

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 водозбірного 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 10

ГІДРОГРАФІЯ ТА МОРФОМЕТРІЯ ТИЛІГУЛЬСЬКОГО ЛИМАНУ

Для наукового обґрунтування оптимальних рівнів та солоності води в лимані, моделювання мінливості гідроекологічних характеристик необхідна достовірна інформація про основні морфометричні характеристики водойми (довжину, ширину, глибину, площу водної поверхні, об'єм води при різних відмітках її рівня), сучасна батиметрична карта та дані про особливості рельєфу дна лиману (наприклад, розміри та місцезнаходження западин й підводних гряд), які можуть впливати на процеси водообміну між різними частинами водойми та водно-сольовий режим Тилігульського лиману в цілому. Ці дані також можуть бути використані в природоохоронній діяльності, рибництві, при видобутку лікувальних грязей тощо.

Детальні наукові дослідження морфометричних характеристик і рельєфу дна Тилігульського лиману почалися з середини ХХ ст. і тривають до сьогодні [1-16]. За період більш ніж 50 років цією проблемою займалися такі вчені і фахівці з гідрології й океанології, як М.Ш. Розенгурт – 1961-1974 рр. [12], В.М. Тімченко – 1979-1990 рр. [13, 14], В.В. Адобовський – 2000-2012 рр. [9, 10, 15], О.М. Гриб – 2010-2014 рр. [1, 2, 9, 10], а також організації та установи: Державна гідрометеорологічна служба [11], Одеський філіал Інституту біології південних морів НАН України [10, 15], Інститут гідробіології НАН України [13], Державна установа «Держгідрографія» [16] та Одеський державний екологічний університет (ОДЕКУ) [1, 2, 9, 10].

10.1 Морфометричні характеристики та рельєф дна

До початку ХХІ ст. оцінити основні морфометричні характеристики та особливості рельєфу дна Тилігульського лиману (табл. 10.1) було можливо лише за даними декількох наукових публікацій [11-13] і топографічних карт [4-6].

В 2004 р. Київською військово-картографічною фабрикою надруковано атлас чорноморського узбережжя [16], в якому вперше для вільного користування опублікований план лиману в ізобатах та позначені глибини в деяких місцях водойми. У сучасний період (2009-2014 рр.) дослідженнями рельєфу дна та визначенням морфометричних характеристик водойми (табл. 10.1) займалися науковці ОДЕКУ [1, 2, 9, 10]. У вересні 2010 та 2012 рр. були виконані батиметричні зйомки Тилігульського лиману (більш ніж 7 тис. вимірювань), на основі яких побудована сучасна батиметрична карта (рис. 1.2) [1, 2].

Таблиця 10.1. Морфометричні характеристики Тилігульського лиману [2]

Характеристика \ Рік і джерело інформації	1969 р. [11]	1974 р. [12]	1990 р. [13]	2013 р. [1]
Середня довжина, $L_{\text{сер.}}$, км	35,0	55,0	55,0	52,0
Максимальна довжина, $L_{\text{макс.}}$, км	—	80,0	60,0	63,3
Мінімальна ширина, $B_{\text{мін.}}$, м	0,2	0,2	—	0,2
Середня ширина, $B_{\text{сер.}}$, м	—	—	2,0-3,0	2,5
Максимальна ширина, $B_{\text{макс.}}$, м	3,5	4,5	4,5	5,4
Середня площа водної поверхні, $F_{\text{сер.}}$, млн. м ²	80,0	150	113	129
Максимальна площа поверхні, $F_{\text{макс.}}$, млн. м ²	—	170	—	143
Середній об'єм води, $W_{\text{сер.}}$, млн. м ³	—	250	560	693
Максимальний об'єм води, $W_{\text{макс.}}$, млн. м ³	—	600	—	750
Середня глибина, $h_{\text{сер.}}$, м	—	3,0	5,0	5,4
Максимальна глибина, $h_{\text{макс.}}$, м	19,0	21,0	21,2	22,2
Довжина берегової (урізної) лінії, $L_{\text{уріз.}}$, км	—	—	—	128,2

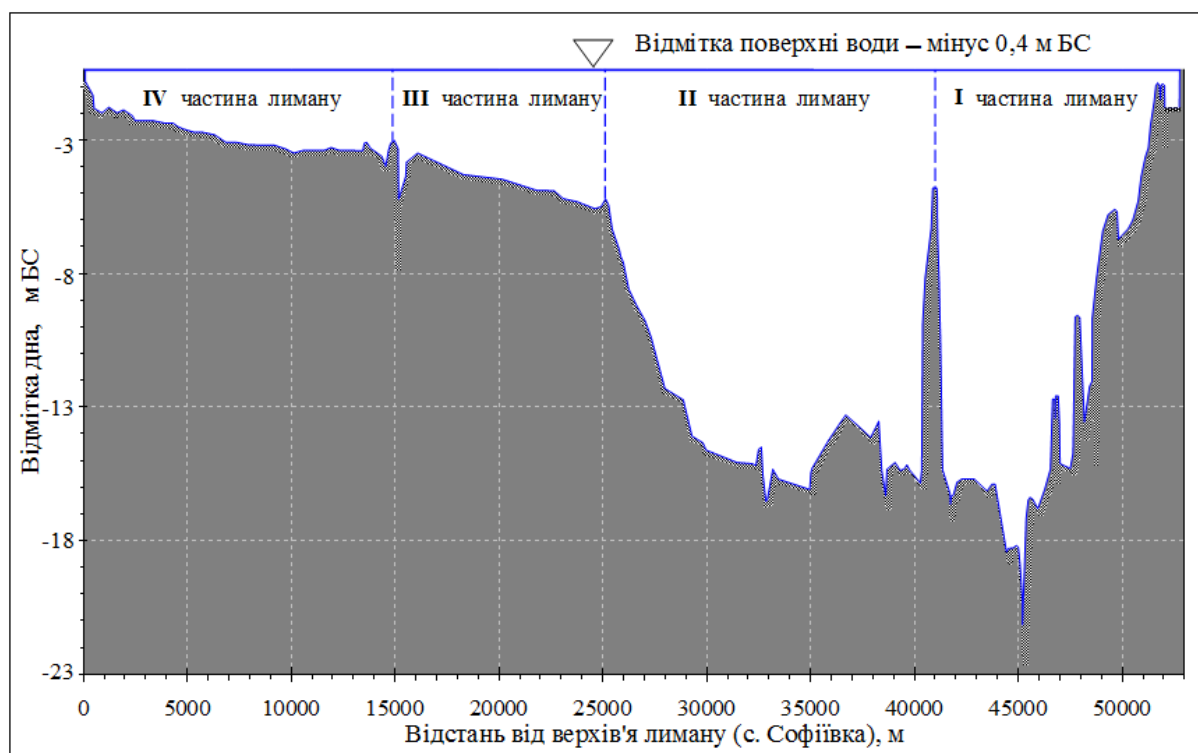


Рис. 10.1. Повздовжній профіль дна Тилігульського лиману по лінії фарватеру (від с. Софіївка до моста на пересипу) [2]

За даними цієї карти побудовано повздовжній профіль по лінії фарватеру (максимальних глибин) лиману, показаний на рис. 10.1. З врахуванням профілю, а також розмірів Калинівської, Кордонської та

Чілової кіс, які займають більш ніж 50% ширини водойми (в місцях їх розташування), Тилігульський лиман був поділений на чотири частини (рис. 10.2), які з'єднуються однойменними з косами протоками. Частини I та II – глибоководні, а III та IV – мілководні.

Об'єми води W та площі водної поверхні F Тилігульського лиману в цілому та кожної з його чотирьох частин при різних рівнях наповнення визначалися із застосуванням функціональних залежностей $F = f(Z)$, $W = f(Z)$ (рис. 10.3-10.7), де Z – умовний горизонт (в метрах) відносно відмітки поверхні води мінус 0,40 мБС. Відповідно, для приведення значень Z до відміток рівня води у лимані у Балтійській системі висот ζ (мБС) використовується формула:

$$\zeta = -(Z + 0,4). \quad (10.1)$$

Залежності визначені на основі даних батиметричної карти [1, 2], при побудові якої використані дані промірів глибин (більш ніж 7 тис. вертикалей), виконаних науковцями ОДЕКУ у ході експедиційних досліджень. Проміри проводились при рівнях води в лимані мінус 0,40 мБС (вересень 2010 р.) та мінус 0,95 мБС (вересень 2012 р.). Нівелювання берегових профілів та оголених ділянок дна до найвищих (максимальних) історичних відміток поверхні води не здійснювалось, тому що при рівнях води, вищих за відмітку мінус 0,40 мБС, площа водної поверхні основної акваторії лиману майже не збільшується, оскільки ложе акваторії лиману при цих відмітках вздовж всієї урізної лінії лиману межує з обривистим берегом.

Точність вимірювання координат берегової лінії при найвищих рівнях води знаходиться в межах граничної похибки визначення положення урізної лінії (± 2 м) при відмітці поверхні води мінус 0,40 мБС. Основні морфометричні характеристики лиману в цілому та різних його частин наведені в табл. 10.2.

Для уточнення значень площ водної поверхні різних частин і всього лиману при рівнях води, вищих за відмітку мінус 0,40 мБС, встановлені місцеположення та площі водної поверхні водойм, які гідравлічно пов'язані з різними частинами основної акваторії лиману, та об'єктів, що відділяють ці водойми від нього (рис. 10.2, табл. 10.3). Шукані характеристики визначались за даними натурних обстежень лиману в період з 2010 по 2014 рр. [1, 2, 9, 10], паспорту р.Тилігул [3], карт масштабів 1:100000 [4, 5] та 1:50000 [6], супутникових знімків, виконаних радіометром Landsat [7] та оброблених в програмі Google Earth 7.0.3.8542 [8].

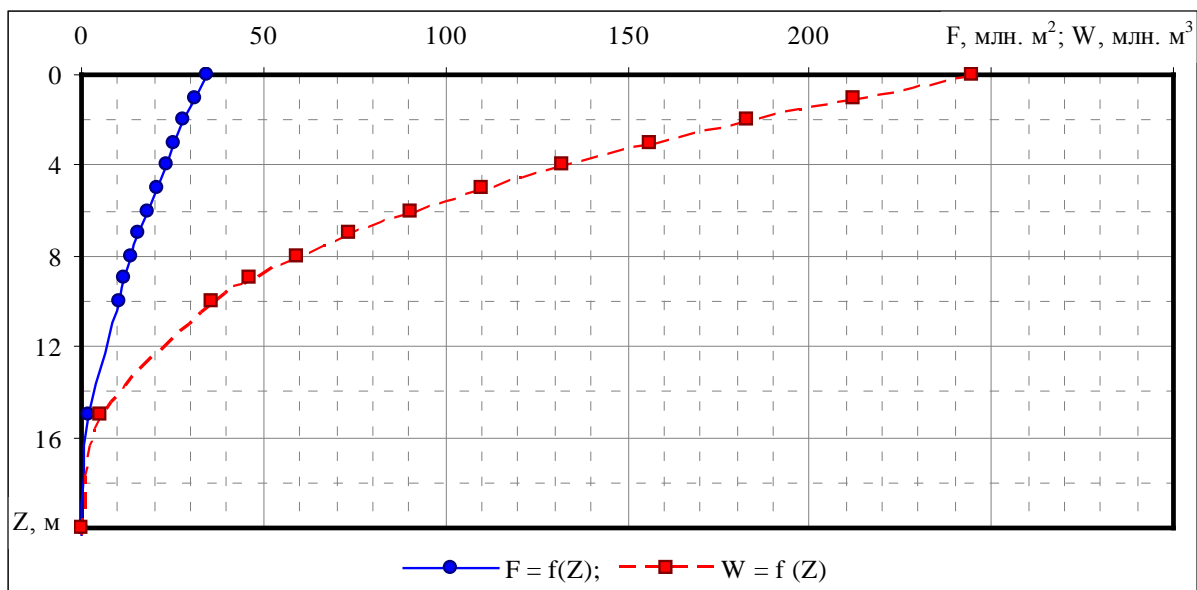


Рис. 10.3. Криві площ водної поверхні $F = f(Z)$ та об'ємів води $W = f(Z)$ I частини (від Чілової коси до низов'я) Тилигульського лиману [1, 2]

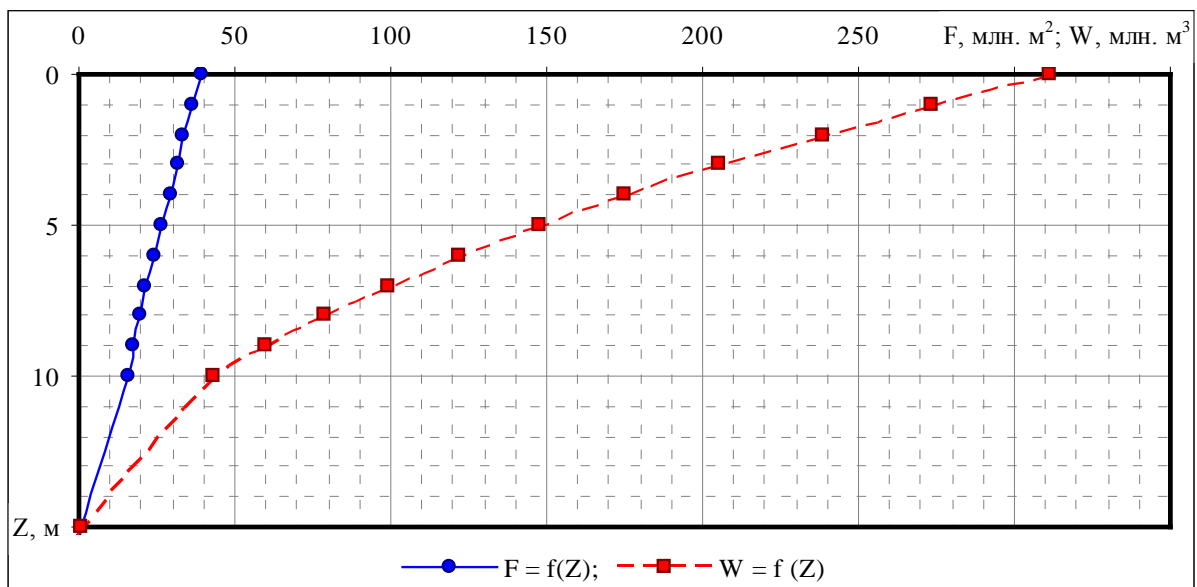


Рис. 10.4. Криві площ водної поверхні $F = f(Z)$ та об'ємів води $W = f(Z)$ II частини (від Кордонської до Чілової коси) Тилигульського лиману [1, 2]

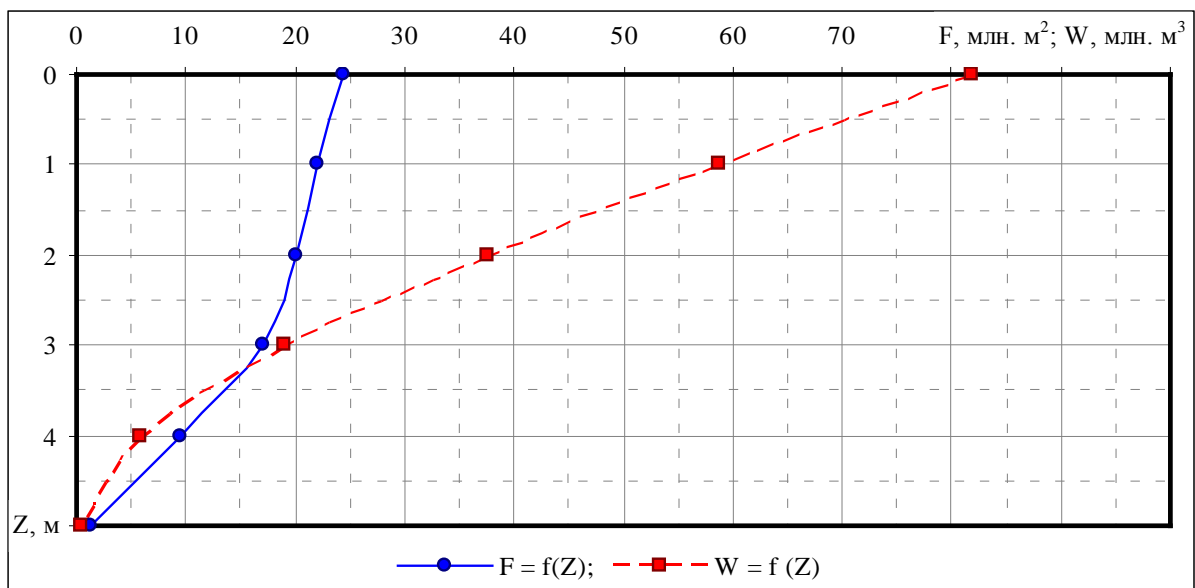


Рис. 10.5. Криві площ водної поверхні $F = f(Z)$ та об'ємів води $W = f(Z)$ III частини (від Калинівської до Кордонської коси) Тилігульського лиману [1, 2]

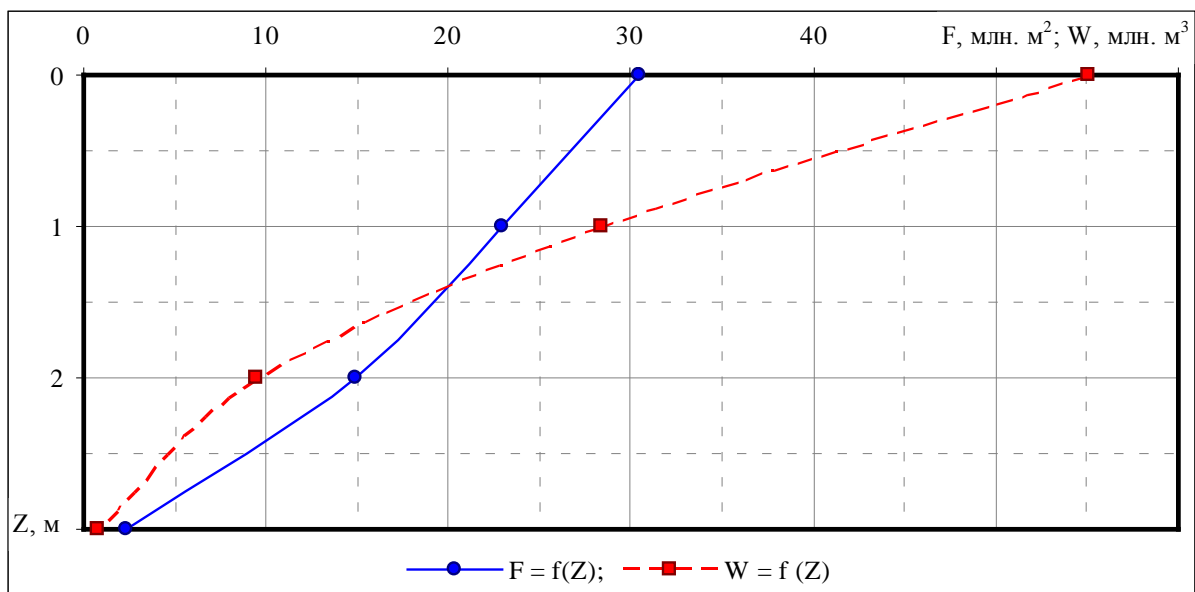


Рис. 10.6. Криві площ водної поверхні $F = f(Z)$ та об'ємів води $W = f(Z)$ IV частини (від верхів'я до Калинівської коси) Тилігульського лиману [1, 2]

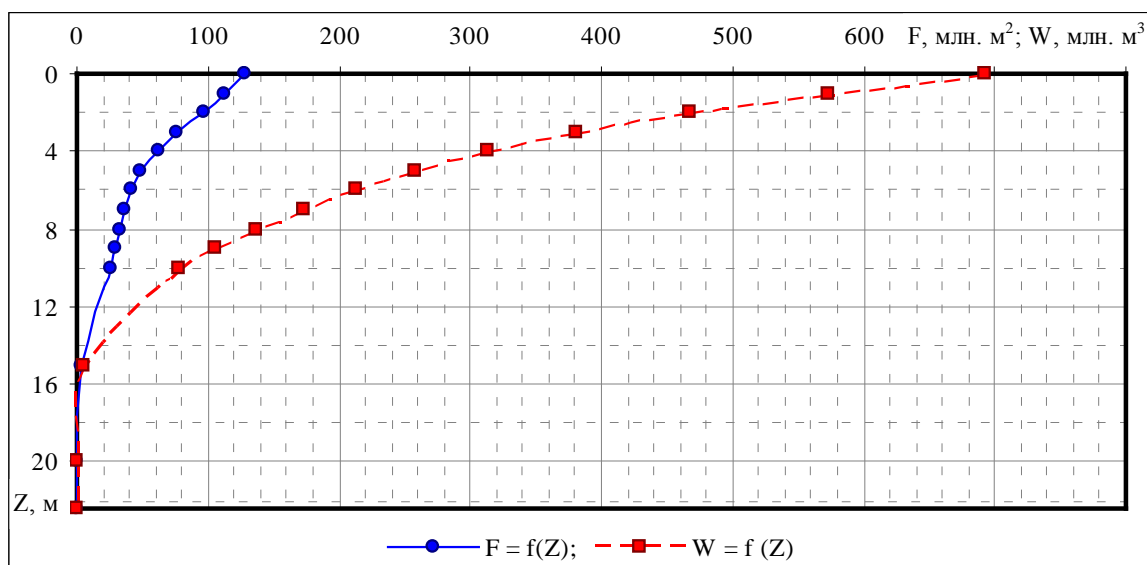


Рис. 10.7. Криві площ водної поверхні $F = f(Z)$ та об'ємів води $W = f(Z)$ Тилігульського лиману [1, 2]

Таблиця 10.2. Основні морфометричні характеристики різних частин і всього Тилігульського лиману при відмітці поверхні води у водоймі мінус 0,4 мБС [2]

Характеристика		Частина лиману				Весь лиман
		I	II	III	IV	
Довжина, L , км		10,8; 14,1 ³	14,8	9,4	17,0; 20,0 ¹ ; 25,0 ²	52,0; 55,0 ¹ ; 60,0 ² ; 63,3 ³
Ширина, B , м	Середня	3,2	2,7	2,6	1,8	2,5
	Мінімальна	1,6	1,6	0,3	0,2	0,2
	Максимальна	5,4	3,8	4,5	5,3	5,4
Глибина, h , м	Середня	7,09	7,89	3,36	1,81	5,38
	Максимальна	22,20	16,40	5,30; 7,40 ⁴	3,70; 7,40 ⁴	22,20
Площа водної поверхні, F , млн. м ²		34,56	39,43	24,38	30,48	128,85
Об'єм води, W , млн. м ³		245,01	311,05	81,86	55,08	693,00
Довжина берегової (урізної) лінії, $L_{уріз}$, км	Східний	12,5	19,0	13,2	15,8	60,5
	Південний	2,7	—	—	—	2,7
	Західний	13,6	13,8	11,4	26,2	65,0
	Всього	28,8	32,8	24,6	42,0	128,2

Примітки:

¹ – з врахуванням ділянки с.Софіївка – гирло р.Тилігул (с. Сахарове) [3];

² – з врахуванням ділянки с.Софіївка – дамба між с.Косівка та с.Мар'янівка;

³ – з врахуванням середньої довжини пересипу (3,3 км) між лиманом і морем;

⁴ – з врахуванням поглиблення штучного походження (можливо, місця вибуху бомби).

Таблиця 10.3. Площі водної поверхні водойм, які гідравлічно пов'язані з різними частинами Тилігульського лиману, та об'єктів, що відділяють ці водойми від нього [2]

Позначення ¹		Площа водойми, млн. м ²	Наявність коси та пересипу	Площа коси або пересипу, млн. м ²	Частина лиману
1	$F_{\text{верх.Т.л.}}$	8,63	Немає	–	IV
2	$F_{\text{верх.Б.л.}}$	0,70	Немає	–	IV
3	$F_{\text{Прог.зат.-оз.}}$	0,67	Коса, пересип	0,26	IV
4	$F_{\text{Цар.лим.}}$	1,47	Царегська коса	0,16	III
5	$F_{\text{Шир.оз.}}$	0,02	Пересип	0,04	III
6	$F_{\text{Корд.оз.}}$	0,02	Пересип	0,04	III
7	$F_{\text{Мар.оз.}}$	0,03	Пересип	0,05	II
8	$F_{\text{Кеф.лим.}}$	0,02	Пересип	0,01	II
9	$F_{\text{Анат.оз.}}$	0,06	Пересип	0,08	II
10	$F_{\text{Хут.лим.}}$	0,19	Хуторська коса	0,03	II
11	$F_{\text{Ран.оз.}}$	0,05	Пересип	0,03	II
12	$F_{\text{Чаб.лим.}}$	0,03	Пересип	0,01	II
13	$F_{\text{Чіл.оз.}}$	0,10	Пересип	0,15	I
14	$F_{\text{Черв.оз.}}$	0,16	Пересип	0,11	I
15	$F_{\text{Люб.оз.}}$	0,02	Пересип	0,04	I
16	$F_{\text{Кам.лим.}}$	0,60	Пересип	0,07	I
17	$F_{\text{Бес.лим.}}$	0,02	Пересип	0,01	I
18	$F_{\text{Лен.лим.}}$	0,01	Пересип	0,01	I

Примітка: ¹ – номери водойм згідно з рис. 10.2, назви водойм приведені в поясненнях до формул (10.2) – (10.5).

Наприклад, при відмітках, близьких до мінус 0,40 мБС, на східному березі Тилігульського лиману через канал-гирло (ширина – 10-15 м, глибина $\approx 0,5-1,0$ м) наповнюється гирлова ділянка р.Царега – Царезький лиман (на північно-західній межі с.Ташине). Незначні глибини (до 0,5 м) та в'язкі мулистопіщані донні відклади цієї водойми не дозволили під час батиметричних зйомок Тилігульського лиману виконати проміри глибин або нівелювання поверхні дна Царезького лиману, відділеного від акваторії Тилігульського лиману піщаним пересипом-косою (ширина 100-250 м) з відмітками поверхні \approx мінус 0,4-0,0 мБС. За даними візуальних натурних спостережень і фотографічних матеріалів також встановлено, що Царезький лиман має майже горизонтальне дно на 0,05-0,50 м нижче відмітки мінус 0,40 мБС. З урахуванням цього прийнято, що при наповненні цієї водойми через з'єднувальний канал-гирло водами Тилігульського лиману – з півдня або водами р.Царега – з півночі, коритоподібне дно лиману при рівні води мінус 0,40 мБС буде майже повністю вкрите водою.

Також встановлено, що при відмітках поверхні води вище мінус 0,40 мБС площа водної поверхні Царезького лиману майже не буде змінюватися та дорівнюватиме $F_{\text{Цар.лим.}} = 1,47$ млн. м². Тому об'єм води лиману $W_{\text{Цар.лим.}}$, млн. м³, при рівнях води, вищих за мінус 0,40 мБС, може бути визначений як добуток $F_{\text{Цар.лим.}}$ і величини перевищення рівнем води цієї відмітки. Аналогічні оцінки (табл. 10.3) отримані для всіх 18 водойм, що знаходяться у верхів'ях та вздовж східного та західного берегів лиману (рис. 10.2).

Уточнені об'єми води та площі водної поверхні Тилігульського лиману та різних його частин при відмітках рівня води, вищих за мінус 0,40 мБС [17], визначалися як сума об'ємів і площ при $Z = 0$ м (рис. 10.3-10.7) та об'ємів і площ водойм (за виключенням водойм пересипу), які гідравлічно пов'язані з різними частинами лиману (табл. 10.3). Зокрема, площа I частини лиману F_I (млн. м²):

$$F_I = F_{I,\text{кр.}} + F_{\text{Чіл.оз.}} + F_{\text{Черв.оз.}} + F_{\text{Люб.оз.}} + F_{\text{Кам.лим.}} + F_{\text{Бес.лим.}} + F_{\text{Лен.лим.}}, \quad (10.2)$$

де $F_{I,\text{кр.}}$ – площа водної поверхні I частини лиману при рівні води мінус 0,4 мБС ($Z = 0$ м), млн. м², (рис. 10.3);

$F_{\text{Чіл.оз.}}$, $F_{\text{Черв.оз.}}$, $F_{\text{Люб.оз.}}$, $F_{\text{Кам.лим.}}$, $F_{\text{Бес.лим.}}$, $F_{\text{Лен.лим.}}$ – відповідно площі водних поверхонь Чілового озера, Червоноукраїнських озер, Любопільського озера, Кам'янистого лиману, водойм гирлових ділянок балок без назв, для яких прийняті назви «Бессарабський лиман» та «Ленінський лиман», які гідравлічно пов'язані з I частиною Тилігульського лиману (за виключенням водойм пересипу) та є невід'ємними елементами її водної акваторії (табл. 10.3), млн. м².

Площа II-ї частини лиману, F_{II} (млн. м²) при рівнях води вищих за відмітку мінус 0,4 мБС:

$$F_{II} = F_{II,\text{кр.}} + F_{\text{Мар.оз.}} + F_{\text{Кеф.лим.}} + F_{\text{Анат.оз.}} + F_{\text{Хут.лим.}} + F_{\text{Ран.оз.}} + F_{\text{Чаб.лим.}}, \quad (10.3)$$

де $F_{II,\text{кр.}}$ – площа водної поверхні II частини лиману при $Z = 0$ м, млн. м², (рис. 10.4);

$F_{\text{Мар.оз.}}$, $F_{\text{Кеф.лим.}}$, $F_{\text{Анат.оз.}}$, $F_{\text{Хут.лим.}}$, $F_{\text{Ран.оз.}}$, $F_{\text{Чаб.лим.}}$ – відповідно площі водних поверхонь Мар'янівського озера, гирлової ділянки балки без назви, утвореної злиттям балок Кефалевої та Отаманської, для якої прийнята назва «Кефалевий лиман», Анатолівського озера, Хуторського лиману, Ранжевого озера, гирлової ділянки балки Чабан'я, для якої прийнята назва «Чабанський лиман» (табл. 10.3), млн. м².

Площа III частини лиману F_{III} (млн. м²) при рівнях води вищих за відмітку мінус 0,4 мБС:

$$F_{III} = F_{III,\text{кр.}} + F_{\text{Цар.лим.}} + F_{\text{Шир.оз.}} + F_{\text{Корд.оз.}}, \quad (10.4)$$

де $F_{\text{III,кр.}}$ – площа водної поверхні III частини лиману при рівні води мінус 0,4 мБС ($Z = 0$ м), млн. м², (рис. 10.5);

$F_{\text{Цар.лим.}}$, $F_{\text{Шир.оз.}}$, $F_{\text{Корд.оз.}}$ – відповідно площі водних поверхонь Царезького лиману та гирлової ділянки річки Царега, Широкинського озера, Кордонського озера (табл. 10.3), млн. м².

Площа IV-ї частини лиману F_{IV} при рівнях води вищих за відмітку мінус 0,4 мБС:

$$F_{\text{IV}} = F_{\text{IV,кр.}} + F_{\text{верх.Т.л.}} + F_{\text{верх.Б.л.}} + F_{\text{Прог.зат.-оз.}}, \quad (10.5)$$

де $F_{\text{IV,кр.}}$ – площа водної поверхні IV-ї частини лиману при $Z = 0$ м, млн. м², (рис. 10.6);

$F_{\text{верх.Т.л.}}$, $F_{\text{верх.Б.л.}}$, $F_{\text{Прог.зат.-оз.}}$ – відповідно площі водних поверхонь плавневої ділянки р. Тилігул та верхів'я Тилігульського лиману, плавневої ділянки р. Балай та верхів'я Балайського лиману, Прогресівської затоки-озера (табл. 10.3), млн. м².

Площа водної поверхні всього лиману F , млн. м², при рівнях води, вищих за відмітку мінус 0,4 мБС, визначається як сума площ окремих його частин.

З використанням уточнених значень F_i площ водних поверхонь чотирьох частин Тилігульського лиману та з урахуванням того, що при рівнях води, вищих за відмітку мінус 0,40 мБС, ці площі майже не змінюються, об'єми води W_i (млн. м³) відповідних частин обчислюються за рівнянням

$$W_i = W_{i,\text{кр}} + F_i (\zeta_i + 0,40), \quad (10.6)$$

де ζ_i – відмітка поверхні води i -ї частини лиману, мБС;

$W_{i,\text{кр}}$ – об'єм води i -ї частини лиману при рівні води мінус 0,4 мБС ($Z = 0$ м);

F_i – площа водної поверхні i -ї частини лиману, визначена за рівняннями (10.2)-(10.5), млн. м².

Об'єм води (наповнення) всього лиману W_T , млн. м³, при рівнях води вищих за відмітку мінус 0,4 мБС, визначається як

$$W_T = \sum_{i=I}^{IV} W_i, \quad (10.7)$$

де W_i – об'єми кожної з чотирьох частин лиману, визначені за формулою (10.6).

За даними батиметричних зйомок також були побудовані профілі дна проток (рис. 10.8-10.10) між різними частинами лиману, а саме: Калинівської протоки – між IV та III частинами; Кордонської протоки – між III та II частинами; Чілової протоки – між II та I частинами.

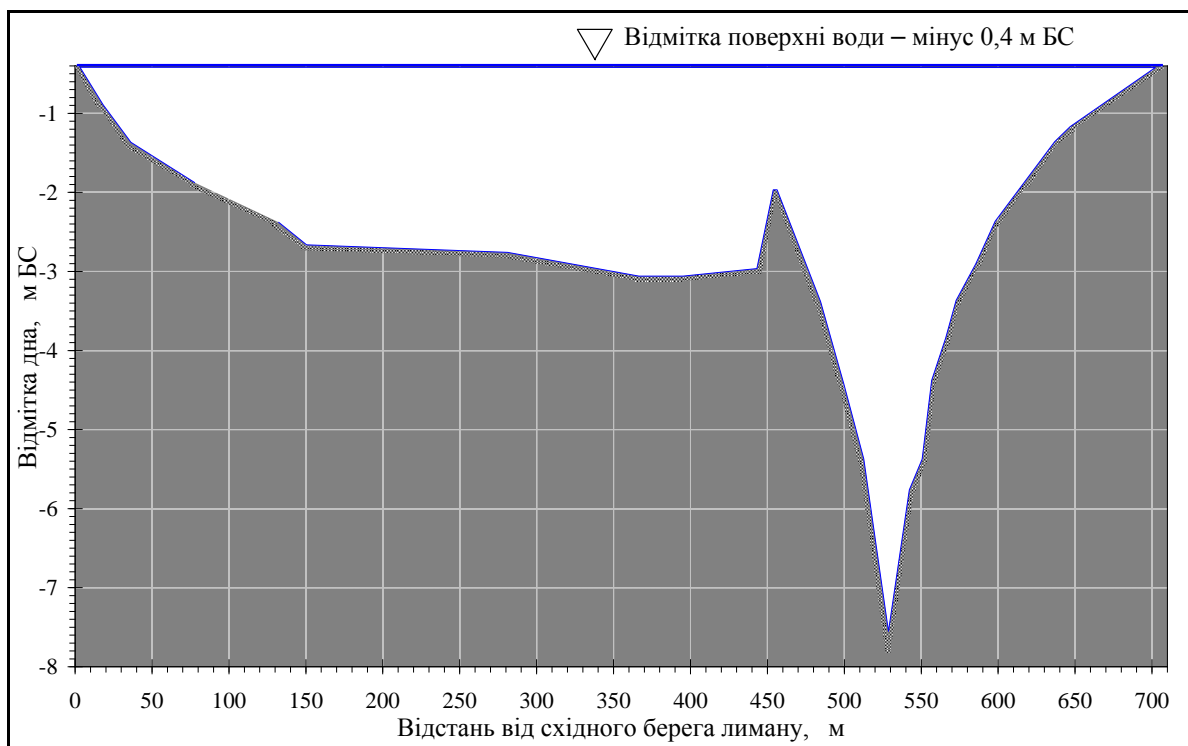


Рис. 10.8. Поперечний профіль дна Калинівської протоки [2]

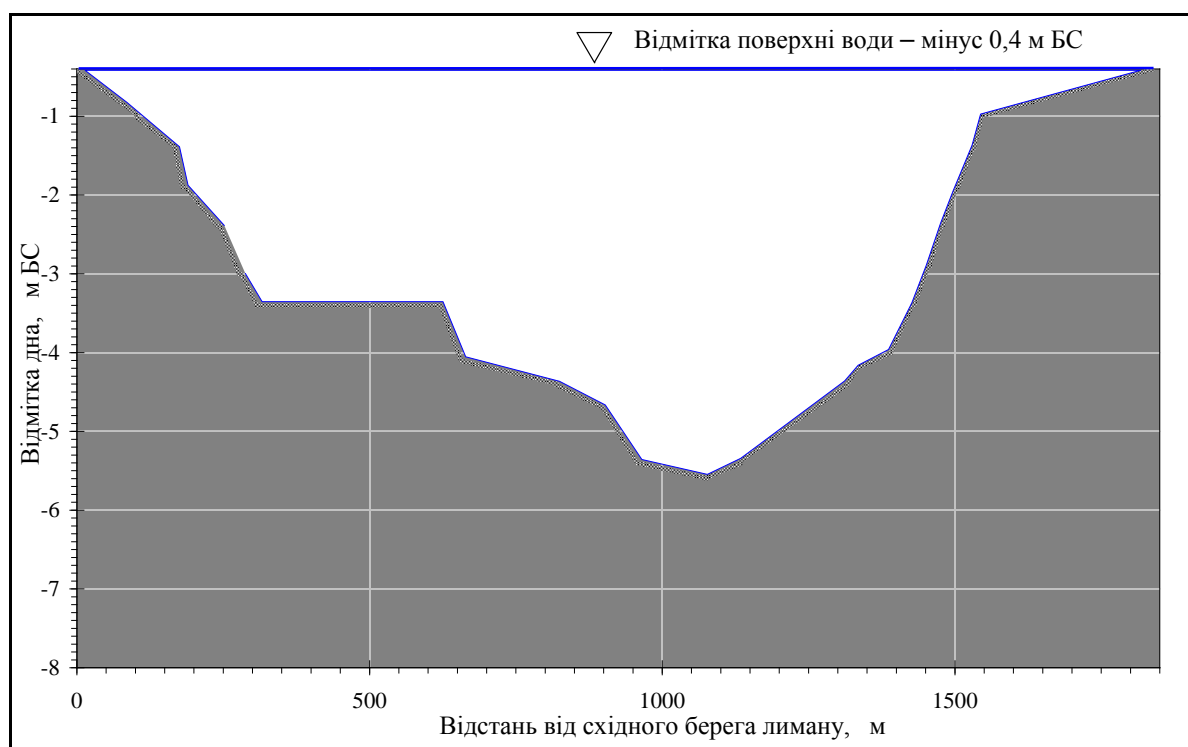


Рис. 10.9. Поперечний профіль дна Кордонської протоки [2]

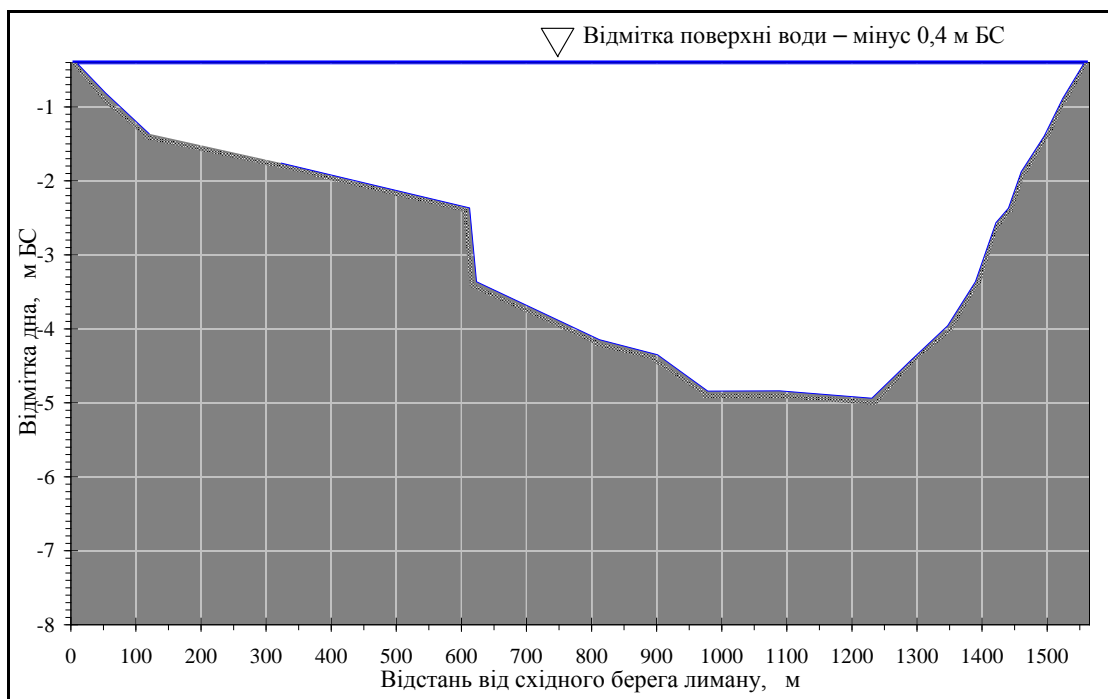


Рис. 10.10. Поперечний профіль дна Чілової протоки [2]

Встановлено, що максимальна глибина Чілової протоки (рис. 10.10) при відмітці води в лимані мінус 0,4 мБС становить лише 5,0 м, хоча середні глибини I та II частин лиману, які вона з'єднує, відповідно дорівнюють 7,1 та 7,9 м, а найбільші – 22,2 та 16,4 м (табл. 10.2). Ця особливість пояснюється тим, що Чілова протока знаходиться в створі Чілової коси на східному березі лиману, формування якої почалося ще в XIX ст. (рис. 10.11) та імовірно завершиться суцільним пересипом між I та II частинами лиману. Таке припущення частково підтверджується даними батиметричної карти цієї ділянки лиману за 2004 р., де максимальні глибини Чілової протоки становлять більше 10 м [16].

Максимальна глибина Калинівської протоки (рис. 10.8) при рівні води мінус 0,4 мБС становить 7,4 м, утворюючи «яму», оскільки середні глибини III та IV частин лиману, які вона з'єднує, дорівнюють 3,4 та 1,8 м, а найбільші – 5,3 та 3,7 м (табл. 10.2). Одним з варіантів виникнення цієї «ями» (за даними опитувань мешканців с. Калинівка) є вибух бомби в місці дамби (або пересипу) через Калинівську протоку під час II Світової війни. На користь цієї версії свідчать топографічна карта за 1869 р. [18] (рис. 10.12) та дані німецьких військових карт періоду війни [19], на яких Калинівської протоки не було, а в місці між с.Прогресівка та с.Калинівка була дамба з автомобільною дорогою, що відокремлювала IV частину Тилігульського лиману від іншої акваторії водойми.

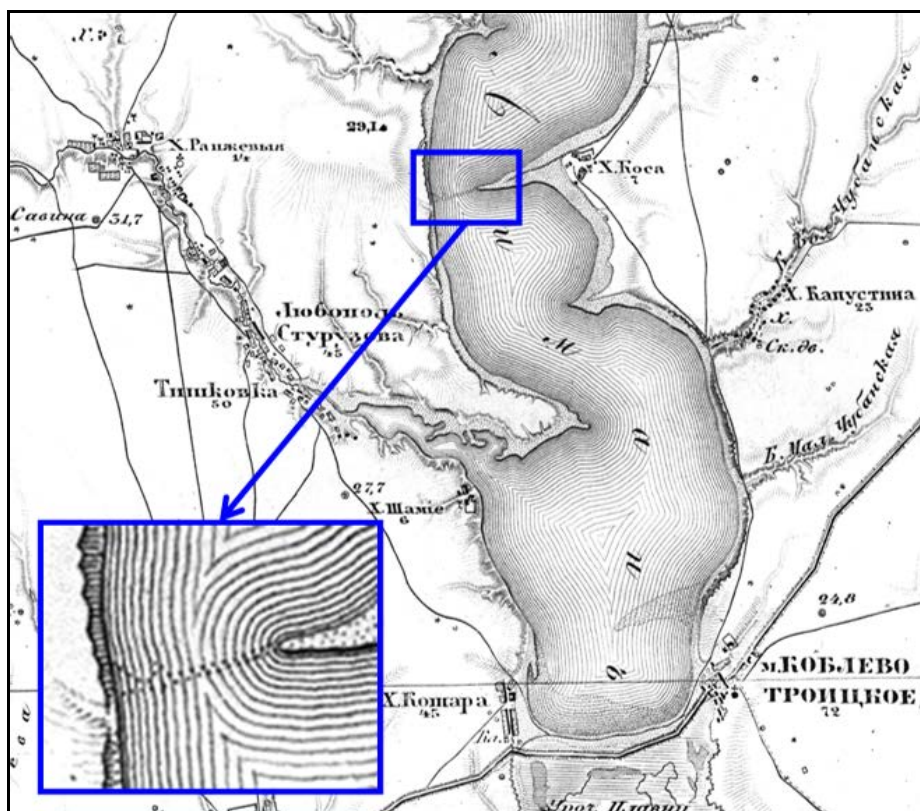


Рис. 10.11. Фрагмент карти ділянки Тилігульського лиману за 1869 р. [18] з Чіловою косою, протокою та підводною грядюю (збільшений фрагмент)

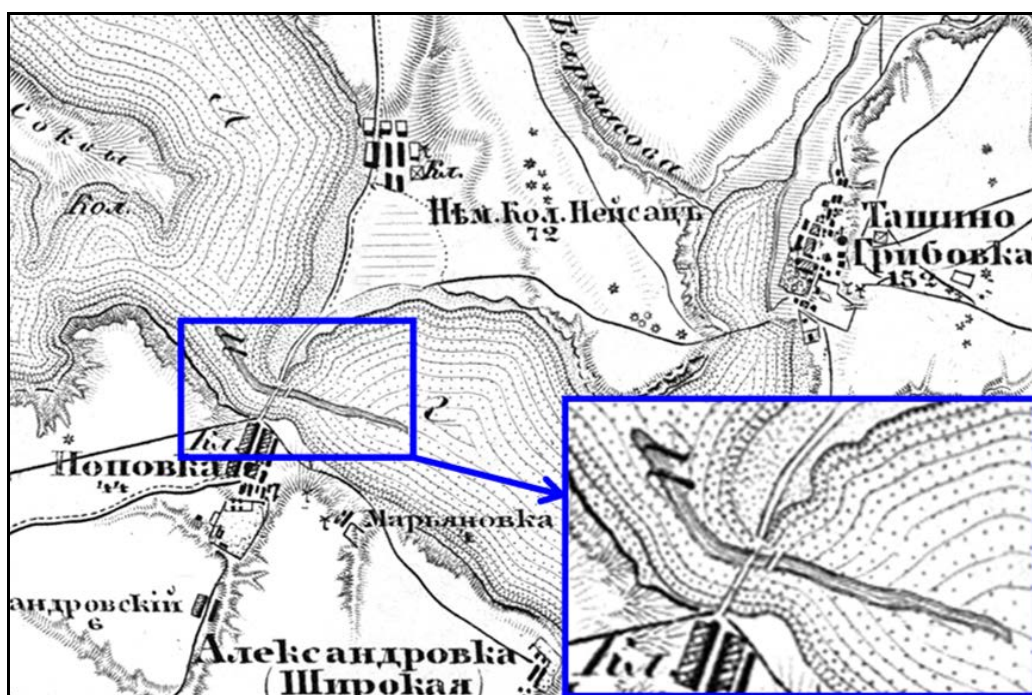


Рис. 10.12. Фрагмент карти верхів'я Тилігульського лиману за 1869 р. [18] з пересипом або дамбою в районі с. Калинівка (збільшений фрагмент)

Характерною рисою рельєфу дна лиману є наявність підводних гряд і западин (русел) вздовж берегових ліній водойми, особливо в частинах I, II лиману [1, 2]. Наприклад, на поперечному перерізі лиману в створі, спрямованому на найглибше місце водойми (рис. 10.13), видно, що на східному схилі ложа лиману налічується аж чотири гряди висотою від 1 до 8 м, які чергуються із западинами дна (до 22,2 м). Останні можливо є залишками русел древньої дельти р. Тилігул або результатом процесів формування рельєфу дна лиману в останні десятиріччя.

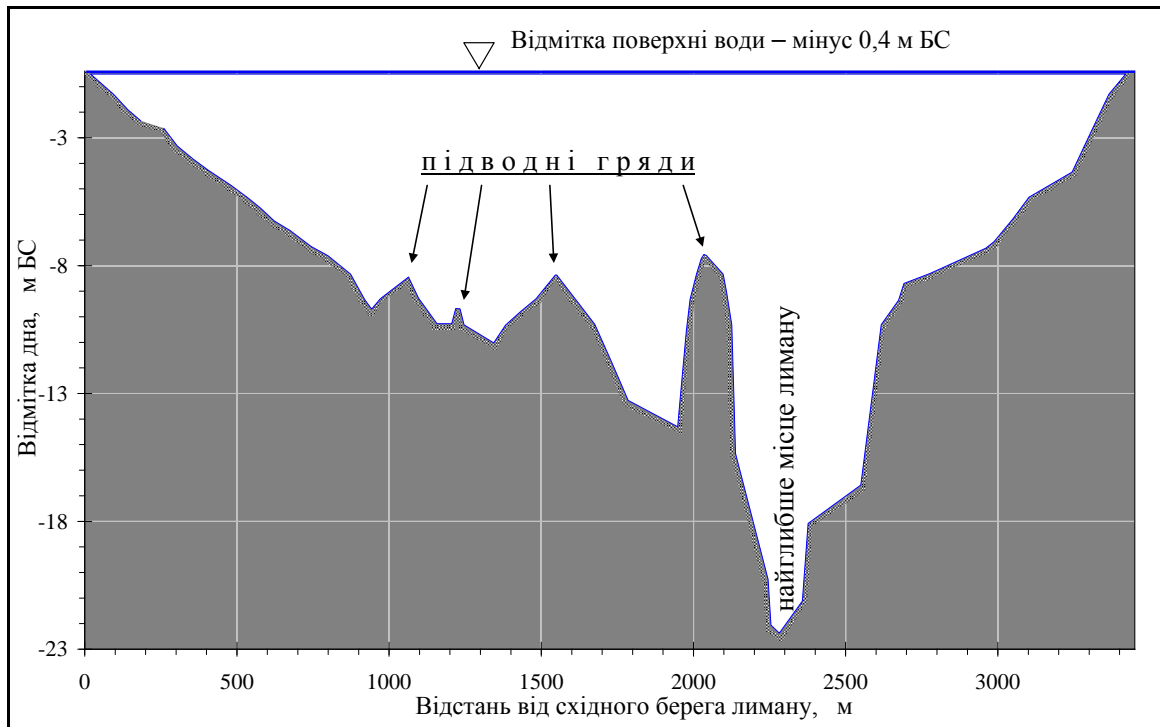


Рис. 10.13. Поперечний профіль дна Тилігульського лиману в створі від гирла балки на східному березі лиману (західніше с. Бессарабка) через найглибше місце лиману (22,2 м) до його західного берега (550 м на північний захід від надводного піка Любопільської коси) [2]

10.2 Характеристика з'єднувального каналу «лиман-море»

На фрагментах карт за 1791-1792 рр. (рис. 10.14а) [20] та 1793-1796 рр. (рис. 10.14б) [21] показано, що Тилігульський лиман («*Лиманъ Делигюльской*») в кінці XVIII ст. вільно з'єднувався з Чорним морем. Вільне з'єднання лиману з морем було до 1843 р., але вже у 1865 р. лиман був відокремлений від моря суцільним пересипом [11].

В багатоводні роки та під час штормів пересип прорізувався вимоїнами, через які відбувався водообмін лиману з морем [11].

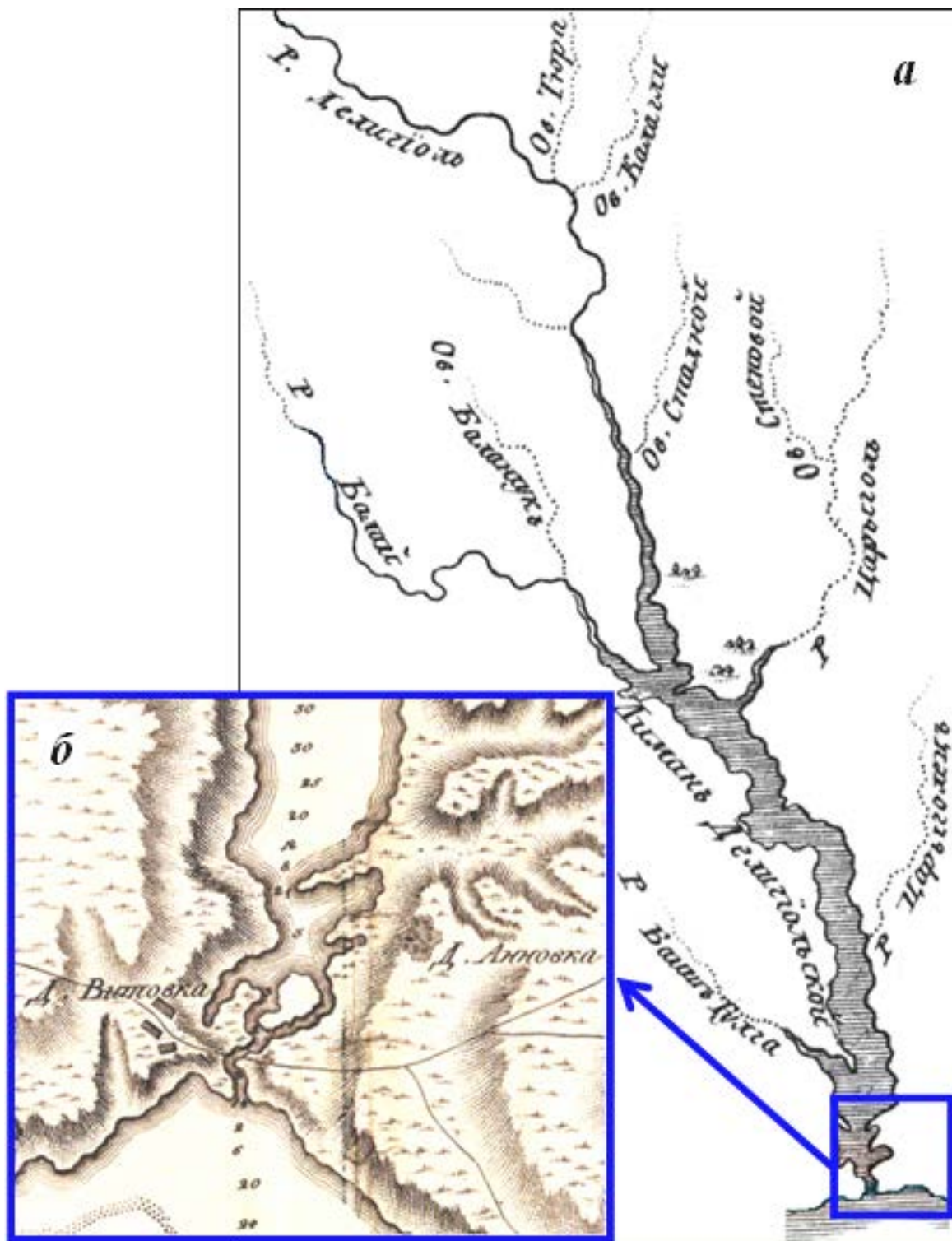


Рис. 10.14. Фрагменти гідрографічних карт басейну Тилігульського лиману за 1791-1792 рр. (а) [20] та пересипу між лиманом і Чорним морем за 1793-1796 рр. (б) [21]. Арабські цифри (з верху до низу), на фрагменті б: 30, 30, 25, 20, 12, 8, 21, 3, 3, 2, 2, 1½, 2, 6, 20, 24 – глибина в футах

У липні 1958 р. для поліпшення водообміну на пересипі був проритий штучний з'єднувальний канал [17] (рис. 10.15) довжиною до 4 км, шириною 30 м та глибиною 3 м [11], на якому було встановлено залізобетонний шлюз [6, 11, 12].

Офіційних даних про режим функціонування або експлуатації каналу (наприклад, періоди, коли шлюз був відкритий; напрямки і швидкості течії, витрати, рівні та солоність води; морфометричні характеристики каналу при різних відмітках рівня води тощо) немає.

Загальні відомості про функціонування каналу опубліковані лише в деяких наукових виданнях [11-14]. Наприклад, за даними [12] встановлено, що в період 1959-1967 рр. з'єднувальний канал функціонував у весняні й осінні місяці, тому щорічно через цей канал в Тилігульський лиман надходило приблизно 160 млн. м³ морських вод, з яких: 35-80 млн. м³ – восени, 80-125 млн. м³ – навесні.

В 1968 р. канал не функціонував, а навесні 1969 р. – в період водопілля, вода з лиману через цей канал «була скинута» в море [12]. Однак, за даними В.М. Тімченка [13, 14] «найбільш вірогідні значення» щорічних об'ємів припливу морських вод до лиману дорівнюють лише 14,0 млн. м³. Необхідно також зазначити, що дані про основні морфометричні характеристики каналу (довжину, ширину, глибину), які опубліковані в [11], не прив'язані до певної відмітки рівня води, тому потребують додаткової оцінки.

Наприклад, довжина каналу (від моря до південної межі лиману), виміряна на картах за 1987 р. [4, 6], в атласах за 2004 і 2008 рр. [16, 22] та з використанням супутникових знімків за 1995 р. [23] і 2008-2013 рр. [7, 8], становить 3,3 км. Довжину 4,0 км [11] канал буде мати лише в тому випадку, коли відмітки рівнів води в південній (І-й) частині Тилігульського лиману становлять мінус 1,0-1,5 мБС [16, 22], тобто тим рівням, які спостерігалися в лимані в січні-червні 1958 р. (до запуску морських вод) [17].

У зв'язку з тим, що на топографічних картах [2, 6] і в атласах [16, 22] інформація про глибину каналу відсутня, для встановлення значень рівнів води в лимані, при яких глибина каналу в 70-х рр. ХХ ст. дорівнювала 3 м [11], були виконані додаткові дослідження, результати яких наведені нижче.

Якщо допустити, що глибина 3,0 м є максимальною глибиною каналу при середньому багаторічному рівні води мінус 0,4 мБС (в 50-60-х рр. ХХ ст.), а русло каналу мало гідравлічно-вигідний трапецеїдальний профіль поперечного перерізу шириною 30 м по поверхні води та 24 м по дну, то площа перерізу каналу дорівнюватиме 81 м².

При довжині каналу 3300 м, об'єм його русла на початку експлуатації (в липні 1958 р.) при відмітці рівня води мінус 0,4 мБС, дорівнював 0,267 млн. м³.



Рис. 10.15. Фотознімок пересипу між Тилігульським лиманом і Чорним морем [24]

За період з 1970 по 2002 рр. відомості про морфометричні характеристики з'єднувального каналу відсутні. У 2005 р. були опубліковані дані про площі поперечного перерізу та середні глибини каналу при різних відмітках рівня води у 2003-2004 рр. [15]. На основі цих даних визначені зв'язки основних морфометричних характеристик каналу в створі автомобільного моста з рівнями води в каналі з боку лиману [9]

$$w_{\text{кан}} = 23,61 \zeta_{\text{кан}} + 37,96, \quad (10.8)$$

$$h_{\text{кан}} = 0,59 \zeta_{\text{кан}} + 1,52, \quad (10.9)$$

$$B_{\text{кан}} = 6,65 \cdot \zeta_{\text{кан}} + 24,77, \quad (10.10)$$

де $\zeta_{\text{кан}}$ – відмітки рівнів води в каналі з сторони лиману, від плюс 0,08 до мінус 2,58 мБС;

$w_{\text{кан}}$ – площа водного перерізу каналу з боку лиману, м²;

$h_{\text{кан}}$ – середня глибина в каналі з боку лиману, м;

$B_{\text{кан}}$ – ширина каналу по поверхні води з боку лиману, м.

За рівнянням (10.8) визначено, що при відмітці рівня води мінус 0,4 мБС, площа поперечного перерізу каналу дорівнюватиме 28,52 м². Отже, при довжині каналу 3300 м, об'єм русла каналу в кінці 2003 р. дорівнював 0,094 млн. м³. Таким чином, встановлено, що за 45 років функціонування каналу (1958-2003 рр.) об'єм русла при $\zeta_{\text{кан}} = -0,4$ мБС зменшився на 0,173 млн. м³, що пов'язано з осадженням на дно русла каналу завислих речовин (пісок, намул).

З карти 1982 р. масштабу 1:100000 (лист L-36-051 [4]) витікає, що на той час шлюзу на каналі з боку моря вже не було. В середньому за період з 1958 по 2003 рр. основні морфометричні характеристики каналу щорічно зменшувались: площа поперечного перерізу – на $\approx 1,67$ м²; середня глибина – на $\approx 0,03$ м; ширина – на $\approx 0,18$ м. Ця інформація була використана для визначення об'ємів припливу-стоку вод через з'єднувальний канал при моделюванні водно-сольового балансу Тилігульського лиману.

З червня 2001 р. епізодичні спостереження за режимом функціонування з'єднувального каналу між Тилігульським лиманом і Чорним морем здійснюються науковцями ОФ ІБПМ НАН України та ОДЕКУ МОН України [9, 15]. Додатково для визначення стану з'єднання каналу з морем використовувались супутникові знімки [7, 23] та програма Google Earth [8].

Всього за період з червня 2001 р. по вересень 2012 р. здійснено більш ніж 50 спостережень за станом з'єднання каналу з морем, рівнями води в каналі з боку лиману на водомірному посту під мостом

автомобільного шляху «Одеса-Миколаїв», основними морфометричними характеристиками каналу (площами поперечного перерізу, глибиною та шириною), напрямком і швидкістю течії в каналі, витратами води, умовами водообміну каналу з водоймами пересипу, солоністю води. Майже половина цих спостережень виконана в той час, коли канал з'єднувався з морем (переважно з квітня по червень). З них лише в п'ятій частині вимірювань були випадки, коли вода рухалась з лиману в море.

забезпечення інформацією різних галузей господарської діяльності за впливу екстремальних атмосферних явищ: звіт про НДР (заключний)/ Одеський держ. екол. ун-т; керівник роботи С.М. Степаненко. – Одеса, 2012. – ДОН № 0213U003164. – 433с.

8. *Оцінка можливих змін гідроекологічного режиму Куяльницького лиману під впливом кліматичних змін: звіт про НДР (заключний)/ Одеський держ. екол. ун-т; керівник роботи Н.С. Лобода. – Одеса, 2012. – ДР № 0112U007607. – 147с.*
9. *Дж. К. Родда. Грани гидрологии: Монография. – Л.: Гидрометеиздат, Т.2. -1987. – 534с.*
10. *Мусієнко М.М., Серебряков В.В., Брайон О.В. Екологія. Охорона природи: словник – довідник. –К.:Т-во Знання, КОО, 2002. –550 с.*

До розділу 10

1. *Комплексне управління водними ресурсами Тилігульського 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 Тилігульського лиману та їх особливості // Вісник Одеського державного екологічного університету.– Одеса: ТЕС, 2014. – Вип. 17.– С.185-196.*
3. *Паспорт р. Тилигул. – Одесса: Укрюжгипроводхоз, 1994. – 148 с.*
4. *Карты 1:100000. Генеральный штаб. СССР. УССР. Одесская область. – М.: ГУГК при СМ СССР, 1987. – Листы: L-36-38 (Петровка), L-36-39 (Березанка), L-36-51 (Сычавка).*
5. *Карта 1:100000. Генеральный штаб. УССР. Одесская и Николаевская области. – 1964. – Лист L-36-26 (Березовка).*
6. *Карты 1:50000. Генеральный штаб. СССР. УССР. Одесская область. – М.: ГУГК при СМ СССР, 1987. – Листы: L-36-38-Б (Петровка), L-36-39-А (Краснополье), L-36-39-В (Анатолевка), L-36-51-А (Сычавка).*
7. *Супутникові знімки та карти поверхні Землі [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://maps.google.com>.*
8. *Сайт програми Google Earth [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.google.com/intl/uk/earth/index.html>.*
9. *Оцінка та розрахунок гідравліко-морфометричних характеристик водообміну в системі «Тилігульський 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.*

10. *Актуальные проблемы лиманов северо-западного Причерноморья: Монография* / Под ред. Тучковенко Ю.С., Гопченко Г.Д.; Одесский государственный экологический университет. – Одесса: ТЭС, 2011. – 224 с.
11. *Ресурсы поверхностных вод СССР. Западная Украина и Молдавия.* – Л.: Гидрометеиздат, 1969. – Т. 6. – Вып. 1. – 714 с.
12. *Розенгурт М.Ш.* Гидрология и перспективы реконструкции природных ресурсов Одесских лиманов. – К.: Наук. думка, 1974. – 225 с.
13. *Тимченко В.М.* Эколого-гидрологические исследования водоемов Северо-Западного Причерноморья. – К.: Наук. думка, 1990. – 240 с.
14. *Тимченко В.М.* Экологическая гидрология водоёмов Украины: Монография. – К.: Наук. думка, 2006. – 384 с.
15. *Адобовский В.В., Большаков В.Н.* Влияние климатических факторов на водообмен Тилигульского лимана с морем // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа: Сб. науч. тр. – Севастополь, 2005. – Вып. 12. – С. 70-75.
16. *Черноморское побережье от Южного до Очакова* (Тилигульский и Березанский лиманы): Атлас (масштаб 1:50000). – К.: Киевская военно-картографическая фабрика, 2004. – 12 с.
17. *Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши, 1936-2011 гг.* – Ч. 1 и 2. – Том 2. – Вып. 1. – 1938-2012.
18. *Шуберт Ф.Ф., Тучков П.А.* Военно-топографическая карта Российской Империи. – Ряд XXX. – Лист 9 (Херсонская губерния). – 1869 год [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.etomesto.ru/map/online/shubert/30/map/30-9-1.png>.
19. *Deutsche Heereskarte. Maßstab 1:50000. L-36-39-A Taschino.* – 1943 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.wwii-photos-maps.com/prewarmapsl36-1-50000/L-36-36-A%20%20-%20%20L-36-41-D/slides/1-36-39-A.html>.
20. *Карта новоприобретенной области от Порты Оттоманской и присоединенной к Екатеринославскому наместничеству за 1791-1792 годы.* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://kaiser-w.livejournal.com>.
21. *Гидрографическая карта северных берегов Черного моря, означающая ныне состоящую границу между устьями рек Днепра и Днестра, на коей показана глубина, отмели и фарватер; в пользу судоходства по Днепру, Бугу, Днестру и вдоль по берегам моря, с показанием способа как иметь коммуникацию по Черному морю с городами и портами: Херсоном, Николаевым, Очаковым, Одессою и Овидиополем. Снята и промерена Черноморского гребного флота и инженерного корпуса офицерами, находящимися при строении крепостей южной границы*

- по повелению Вице-адмирала и Кавалера де Рибаса. – 1793-1796 (приблизительно) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://leb.nlr.ru/edoc/262181>.
22. *Черноморское побережье*: Атлас (масштаб 1:50000). – К.: Киевская военно-картографическая фабрика, 2008. – 72 с.
 23. *Космічний знімок території пересипу між Тилігульським лиманом і Чорним морем за 1995 рік* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://maps.vlasenko.net/?lon=31.20&lat=46.64>.
 24. *Фотознімок пересипу Тилігульського лиману* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.photographers.com.ua/thumbnails/pictures/14434/800xpano-tiligul-img_0917.jpg.

До розділу II

1. *Розенгурт М.Ш.* Гидрология и перспективы реконструкции природных ресурсов Одесских лиманов. – Киев: Наукова думка, 1974. – 224 с.
2. *Тимченко В.М.* Эколого-гидрологические исследования водоемов северо-западного Причерноморья. – Киев: Наукова думка, 1990. – 238 с.
3. *Лиманы Северного Причерноморья* / Полищук В.С., Замбриборщ Ф.С., Тимченко В.М. и др.; Отв. ред. Миронов О.Г. ; Ин-т гидробиологии АН УССР. – Киев: Наукова думка, 1990. – 204 с.
4. *Фельзенбаум А.И.* Теоретические основы и методы расчета установившихся морских течений: Монография – М.: Изд-во АН СССР, 1960. – 122 с.
5. *Hess K.W.* MECCA Programs documentation: Technical Report / NOAA. – NESDIS 46. – Washington, D.C., 1989. – 97 p.
6. *Тучковенко Ю.С., Адобовский В.В., Тучковенко О.А., Гриб О.Н.* Современный гидрологический режим и динамика вод Тилигульского лимана // *Український гідрометеорологічний журнал. – Одеса: Екологія*, 2011. – № 9. – С. 192 - 209.
7. *Актуальные проблемы лиманов северо-западного Причерноморья*: Монография / Под ред. Тучковенко Ю.С., Гопченко Г.Д.; Одесский государственный экологический университет. – Одесса: ТЭС, 2011. – 224 с.
8. *Deltares, 2014.* Delft3D-FLOW, вихідний код [Электронный ресурс] // Співтовариство користувачів відкритого програмного забезпечення Delft3D. URL: <http://oss.deltares.nl/web/delft3d/source-code> (дата розміщення 25.04.2014).
9. *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 p.