УДК 504.4.062.2:628.161(477.73)

КЛИМЕНКО Л.П., ДОБРОВОЛЬСЬКИЙ В.В., ДИХТА Л.М., АНДРЄЄВ В.І., ВОСКОБОЙНІКОВА Н.О., КАРАМАН Н.Ю.,
Чорноморский державний університет ім. Петра Могили, м. Миколаїв

МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ РОЗРОБКИ ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ ПРОЦЕСІВ ВОДОСПОЖИВАННЯ ТА ВОДОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕРИТОРІЇ ОСТРОВА ЗМІЇНИЙ

У процесі розробки імітаційної математичної моделі процесу опріснення води з використанням вітрогеліоресурсів острову Зміїний проведено апроксимацію експериментальних та статистичних метеоданих, розроблено матеріальний та енергетичний баланс водозабезпечення острову Зміїний, розроблено алгоритм комплексної системи водозабезпечення острову Зміїний, математичне моделювання процесів опріснення морської води та конденсування вологи повітря, техніко-економічний аналіз існуючих конструкцій систем прісного водозабезпечення.

In the course of working out the simulation mathematical model of the process of desalinating of water with the use of Zmeiny Island's wind and gelio resources, the approximation of experimental and statistic meteodata was done. Material and energetic balance of Zmeiny Island's water supply was worked out. The algorithm of the complex system of the Island's water supply was created and mathematical modeling of the process of sea water desalination and air moisture condensing was produced. Technical and economic analyses of existing constructions of the fresh water supply systems was done.

Нерівномірність розподілу прісної води по регіонах планети, у тому числі в межах острівних територій, зростаючий обсяг споживання прісної води промисловим та аграрним виробництвами, також комунально-побутовою сферою на фоні безперервного зниження якості природних вод внаслідок їх антропогенного забруднення ставлять забезпечення населення планети якісною питною водою в ряд найважливіших соціально-економічних проблем світового співтовариства [1]. Одним з практично можливих шляхів отримання води, особливо для локального водопостачання і забезпечення питною водою острівних територій з рекреаційною спрямованістю використання – о. Зміїний, є комплексне використання різноманітних технологій очистки та опріснення природних, у тому числі й морських, вод.

Острів Зміїний (рум. Insula Şerpilor) – розташований у північно-західній частині Чорного моря на відстані 20 миль від гирла р. Дунаю та 80 миль від м. Одеса. Площа острова – 16,0 га, максимальна висота над рівнем моря – 41,3 м, найбільша довжина – 615 м, ширина – 560 м. Острів має хрестоподібну форму. Давні породи острову Зміїний і сучасні морські донні відкладення є основою (субстратом), котрий формує та багато в чому визначає стан і розвиток сучасних екосистем острову й прилеглої акваторії. Ґрунт острову скельний, вода – зі свердловини та, в основному, привізна.

У 2002 році Кабінет Міністрів України затвердив програму господарської діяльності на о. Зміїний, у рамках якої на острові споруджено причал для суден, хвилеріз, кілька господарських

споруд, висаджено дерева. Споруджуються причал для малотоннажного флоту та містечко для проживання 50-150 осіб – прикордонників, науковців, технічного персоналу маяка, туристів та дайверів, з можливим утриманням свійських тварин та птиці. Планується відкриття літнього туристичного та пірнального центрів, й налагодження регулярного судноплавного сполучення з м. Кілія.

В основу створення імітаційної математичної моделі процесів водоспоживання та водозабезпечення відокремленої острівної території покладено метод енерго-речовинної збалансованості у вигляді рівнянь (1), (2), (3):

$$\int_{\tau_1}^{\tau_2} \frac{dW_{сп}}{d\tau} d\tau = \int_{\tau_1}^{\tau_2} \frac{dW_{пр}}{d\tau} d\tau + \int_{\tau_1}^{\tau_2} \frac{dW_{шт}}{d\tau} d\tau; \quad (1)$$

$$\int_{\tau_1}^{\tau_2} \frac{dE_{сп}}{d\tau} d\tau = \int_{\tau_1}^{\tau_2} \frac{dE_{пр}}{d\tau} d\tau + \int_{\tau_1}^{\tau_2} \frac{dE_{шт}}{d\tau} d\tau \quad (2)$$

$$E_{сп} = f(W_{сп}), \quad (3)$$

де: W – кількість води, E – кількість енергії, τ – час, індекси “сп”, “пр”, “шт” – спожитий, природний, штучний відповідно.

Рівняння (1) є базовим для вирішення поставленої в роботі задачі – забезпечення острова водою за будь-яких умов його функціонування. Рівняння (2) і (3) містять умови енергетичного забезпечення водопостачання. Додатковою умовою є мінімізація витрат енергії ($E_{шт} \to 0$).

1. Кількість спожитої води $W_{сп}$ залежить від числа споживачів і їхніх вимог що до якості і кількості води в певний період часу. У якості споживачів води на острові виступають люди, свійські тварини, культурні рослини, а також техніка та технології.

Потреби людини у воді $W_{спл}$ складаються з фізіологічно-необхідного мінімуму $W_{фм}$ і так званих комфортних витрат $W_{ком}$, що, у свою чергу, є залежними від багатьох факторів.

$$W_{фм} = W_{пит} + W_{сан}, \quad (4)$$

де: $W_{пит}$ – кількість питної (харчової) води, $W_{сан}$ – кількість санітарної води, що використовується повсякденно для вмивання людини і миття посуду.

$$W_{ком} = W_{душ} + W_{ту} + W_{пр}, \quad (5)$$

де: $W_{душ}$ – кількість санітарної води, що використовується в душі чи у ванні; $W_{ту}$ – кількість санітарної води, що використовується в туалеті; $W_{пр}$ – кількість санітарної води, що використовується для прання одягу.

Загальне водоспоживання людьми на острові $W_{лз}$ залежить від числа і категорії острів’ян, які можуть бути такими:

– постійно (чи вахтово) проживаючі працівники і члени їх родин загальною кількістю $У_п$ (осіб);
– науковці і члени короткочасних (декілька діб) експедицій ($У_н$);
– туристи однодобових екскурсій ($У_т$).

$$W_{лз} = W_{фм} \sum_{1}^{i} У_i * \tau_i + W_{ком}(У_п * \tau_п + У_н * \tau_н), \quad (6)$$

де: τ – число днів (діб) перебування на острові людини певної категорії.

Витрати води на утримання домашніх тварин розраховуються в загальному випадку наступним чином:

$$\begin{aligned} W_{сптв} = {} & У_{врх} * m_{врх} * \tau_{врх} + \\ & + У_{мрх} * m_{мрх} * \tau_{мрх} + У_{птх} * m_{птх} * \tau_{птх} + \\ & + У_{соб} * m_{соб} * \tau_{соб} + У_{кіш} * m_{кіш} * \tau_{кіш}, \end{aligned} \quad (7)$$

де: У – кількість тварин певного виду; m – водоспоживання твариною; τ – час утримання тварини протягом року, врх, мрх, птх, соб, кіш – велика рогата худоба, мала рогата худоба, птахи, собаки, кішки відповідно.

Витрати води на полив рослин дорівнюються:

$$W_{рос} = \sum_{1}^{z} У_{рос_i} * m_{рос_i} * t_{рос_i}, \quad (8)$$

де: $У_{рос_i}$ – число рослин і-го типу; $m_{рос_i}$ – кількість води на один полив рослини і-го типу; $t_{рос_i}$ – кількість поливів рослини і-го типу за сезон; z – число типів рослин.

Витрати води на обслуговування техніки та технологічні процеси (будівництво, ремонт, прибирання приміщень і території тощо).

$$W_{тех} = \sum_{1}^{z} У_{тех_i} * m_{тех_i} * t_{тех_i}, \quad (9)$$

$У_{тех_i}$ – число одиниць техніки чи технологічних операцій і-го типу;

$m_{тех_i}$ – кількість води на одну одиницю техніки чи технологічну операцію і-го типу;

$t_{тех_i}$ – кількість водовитрат (заправок) з кожного типу;

z – число технічних споживачів води.

2. Задоволення потреб у воді на острові здійснюється за рахунок природних джерел та штучного вироблення. Природними джерелами є, перш за все, морська вода, що омиває острів, атмосферні опади і ґрунтові води.

Морська вода, що омиває острів, знаходиться під значним впливом стоку ріки Дунай. Тому в залежності від напрямку, швидкості та постійності вітру біля острова спостерігаються відчутні коливання фізико-хімічних показників води (табл. 1).

Таблиця 1

Показники води [4, 5]

Показник води	Вплив на чинник дунайських вод	
	Незначний	Значний
Прозорість (м)	6,0±0,1	2,4±0,2
Кольоровість (бали)	6±1	16±1
Засоленість (‰)	16,5±0,5	15,5±0,5

Слід зауважити, що солоність води біля острова відчутно менша, ніж на морському просторі – 18,0-18,3 ‰ [2,3]. Водневий показник pH біля острова коливався у поверхневому шарі води від 6,4 до 8,6 та від 7,8 до 8,4 – в придонному шарі [4].

Для добування підземних вод на території острова Зміїний пробурені 4 свердловини, з них тільки одна оснащена установкою очищення води до рівня питної. Дебет цієї свердловини складає 3 м³ на годину. Вода із свердловин використовується для технічних потреб, оскільки вміст нітратів та нітритів у ній перевищує ГДК у кілька разів. Отже, використання підземних вод острова з метою водозабезпечення можливе лише після їх попереднього очищення.

Атмосферні опади над островом формуються внаслідок впливу атмосферних рухів як з материка, так і з морської акваторії, а також під дією специфічних островних процесів. У літературних джерелах, зокрема в [6], відмічаються наступні особливості:

– недостатнє атмосферне зволоження (у середньому за рік випадає всього 213 мм опадів) та сильні, а часом й штормові вітри протягом більшої частини року. На поверхню острова аеральним шляхом постійно привносяться солі з акваторії моря та з материка;
– улітку, коли температури високі (до + 35… 40 °С), сильного впливу завдають процеси хімічного вивітрювання. Вони посилюються впливом підземних вод, що тут точаться на поверхню, і прямим впливом сонячних променів;
– середні значення опадів іонів восени 2003 р. характеризуються такими цифрами (мкг/(м^2·доба)): хлору – 19160; натрію – 7760; оксиду сірки – 2790; магнію – 1570; кальцію та оксиду азоту – по 1300;
– відносний внесок континентальних і морських джерел в опадах на поверхню острова Зміїний характеризується наступним (табл. 2):

Таблиця 2

Показники води [4, 5]

Джерела видобування води	Іони речовин									
	Cl	SO_4	Mg	Ca	NO_2	NO_3	K	NH_4	Br	PO_4
континентальні	27	37	34	74	47	99	39	98	30	88
морські	73	63	66	26	53	1	61	2	70	12

Підсумовуючи наведене, неважко зробити висновок, що не лише морську воду, а й підземні островні води та атмосферні опади не можна вживати людям у якості питної води.

3. Метою водозабезпечення острова є задоволення потреб у воді споживачів різних категорій – постійних і тимчасових мешканців, свійських тварин і рослин, техніки і технологій. Кожен із споживачів має специфічні вимоги до якості й кількості води, що повинно знайти відображення в системі водозабезпечення. У табл. 3 приведені дані про вимоги споживачів.

Таблиця 3

Вимоги до води

Споживач	Потреба	Назва води (шифр)	Вимоги	
			Кількість (л/споживач/доба)	Якість
Людина	Фізіологічна	Питна (ЛФП)	(3,0)	ДСТУ
	Фізіологічна	Санітарна (ЛФС)	посуд, душ (20,0)	
	Побутова	Санітарна (ЛПС)	туалет, прання (80,0)	
	Технічна	Санітарна (ЛТС)	вологе прибирання (10,0)	
Тварина	Фізіологічна	Питна (ТФП)	корова, кінь (190) курка, коза, вівця (10)	
	Побутова	Санітарна (ТПС)	корова, кінь	

Закінчення табл. 3

Споживач	Потреба	Назва води (шифр)	Вимоги	
			Кількість (л/споживач/доба)	Якість
Рослина	Фізіологічна	Питна (РФП)	дерево (10,0), квітник (2,0), газон (0,5)	
Техніка	Технічна Будівельна	Протипожежна (ТТП) Розчинна (ТБР)		

У табл. 4 приведені дані про умови споживання води з можливих природних джерел.

Таблиця 4

Шляхи використання води

Природне джерело води	Споживач (шифр води)		Потреба в покращенні якості води
Море	Люди	ЛФП	опріснення+обробка
		ЛФС	опріснення
		ЛПС – прання	
		ЛТС, ЛПС – туалет	природна
	Тварини ТФП: ТПС		опріснення
	Рослини РФП		опріснення
	Техніка	ТТП	природна
		ТБР	опріснення
Підземні води	Люди	ЛФП	опріснення
		ЛФС, ЛПС, ЛТС	природна
	Тварини ТФП: ТПС		природна
	Рослини РФП		природна
	Техніка ТТП, ТБР		природна
Атмосферні опади	Люди	ЛФП	обробка
		ЛФС	природна
		ЛПС	природна
		ЛТС	природна
	Тварини ТФП: ТПС		природна
	Рослини РФП		природна
	Техніка ТТП, ТБР		природна

4. Екосистема острова. Як виявлено чисельними дослідженнями [7, 8, 9, 10], острів Зміїний є також і унікальною водною екологічною системою, що пояснюється наступним:

– високою концентрацією кам'яного субстрату (площа якого дорівнює площі острова) – середовища проживання великої кількості риб, безхребетних та водоростей;
– перевага серед організмів генераторів кисню, які на інших ґрунтах майже відсутні;
– наявність фізичних, хімічних і біологічних факторів (інтенсивне вертикальне перемішування води, генерація кисню, біофільтрація, споживання детриту), що гальмують масові замори деяких організмів;
– відсутність прямого антропогенного впливу у вигляді промислу біологічних ресурсів, рекреаційного рибальства, підводного мисливства;
– наявність абіотичних і біотичних умов, що створюють притулок для рідкісних видів водних організмів.

Вказане повинно враховуватися при розширенні антропогенної діяльності на острові, у тому числі і при вирішенні питання водозабезпечення. Для оцінки загроз водній екосистемі прибережної акваторії застосуємо метод, що використано працівниками НАНУ [2]. У таблиці 5 приведена матриця еколоічних загроз при використанні острова з різними цілями. В нуль (0) балів оцінюється ситуація, що характеризується відсутністю загроз або незначною загрозою. В один (1) бал оцінюється помірна загроза, у два (2) – серйозна, у три (3) – дуже серйозна (недопустима) загроза.

$$I_в = f(E, C, П).$$

Якщо економічну складову представити витратами на водопостачання В (грн/рік), а соціальну кількість отриманої води V ($м^3$/рік), то дві перші складові повністю визначаються таким показником, як собівартість отримання води $C_в$ (грн/$м^3$). Екологічна складова може виступати як обмежувальна умова, або у вигляді екологічного ризику R. В останньому випадку

$$I_В = C_в + \frac{в}{V} \cdot R, \text{ або } I_В = \frac{В + в * R}{V},$$

де: в – коефіцієнт пропорційності (вагомості), який враховує вплив загрозливих факторів, зокрема підвищення R внаслідок збільшення V.

Використовуючи індекс $I_в$ в якості функції в системі координат $I_в$ – V легко знайти найкращий варіант водозабезпечення для будь-якого сценарію потреб у воді – ним буде такий, що матиме мінімальне значення функції цілі $I_в$.

Собівартість водозабезпечення розраховується за формулою:

$$C_В = \frac{1}{V} \cdot \left(\frac{ЦТ + ВМ + ВБ}{n} + ВЗ + ВЕ + ВР\right).$$

Тут: ЦТ – ціна водопостачальної техніки (грн); ВМ – витрати на монтажні роботи (грн); ВБ – витрати на будівельні роботи (грн); n – кількість років окупності; ВЗ – витрати на заробітну плату (грн/рік); ВЕ – витрати на енергозабезпечення (грн/рік); ВР – витрати на ремонтні роботи (грн/рік).

Щодо ризику R, то його визначають експертним шляхом, зокрема на базі даних, приведених в табл. 5.

Для використання в процесі моделювання наявних матеріалів було проведено сплайн-апроксимацію статистичних метеорологічних характеристик острову Зміїний, результати якої наведені на рисунках 1-3.

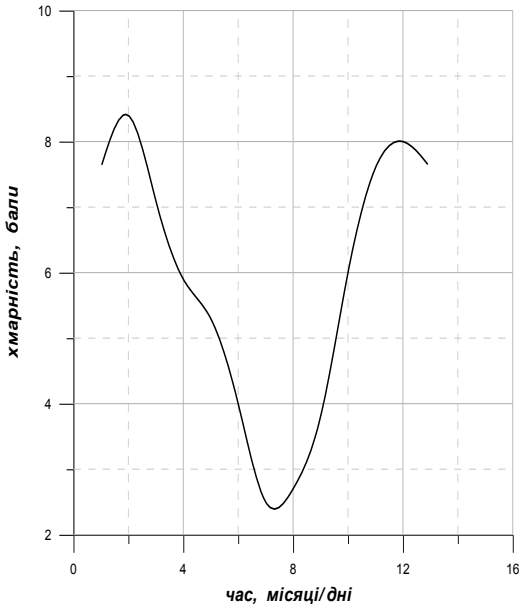

Рис. 1. Сплайн-апроксимація даних щодо температури повітря

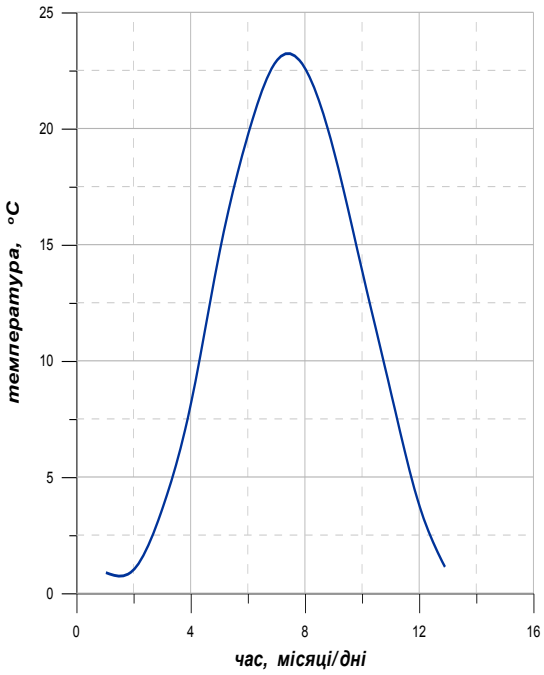

Рис. 2. Сплайн-апроксимація досліджень температури повітря

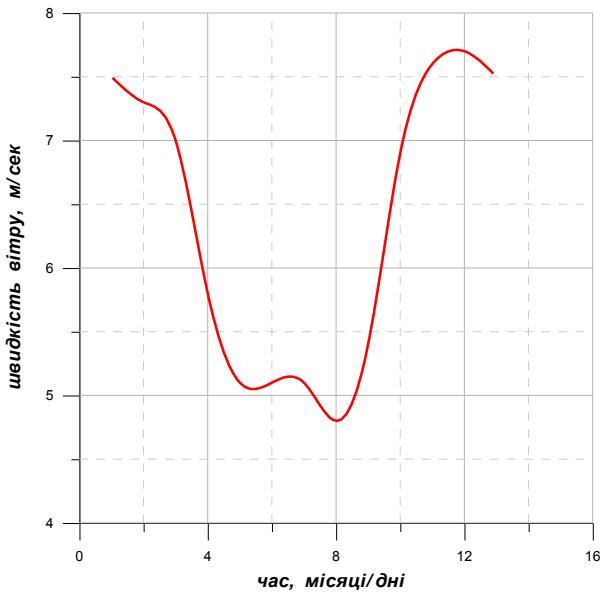

Рис. 3. Сплайн-апроксимація досліджень швидкості вітру

За результатами сплайн-апроксимації експериментальних досліджень щодо конденсування вологи повітря було створено комп'ютерну програму для розрахунку можливого обсягу вилучення вологи з атмосферного повітря. Результати розрахунків за даною програмою при температурі поверхні конденсації T_c = 5°C зображено на рис. 4.

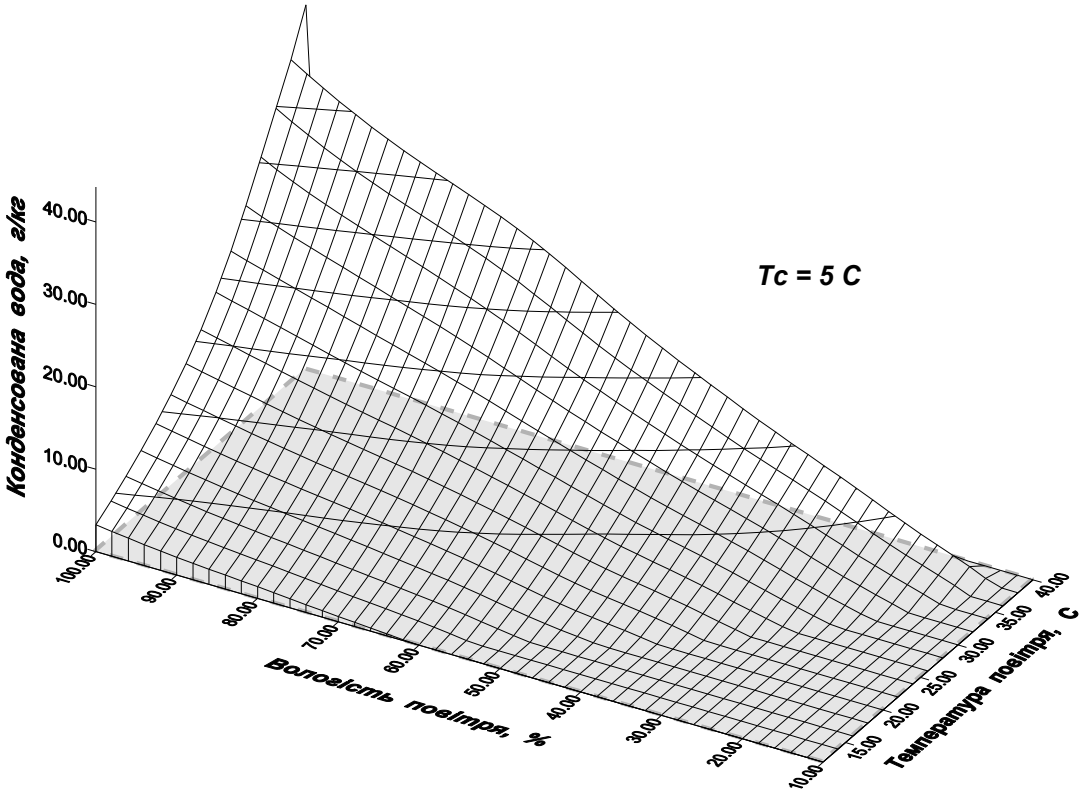

Рис. 4. Сплайн-апроксимація значень обсягу можливого вилучення атмосферної вологи

Використовуючи результати апроксимації, можна розраховувати значення обсягу вилученої атмосферної вологи в залежності від відносної вологості повітря, температури повітря та температури поверхні конденсатору.

Висновки. У процесі розробки методологічних засад імітаційної моделі процесів водоспоживання та водозабезпечення території острова Зміїний, складовою частиною котрої є математична модель процесу опріснення води з використанням вітрогеліоресурсів острова, було розглянуто широке коло питань, а саме:

1. Розроблено методику проведення досліджень при моделюванні системи прісного водозабезпечення острова Зміїний.
2. Складено матеріальний баланс потреб острова в прісній воді залежно від варіантів антропогенного навантаження (кількості населення, санітарних, господарських умов та промислової діяльності).
3. Проведено математичну апроксимацію початкових експериментальних і статистичних даних щодо природнокліматичних можливостей прісного водозабезпечення острова.
4. Негативним моментом, пов'язаним з використанням прісної води, є велика небезпека забруднення унікальної екосистеми острова Зміїний рідкими відходами людської діяльності, особливо в умовах відсутності водоочисних споруд. Цей фактор обов'язково має враховуватися при прийнятті рішень щодо розвитку інфраструктури острова Зміїний.

ЛІТЕРАТУРА

1. Клименко Л.П., Воскобойнікова Н.О. Модель енергоефективної системи теплохладопостачання будівлі за допомогою вітрогеліоустановки з використанням традиційних джерел енергії як компенсуючих. – Праці Інституту електродинаміки Національної Академії наук України. Збірник наукових праць. Спеціальний випуск. – К., 2006. – С. 24-29.
2. Степанов В.Н., Андреев В.Н. Черное море (ресурсы и проблемы). – Л.: Гидрометеоиздат, 1981. – 160 с.
3. Зайцев Ю.П. Твой друг море. – Одесса: Маяк, 1985. – 151 с.
4. Мединец В.И., Газетов Е.И., Морозов В.Н. Результаты гидролого-гирдохимических исследований // Вісник ОНУ. – Том 10. – Вип. 4. – 2005. – С. 140-143.
5. Ковалева Н.В., Газетов Е.И. Динамика бактериопланктона акватории о. Змеиный в вегетационный период // Вісник ОНУ. – Том 10. – Вип. 4. – 2005. – С. 151-157.
6. Мединец В.И. Изучение полного состава атмосферных выпадений на поверхность о. Змеиный в 2003 г. // Вісник ОНУ. – Том 10. – Вип. 4. – 2005. – С. 126-131.
7. Винникова М.А. Ихтиопланктон в о. Змеиный и в сопредельных акваториях // Вісник ОНУ. – Том 10. – Вип. 4. – 2005. – С. 222-227.
8. Полищук Л.Н. Состояние зоопланктона района о. Змеиный и приустьевого района Дуная в 2003 г. // Вісник ОНУ. – Том 10. Вип. 4. – 2005. – С. 174-184
9. Дерезнюк Н.В. Весенне-летний фитопланктон района о. Змеиный и прилегающих акваторий // Вісник ОНУ. – Том 10. Вип. 4. – 2005. – С. 159-164.
10. Зайцев Ю.П., Александров Б.Г. Значение о. Змеиный в функционировании экосистемы северо-западного шельфа Черного моря // Вісник ОНУ. – Том 10. – Випуск 4. – 2005. – С. 20-25.

Стаття надійшла до редакції 20.10.2008 р.