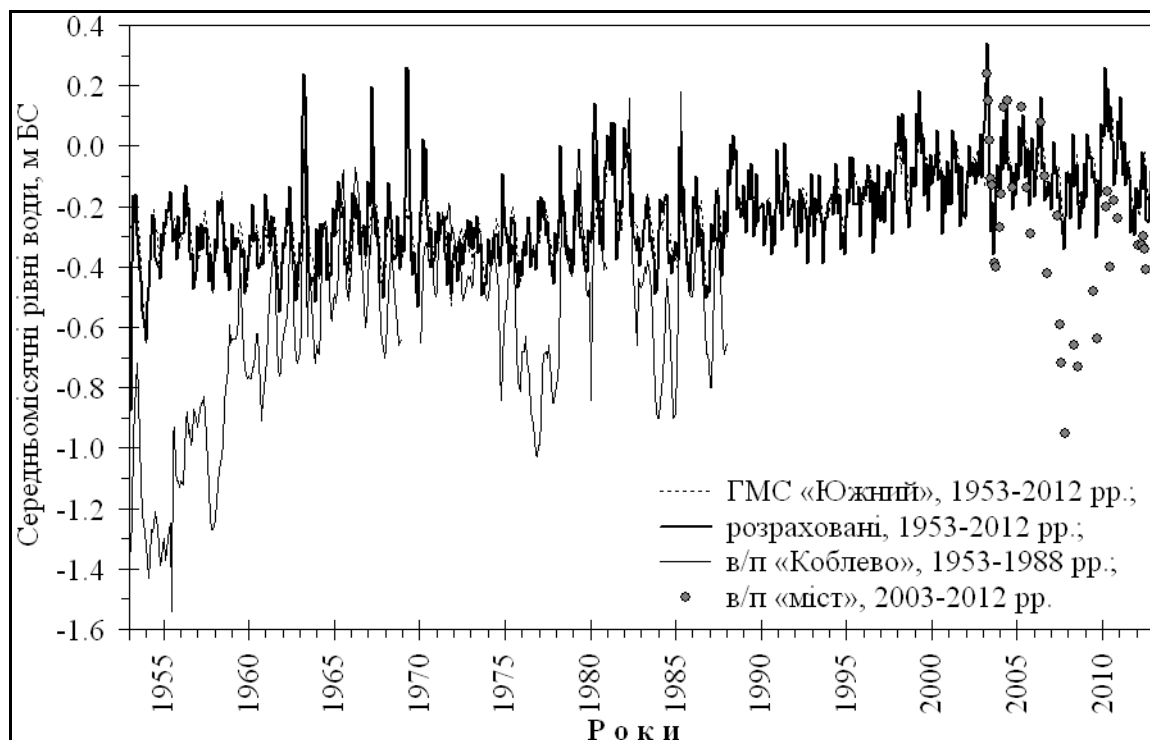


Рис 12.27. Мінливість середньомісячних рівнів води Тилігульського лиману та Чорного моря за період з 1953 по 2012 рр. (3 варіант)



Рис. 12.28. Мінливість середньомісячних значень солоності води різних частин і всього Тилігульського лиману за період з 1953 по 2012 рр. (3 варіант)

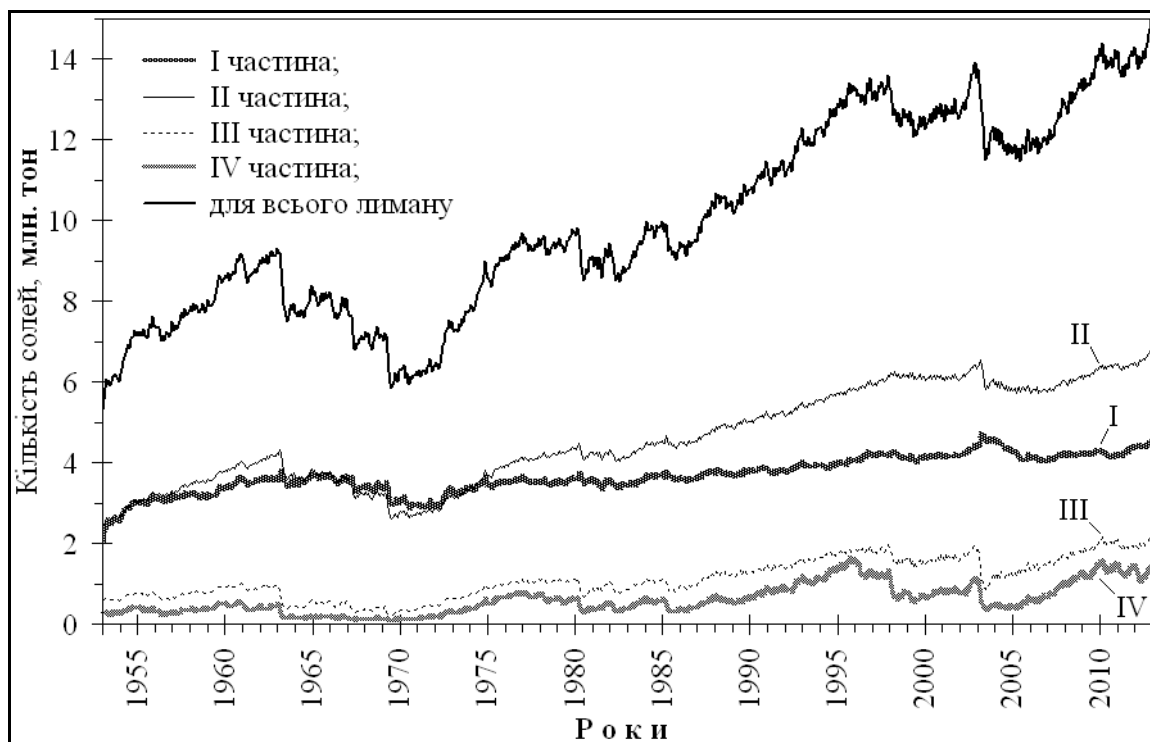


Рис. 12.29. Мінливість загальної кількості солей в Тилігульському лимані та його різних частинах за період з 1953 по 2012рр. (3 варіант)

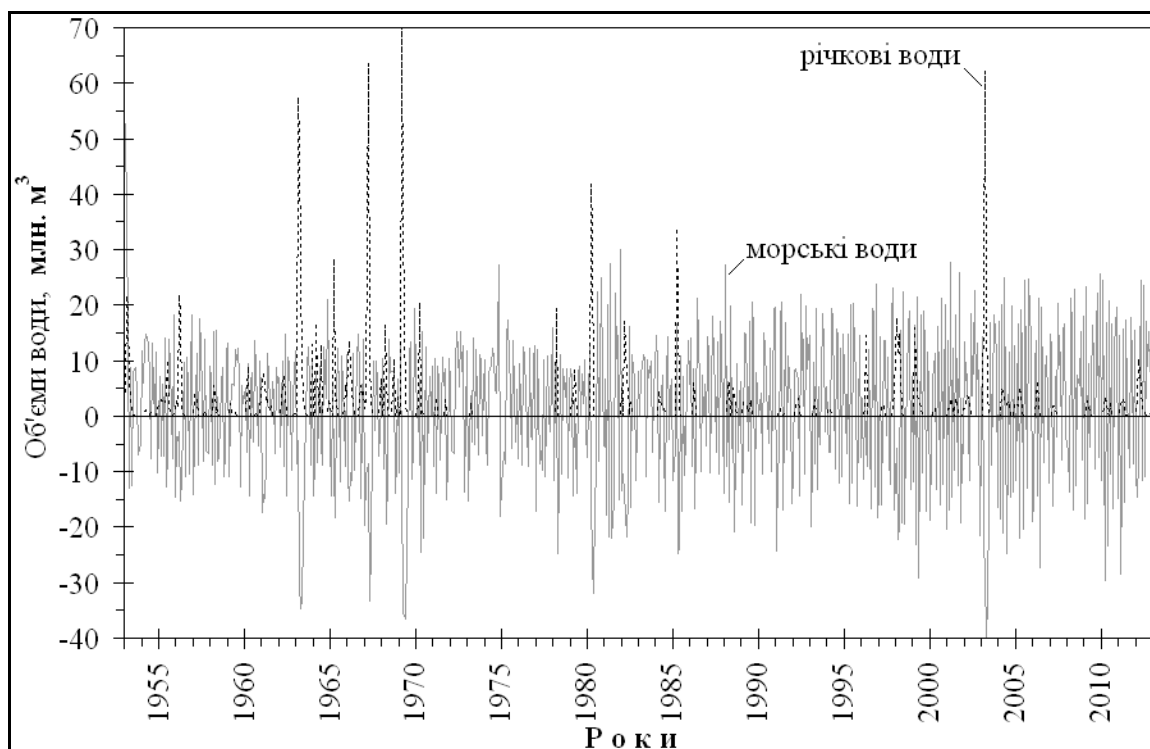


Рис. 12.30. Мінливість щомісячних об'ємів річкового стоку та водообміну Тилігульського лиману з Чорним морем за період з 1953 по 2012 рр. (3 варіант)

В частинах II, III та IV ці відхилення мають більші значення [1]. Останнє пояснюється тим, що запропонована балансова модель не може врахувати те, що значна частина річкових вод і атмосферних опадів, які мають меншу густину, ніж солоні води лиману, в періоди інтенсивних водопіль, паводків та після значних дощів, практично не змішуючись з водами IV та III частин лиману, надходять («зісковзують») в його II та I частини, а далі через канал виходять в море [16].

Це припущення також підтверджується даними визначення мінералізації води по довжині лиману 21 та 23 березня 2014 р. (майже в кінці весняного водопілля на річках і балках басейну лиману). Встановлено, що найбільша мінералізація води була в верхів'ях лиману ($23,83 \text{ г/дм}^3$ – на ділянці с.Софіївка), у бік нижньої (південної) частини лиману мінералізація води поступово зменшувалась (наприклад, $23,51 \text{ г/дм}^3$ – на ділянці с.Ташине, $23,06 \text{ г/дм}^3$ – на ділянці с.Бесарабка), а найменша мінералізація води ($22,58 \text{ г/дм}^3$) була в створі автомобільного моста через канал поблизу смт Коблеве [31]. При цьому, мінералізація води північно-східного озера на пересипу лиману (західна межа якого вільно з'єднується з лиманом через канал) 23 березня 2014 р. дорівнювала лише $18,66 \text{ г/дм}^3$ (рис. 12.31), при цьому канал «лиман-море» був закритий і морські води в лиман не надходили (мінералізація води в морі в цей час становила $12,65 \text{ г/дм}^3$).

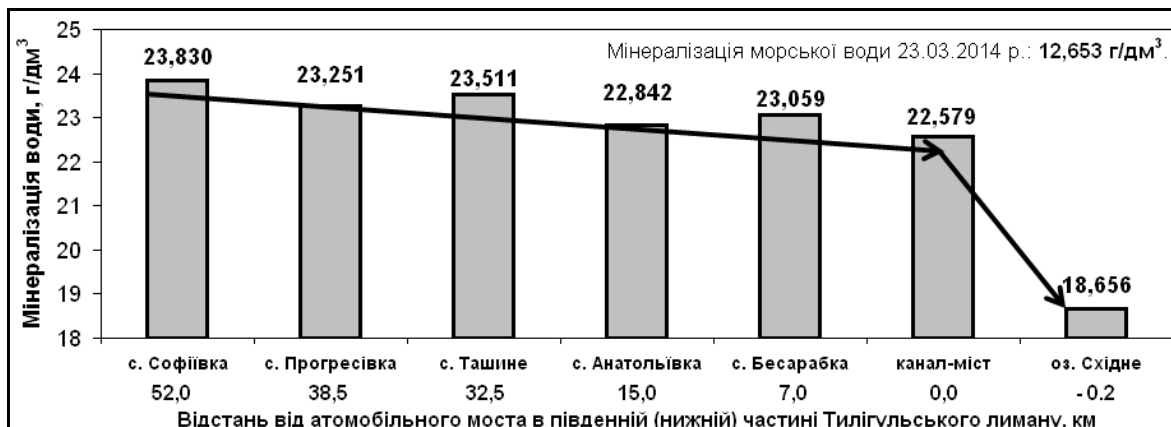


Рис. 12.31. Мінералізація води на різних ділянках Тилігульського лиману та в прилеглій до з'єднувального каналу частині моря наприкінці березня 2014 р.

Через це розрахункова солоність води в IV та III частинах лиману майже завжди на декілька проміле (г/дм^3) менша від фактичної, а в I та особливо II частинах навпаки – на 1-3 ‰ вища. Якщо ж приплив прісних вод йде поступово, то розрахункові й фактичні значення солоності води в усіх частинах лиману майже повністю співпадають, наприклад, в 1972-1973 рр. та 1979-1980 рр. Слід відмітити, що середні розрахункові та

фактичні значення солоності води для всього лиману за період з 1972 по 2012 рр. (40 років) добре узгоджуються (рис. 12.20), тобто загальна кількість солей в лимані (рис. 12.23) обчислюється вірно. Тому розроблена модель може вважатися надійною для оцінки водно-сольового режиму лиману за багаторічний період, при різних гідрометеорологічних умовах і режимах функціонування каналу між лиманом і морем.

В цілому, за період з 1953 по 2012 рр. загальна кількість солей в лимані зросла більш ніж в 3 рази (з 4,6 млн. тон – в 1953 р. до 14,6 млн. тон – у 2012 р.) (рис. 12.23), за рахунок періодичного припливу морських вод. Треба відмітити, що при відсутності в період 1953 - 2012 рр. припливу в Тилігульський лиман морських вод, загальне прирощення рівня води за рахунок опадів, річкового стоку та випаровування було б від’ємним та дорівнювало у 2012 р. значенню мінус 4,8 м (рис. 12.24). Це, головним чином, пов’язано з тим, що річні шари випаровування з водної поверхні лиману в середньому перевищують річні шари атмосферних опадів на 262 мм (рис. 12.32). Тільки в багатоводному 1980 р. річний шар атмосферних опадів на 29,4 мм перевищував шар випаровування з водної поверхні, а в інші роки – випаровування перевищувало опади. Найбільше перевищення дорівнює 551 мм (в 1983 р.), найменше – 42,5 мм (в 2010 р.) [14].

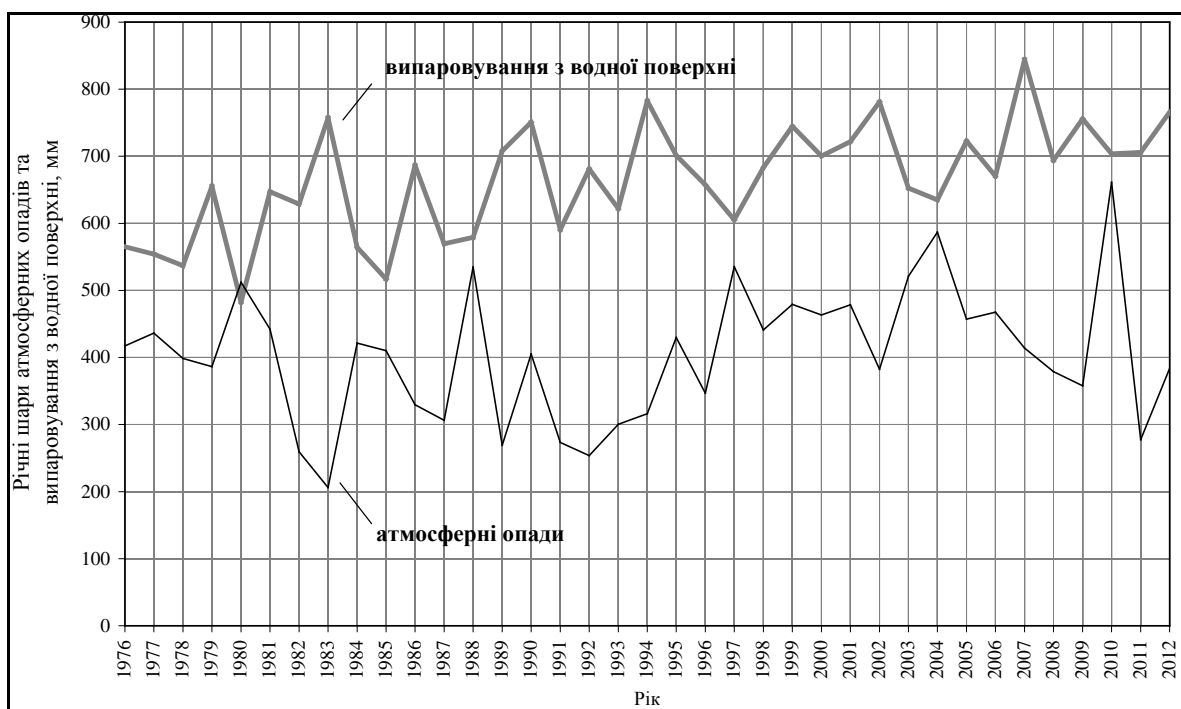


Рис. 12.32. Мінливість річних шарів атмосферних опадів та випаровування з водної поверхні в районі Тилігульського лиману (ГМС «порт-Южний») за період з 1976 по 2012 рр. [14]

З урахуванням того, що початкова відмітка рівня води в лимані в січні 1953 р. становила мінус 1,4 мБС, відмітка рівня води в лимані в грудні 2012 р. дорівнювала б значенню мінус 6,2 мБС, тобто рівні води Тилігульського і Куяльницького лиманів були б майже рівними [1, 25, 32].

Таким чином, результати розрахунків водно-сольового балансу лиману за умовами **1 варіанту** дозволяють зробити висновок про можливість використання балансової моделі для оцінки впливу водообміну з морем на водно-сольовий режим лиману за **2 та 3** варіантами.

З рис. 12.25 (**2 варіант**) видно, що при відсутності водообміну з морем коливання розрахункових рівнів води відбувалися б синхронно з фактичними. В періоди 1953-1966 рр. та 1975-1992 рр. розрахункові рівні були б меншими за фактичні, а з середини 1992 р. відмітка рівня води в лимані вже була б менша ніж мінус 2,5 мБС. Таке співвідношення розрахункових та фактичних рівнів води пов'язано з відсутністю припливу морських вод. Однак, в період з 1967 по 1974 рр. розрахункові рівні води в лимані були б вищими за фактичні (з максимальним перевищенням майже 1 м – в 1969-1970 рр.). Це пояснюється тим, що в лимані затримувалися б води весняних водопіль та паводків в роки високої водності, як, наприклад, у 1969 р. В цей же період відбувалося б значне зменшення солоності води в лимані (рис. 12.26). Наприклад, середня солоність води в лимані за період з 1963 по 1970 рр. зменшилася б більш ніж на 3,2 ‰.

Загалом, солоність води майже всіх частин лиману за період з 1953 по 1992 рр. була б меншою ніж спостережена. Лише в I-й частині лиману розрахункова солоність води, починаючи з 1969 р. перевищувала б спостережену на 1-4 ‰, що пов'язано зі збільшенням кількості солей в цій частині лиману та пропорційним їх зменшенням в інших. В той же час загальна кількість солей в лимані за період майже 40 років збільшилася б приблизно на 1,5 млн. тон (з 4,6 до 6,1 млн. тон). Прирощення рівня води за рахунок опадів, річкового стоку та випаровування за період з 1953 по 1992 рр. було б від'ємним та дорівнювало би в кінці 1992 р. мінус 0,9 м. Це призвело б до того, що відмітка рівня води в лимані вже в середині 1992 р. була б менша мінус 2,5 мБС (рис. 12.25), тобто приблизно 50 % IV частини та 10 % III частини лиману були б пересохлими.

Аналіз результатів розрахунку складових водно-сольового балансу лиману за **3 варіантом** (рис. 12.27-12.30) дозволяє зробити висновок, що варіант функціонування лиману при безперервному водообміні з морем є одним з найвигідніших для підтримки стабільних і задовільних гідроекологічних умов в лимані. З рис. 12.27-12.30 видно:

- а)* розраховані рівні води майже завжди вищі фактичних;
- б)* коливання рівнів води в лимані повністю синхронні з коливаннями рівня води в морі;

в) об'єми припливу-стоку води через канал «лиман-море» майже співпадають за величинами та в середньому дорівнюють 15-30 млн. м³, що приблизно становить 2-5 % від об'єму наповнення лиману;

г) розрахункова солоність води у цілому на декілька проміле (г/дм³) нижча за фактичну та ту, що розрахована за **1 варіантом**.

Моделювання водно-сольового балансу Тилігульського лиману при відсутності водообміну з морем, за ретроспективний період з січня 1953 р. по грудень 1992 р., показало, що рівні та мінералізація води в лимані загалом були б меншими ніж при наявності періодичного (декілька місяців на рік) або безперервного водообміну. Але при зниженні рівня води в лимані до відміток менших мінус 2,5 мБС, що відбулося б вже в середині 1992 р., приблизно 50 % IV частини та 10 % III частини лиману пересохли. Таке зменшення рівнів і, відповідно, об'ємів води в лимані призвело до зростання мінералізації води, особливо в I частині лиману, де наприкінці 1992 р. вона б дорівнювала 21,25 г/дм³, тобто була б на 5,55 г/дм³ вища ніж при періодичному водообміні з морем через сполучний канал в період з липня 1958 р. по грудень 1992 р.

Результати моделювання водно-сольового балансу Тилігульського лиману в умовах водообміну, якій періодично відбувався через канал «лиман-море» з липня 1958 р. по грудень 2012 р., та при безперервному водообміні (з січня 1953 р. по грудень 2012 р.) показали, що головною перевагою безперервного водообміну над періодичним є певна стабілізація рівнів води в лимані в інтервалі від мінус 0,55 мБС до 0,34 мБС, з мінливістю майже ідентичною мінливості рівнів води в морі. В умовах періодичного водообміну рівні води в лимані змінювалися в більшому інтервалі – від мінус 1,10 мБС до 0,43 мБС. В той же час, середній багаторічний рівень води в лимані при безперервному водообміні з морем дорівнював би мінус 0,21 мБС, тобто був би лише на 0,16 м вищим ніж при періодичному водообміні. З порівняння мінералізації води в лимані при безперервному та періодичному варіантах водообміну з морем видно, що вона поступово зростає і в кінці грудня 2012 р. має близькі значення: 19,54 г/дм³ – при безперервному водообміні, та 21,78 г/дм³ – при періодичному.

Середня багаторічна мінералізація води в лимані за період функціонування каналу «лиман-море» (з липня 1958 р. по грудень 2012 р.) при безперервному водообміні склала б 14,23 г/дм³, що на 1,07 г/дм³ більше ніж при періодичному водообміні. Загальна кількість солей в лимані в кінці 2012 р. була б також майже однаковою: 14,95 млн. тон – при безперервному водообміні, та 14,79 млн. тон – при періодичному. Однак, починаючи з липня 2001 р., безперервний водообмін з морем забезпечує нижчу мінералізацію води в лимані (в середньому на 0,92 г/дм³), ніж при періодичному водообміні. Причому ця різниця до кінця 2012 р. постійно зростає, що на нашу думку пов'язано зі зменшенням річкового стоку і

підвищенням ролі водообміну з морем у формуванні водно-сольового балансу лиману. Цей результат спростовує широко поширену думку, що запускати морську воду в лиман можна тільки у весняні місяці, коли солоність морських вод мінімальна. Інакше буде відбуватися інтенсивне засолення лиману.

Отже, як періодичний, так і безперервний варіанти водообміну лиману з морем у ретроспективний період (1958-2012 рр.) призводять до поступового майже постійного збільшення кількості солей у воді лиману та зростання мінералізації води, але при безперервному водообміні лиману з морем, рівні води є більш стабільними та вищими ніж при періодичному водообміні, що не призводило б до тривалих (від 1-2 місяців до 2,5 років) періодичних обмілінь і пересихання мілководних прибережних ділянок лиману та гідравлічно-пов'язаних з лиманом водойм, що відбувалося в періоди, коли рівні води в лимані були менші мінус 0,5 мБС (наприклад, з липня 1975 р. по лютий 1978 р. або з липня 1983 р. по січень 1985 р. та майже всі місяці періоду з липня 2007 р. по лютий 2010 р.). Крім того, в умовах зменшення річкового стоку, яке відбувається в останнє десятиріччя, постійний водообмін з морем сприяє зменшенню темпів зростання середньої солоності води в лимані.

10. Тучковенко Ю.С., Кушнір Д.В. Моделирование ветровой циркуляции вод в Тилигульском лимане // Вісник Одеського державного екологічного університету.– Одеса: ТЕС, 2013. – № 16. – С. 149 - 158.
11. Гидрометеорологические условия морей Украины. Том 2: Черное море / Ильин Ю.П., Репетин Л.Н., Белокопытов В.Н. и др. – Севастополь: МО УкрНИГМИ, 2012. – 421 с.

До розділу 12

1. Комплексне управління водними ресурсами Тилигульського лиману та його гідроекологічним станом в умовах антропогенного впливу і кліматичних змін: звіт про НДР (проміжний) / Одеський держ. екол. ун-т; керівник роботи Ю.С. Тучковенко.– Одеса, 2013.– ДР № 0113U000696.– 279 с.
2. Гриб О.М. Оцінка морфометричних характеристик і рельєфу дна Тилигульського лиману та їх особливості // Вісник Одеського державного екологічного університету.– Одеса: ТЕС, 2014. – Вип. 17.– С.185-196.
3. 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.
4. 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.
5. Архів погоди в Сербці (26.10.2005-10.12.2013). Метеостанція № 33833 (WMO ID) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://rp5.ru>.
6. Данные суточного разрешения по температуре воздуха и осадкам [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://cliware.meteo.ru>.
7. Архів погоди в Одесі (01.02.2005-10.12.2013). Метеостанція № 33837 (WMO ID) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://rp5.ru>.
8. Архів погоди в Одесі (аеропорт), METAR (26.09.2012-10.12.2013). Аеропорт (ICAO) UKOO [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://rp5.ru>.
9. Горев Л.М., Пелешенко В.И., Кирничный В.В. Методика оптимизации природной среды обитания. – К.: Либідь, 1992. – 528 с.
10. Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши, 1936-2011 гг. – Ч. 1 и 2. – Том 2. – Вып. 1. – 1938-2012.
11. Паспорт р. Тилигул. – Одесса: Укрюжгипроводхоз, 1994. – 148 с.
12. Оцінка та розрахунок гідравліко-морфометричних характеристик водообміну в системі «Тилигульський лиман ↔ Чорне море» для розробки рекомендацій по збереженню природних ресурсів лиману:

- звіт про НДР (заключний) / Одеський держ. екол. ун-т; керівник роботи Н.С. Лобода. – Одеса, 2010. – ДР № 0110U008224.– 178 с.
13. *Актуальные проблемы лиманов северо-западного Причерноморья*: Монография / Под ред. Тучковенко Ю.С., Гопченко Г.Д.; Одесский государственный экологический университет. – Одесса: ТЭС, 2011. – 224 с.
14. *Гриб О.М.* Оцінка випаровування з водної поверхні в районі Тилігульського лиману // Вісник Одеського державного екологічного університету. – Одеса: ТЕС, 2014. – Вип. 17. – С.173-184
15. *Ресурсы поверхностных вод СССР. Западная Украина и Молдавия.* – Л.: Гидрометеиздат, 1969. – Т. 6. – Вып. 1. – 714 с.
16. *Розенгурт М.Ш.* Гидрология и перспективы реконструкции природных ресурсов Одесских лиманов. – К.: Наук. думка, 1974. – 225 с.
17. *Тимченко В.М.* Эколого-гидрологические исследования водоемов Северо-Западного Причерноморья. – К.: Наук. думка, 1990. – 240 с.
18. *Каганер М.С., Дюкель Н.Г.* Испарение с водной поверхности на территории Украины и Молдавии // Тр. УкрНИИГМИ. – 1966. – Вып. 64. – С. 155-180.
19. *Константинов А.Р.* Испарение в природе. – Л.: Гидрометеиздат, 1968. – 532 с.
20. *Ресурсы поверхностных вод СССР. Украина и Молдавия. Крым.* – Л.: Гидрометеиздат, 1966. – Т. 6. – Вып. 4. – 347 с.
21. *Бобров С.Н.* К вопросу об испарении морской воды в зависимости от её солёности // Труды института океан. – 1960. – Т. XXXVII. – 183 с.
22. *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 № 0109U004794.– 90 с.
23. *Гопченко Є.Д., Гриб О.М.* Оцінка складових водного балансу Куяльницького лиману та визначення причин сучасного обміління водойми // Метеорол., кліматол. та гідрол. – 2010. – Вип. 51. – С. 200-215.
24. *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.
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. *Иванов Н.Н.* Ландшафтно-климатические зоны земного шара // Зап. Всесоюз. географ. общ-ва: нов. сер. – 1948. – Т. 1. – 223 с.
27. *Архів погоди в Болграді (26.10.2005-10.12.2013).* Метеостанція № 33887 (WMO ID) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://rp5.ru>.
28. *Водний баланс Хаджибейського лиману за різних умов його існування: звіт про НДР (заключний) / Одеський держ. екол. ун-т; керівник роботи Є.Д. Гопченко.* – Одеса, 2011. – ДР № 0111U010352.– 86 с.
29. *Карасёв И.Ф., Васильев А.В., Субботина Е.С.* Гидрометрия: Учебник. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 376 с.
30. *Іваненко О.Г.* Автоматизовані методи обчислення добового стоку в гідростворах річок: Навчальний посібник. – Одеса: ТЕС, 1998. – 60 с.
31. *Себов В.В., Лещенко А.В., Гриб О.М.* Сучасний стан гирлових ділянок річок і балок Тилигульського лиману та водойм його пересипу // Збірник статей за матер. Студ. наук. конф. ОДЕКУ. – Одеса: ТЕС, 8-12 квітня 2014. – С.89-91.
32. *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.

До розділу 13

1. *Wörner V., Hesse C., Stefanova A., Krysanova V.* Evaluation of climate scenarios for the lagoons. – Potsdam: PIK, 2012. – 40 p.
2. *Сайт проекту ENSEMBLES* [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.ensembles-eu.org>.
3. *Комплексне управління водними ресурсами Тилигульського лиману та його гідроекологічним станом в умовах антропогенного впливу і кліматичних змін: звіт про НДР (проміжний) / Одеський держ. екол. ун-т; керівник роботи Ю.С. Тучковенко.* – Одеса, 2013. – ДР № 0113U000696.– 279 с.
4. *Горев Л.М., Пелешенко В.И., Кирничный В.В.* Методика оптимизации природной среды обитания. – К.: Либідь, 1992. – 528 с.
5. *Паспорт р. Тилигул.* – Одесса: Укрюжгипроводхоз, 1994. – 148 с.
6. *Оцінка та розрахунок гідравліко-морфометричних характеристик водообміну в системі «Тилигульський лиман ↔ Чорне море» для розробки рекомендацій по збереженню природних ресурсів лиману: звіт про НДР (заключний) / Одеський держ. екол. ун-т; керівник роботи Н.С. Лобода.* – Одеса, 2010. – ДР № 0110U008224.– 178 с.
7. *Тучковенко Ю.С., Адобовский В.В., Тучковенко О.А., Гриб О.Н.* Современный гидрологический режим и динамика вод Тилигульского