

Г.Б. Гуменюк¹, М.В. Макаров², О.В. Сірант³

¹ Тернопільський національний педагогічний університет, м. Тернопіль

² Інститут біології південних морів, м. Севастополь

³ Тернопільський національний економічний університет, м. Тернопіль

**ПРОГНОЗНА МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ТА ОЦІНКА ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКУ
ЗАЛЕЖНОСТІ ЧИСЕЛЬНОСТІ ПОПУЛЯЦІЇ
NASSARIUS RETICULATUS (L.) ТА СОЛОНОСТІ ВОДИ
У КУТОВІЙ ЧАСТИНІ СЕВАСТОПОЛЬСЬКОЇ БУХТИ (ЧОРНЕ МОРЕ)**

Проведено корелятивний аналіз залежності між чисельністю моллюсків *Nassarius reticulatus* (L.) і солоністю води у місцях відбору проб. Також були складені прогностні математичні моделі, за допомогою яких можна передбачити як зміниться один показник (чисельність) у разі зміни іншого (солоності).

КЛЮЧОВІ СЛОВА: *популяція, чисельність популяції, динаміка популяції, кореляція, коефіцієнт кореляції, температура води, солоність води, прогностна математична модель.*

Червоногі моллюски (Gastropoda) є однією із масових груп макрзообентосу, у тому числі в шельфовій зоні Криму. Вони зустрічаються на усіх видах субстратів, у всі сезони і на різних глибинах, як біля відкритого узбережжя, так і у бухтах.

Таксоцен Gastropoda є важливим компонентом морських біоценозів, тому виявлення реакцій Gastropoda на зміну умов навколишнього середовища є досить важливим завданням. Для цього необхідно мати інформацію про вертикальний розподіл, міграцію, сезонну динаміку, чисельність червононогих моллюсків, що живуть у прибережних зонах. Подібні дослідження у Чорному морі, у тому числі, біля берегів Криму, де за останні 25 – 50 років відбулися значні зміни у структурі прибережних біоценозів практично не проводилися.

Севастопольська бухта розташована в південно-західному Криму і має довжину з заходу на схід 7,5 км. Не дивлячись на відносно велику вивченість її фауни [1 – 6] у вершинній частині бухти, куди впадає ріка Чорна, тобто у контактній зоні «ріка-море», сезонна динаміка і чисельність окремих популяцій морських гідробіонтів досліджувалась недостатньо, за винятком [4]. Метою нашого дослідження було розробити прогностну модель та оцінити взаємозв'язок залежності чисельності популяції одного з масових видів моллюсків *Nassarius reticulatus* та солоності води на прикладі отриманих даних з кутовою частини Севастопольської бухти.

Об'єкти, матеріали і методи дослідження. З жовтня 2006 р. по грудень 2007 р. щомісячно відбирали проби макрзообентосу на чотирьох станціях, розміщених у вершинній (кутовій) частині Севастопольської бухти та усті ріки Чорна (рис. 1).



Рис. 1. Схема розміщення станцій у вершинній частині Севастопольської бухти (цифрами вказано номери станцій, стрілкою – устя р. Чорна).

Станція 1 розташована у місці впадання р. Чорна у Севастопольську бухту (в районі автомобільного моста траси Севастополь – Сімферополь).

Станція 2 – приблизно у 150 – 200 м на захід від устя р. Чорна.

Станція 3 – в 100 – 150 м північніше ст. 2 в маленькій бухточці, де водообмін і глибина (0,5 м) найменші.

Станція 4 – розміщена у 150 – 200 м на захід від ст.2.

На станціях (в дальнішому тексті – ст.) 1, 2 та 4 глибина досягала від 1,5 до 2 м. Проби брали у двох повторностях за допомогою дночерпалки Петерсена площею 0,04 м². На всіх станціях ґрунти були представлені мулами. Проби фіксували за допомогою 4 % розчину формаліну. Підраховували чисельність молюсків виду *Nassarius reticulatus*. Всього взято 104 кількісних та одну якісну пробу. Дані про поверхневу солоність води та температуру протягом періоду дослідження були надані працівниками відділу планктону Інституту біології південних морів ім. О.О. Ковалевського в м. Севастополі.

Дослідження динаміки популяції здійснювалося на прикладі популяції молюска *Nassarius reticulatus*. Повне систематичне положення: тип Mollusca, клас Gastropoda, ряд Hamiglossa Gray, родина Nassariidae Iredale, вид *Nassarius reticulatus*.

Зустрічається в основному на глибині від 0 до 30 м, рідко – до 60 м. Субстрат: в основному пісок та мул, проте інколи трапляється на кам'янистій гальці та скелях [4], а також як в бухтах, так і біля відкритого узбережжя, тобто достатньо добре переносить вплив активності прибою.

Залежність між солоністю і чисельністю популяції молюска *N. reticulatus* у місцях відбору проб визначали за допомогою кореляційного аналізу і методу парної кореляції за допомогою коефіцієнта Пірсона:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{r\sigma_x\sigma_y}. \quad (1)$$

У нашому випадку: x_i – чисельність популяції молюска *N. reticulatus* у Севастопольській бухті, y_i – солоність води у місцях відбору проб.

Щоб отримати прогнозну модель використовували метод найменших квадратів. Дане рівняння виглядає так:

$$\begin{cases} \sum y = k\sum x + bn \\ \sum xy = k\sum x^2 + b\sum x \end{cases} \quad (2)$$

Особливості сезонного розподілу чисельності молюска *Nassarius reticulatus* по станціях Севастопольської бухти протягом 2006 – 2007 рр. Оскільки глибини у районі відбору проб невеликі та постійно відбувається перемішування водних мас у зв'язку із гідрологічними особливостями даної акваторії, то поверхнева солоність і температура води (рис. 2) може чинити вплив на донних гідробіонтів у тому числі на Gastropoda.

За увесь період дослідження на всіх станціях було виявлено молюски виду *N. reticulatus*, які були обрані об'єктами нашого дослідження. Чисельність популяції молюска *N. reticulatus* за період дослідження та динаміку популяції протягом 2007 – 2008 рр. представлено на графіку (рис. 2).

Найбільша чисельність цих молюсків спостерігається на ст. 1 (середньорічний показник 39 екз./м²). Максимальна чисельність на ст. 1 спостерігалася у зимові місяці і досягала у лютому 175 екз./м², далі чисельність пішла на спад. Мінімальні показники спостерігалися протягом літніх місяців. Збільшення чисельності спостерігалася знову в осінні місяці з максимумом у листопаді.

Станція 2 характеризується тим, що чисельність молюска була досить низькою і протягом року в середньому становила лише 5 екз./м². Невеличке збільшення чисельності спостерігається у зимово-весняний період і після цього спостерігається літньо-осінній мінімум.

На ст. 3 спостерігались наступні коливання чисельності: жовтневий максимум змінюється мінімумом у листопаді, після чого настає збільшення чисельності протягом грудня – березня і зменшенням чисельності у весняно-літній період. Середньорічний показник по ст. 3 – 14 екз./м².

Для ст. 4 характерним є те, що чисельність молюска також змінюється по сезонах. Середньорічний показник становить 17 екз./м². Молюски наявні майже у всіх пробах протягом усього року, з максимумом у осінньо-зимовий період та зменшенням чисельності у весняно-літній період.

Отже підсумовуючи вище сказане, можна зробити висновок, що найбільша чисельність молюска *N. reticulatus* на усіх станціях спостерігається у осінньо-зимовий період, найнижча у весняно-літній період, тобто зміни чисельності популяції мають сезонний характер.

Зміну солоності води у Севастопольській бухті протягом усього періоду дослідження представлено на графіку (рис. 3).

Показана кореляційна залежність між чисельністю молюска *N. reticulatus* і солоністю води у місцях відбору проб (табл. 1).

Виявлення ключових факторів. Аналіз свідчить про посередній зв'язок між солоністю води і чисельністю популяції *N. reticulatus* (коефіцієнт кореляції в середньому 0,45). Найсильніший зв'язок на ст. 1, 2 (коефіцієнт кореляції становить 0,7 та 0,5 відповідно), найслабший – на ст. 3, 4 (коефіцієнт кореляції 0,2 і 0,4 відповідно). Слід відзначити, що на цих станціях солоність дуже мінлива, тому що вони знаходяться в контактній зоні «ріка Чорна-Севастопольська бухта».

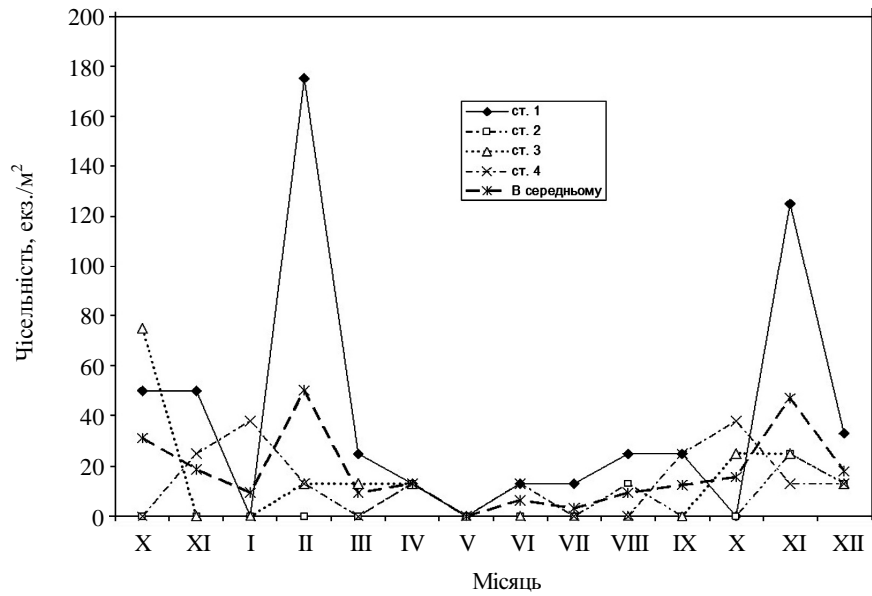


Рис. 2. Річна динаміка чисельності популяції молюска *Nassarius reticulatus* по станціях.

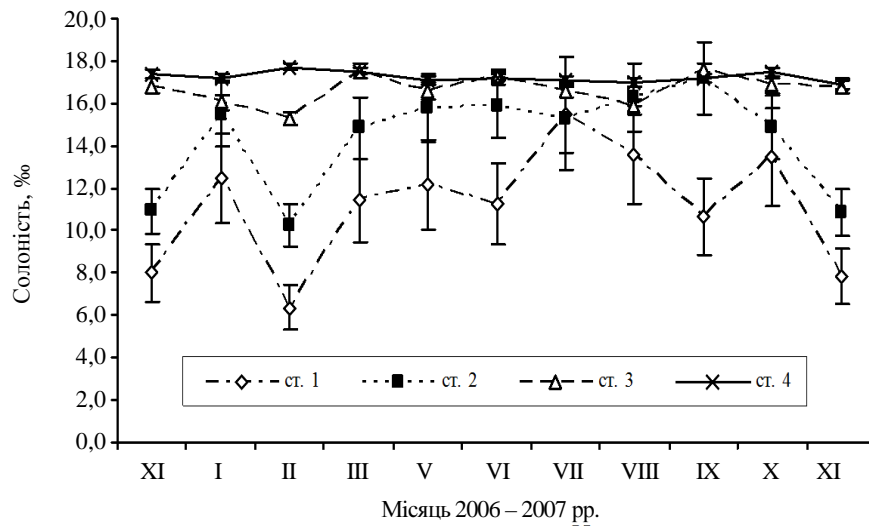


Рис. 3. Сезонна динаміка солоності води у Севастопольській бухті протягом 2006 – 2007 рр.

Таблиця 1. Кореляція між чисельністю популяції молюска *Nassarius reticulatus* і солоністю води у місцях відбору проб.

Станція відбору проб	Коефіцієнт кореляції
станція 1	0,7 – середній
станція 2	0,5 – середній
станція 3	0,2 – слабкий
станція 4	0,4 – слабкий
середнє значення	0,45 – посередній

ною, містить в одному літрі не більш як 1 – 2 г солей. В літрі морської води міститься близько 35 г солей. Мінливість солоності води вздовж морських берегів залежить від того, яка кількість річок упадає в море. У затоках морів, гирлах річок солоність змінюється від прісної до океанічної залежно від глибини, рівня припливів і сезонних змін прісноводного стоку. Наприклад, в одному літрі води Чорного моря розчинено близько 17 – 18 г солей, а в такому самому об'ємі води Азовського моря значно менше (9 – 12 г). Поблизу гирл річок, наприклад Дунаю, Дністра, Дніпра кількість солей у Чорному морі ще менша. Тут солоність змінюється у значно ширших межах [6].

Солоність на різних станціях була неоднаковою (див. табл. 2). Можна виділити станції 1 і 2, де солоність на протязі 2007 – 2008 рр. трохи коливається та ст. 3 і 4 (особливо ст. 4), де вона відносно стабільна.

Таким чином, на ст. 1 і 2 спостерігається знижена солоність, на ст. 3 і 4 вона близька до нормальної чорноморської.

В сезонному розподілі чисельності *N. reticulatus* по станціях чітко видно максимум у жовтні – грудні, з невеликим мінімумом у листопаді (рис. 1.)

Якщо говорити про розподіл по станціях, то на ст. 1 при заниженій солоності спостерігається середньорічне значення чисельності популяції *N. reticulatus* 63,6 екз./м², на ст. 2 при заниженій солоності середньорічне значення чисельності популяції *N. reticulatus* 33,6 екз./м², на ст. 3 при нормальній солоності з невеликими коливаннями – 12,5 екз./м². На ст. 4 при нормальній солоності – 31,8 екз./м².

Кореляційний аналіз показав нам наступні результати:

– на ст. 1 і 2 коефіцієнт кореляції становить 0,7 та 0,5, тобто зв'язок посередній;

– на ст. 3 і 4 коефіцієнт кореляції становить 0,3 та 0,45 – зв'язок слабкий.

Виявлення ключових факторів.

Аналіз свідчить про посередній зв'язок між солоністю води і чисельністю популяції *N. reticulatus* (коефіцієнт кореляції в середньому 0,45). Найсильніший зв'язок на ст. 1, 2 (коефіцієнт кореляції становить 0,7 та 0,5 відповідно), найслабший – на ст. 3, 4 (коефіцієнт кореляції 0,2 і 0,4 відповідно). Слід відзначити, що на цих станціях солоність дуже мінлива, тому що вони знаходяться в контактній зоні «ріка Чорна – Севастопольська бухта».

Загальний діапазон солоності води дуже великий. Вода, яка вважається прісною, містить в одному літрі не більш як 1 – 2 г солей.

Таблиця 2. Середні показники солоності води на станціях відбору проб протягом 2006 – 2007 рр. у Севастопольській бухті.

Станція відбору проб	Середній показник солоності, ‰
станція 1	11,15 ± 2,9
станція 2	14,34 ± 1,9
станція 3	16,64 ± 0,53
станція 4	17,26 ± 0,19
середнє значення	14,8 ± 1,38

Солоність води справляє досить помітний вплив на популяції гідробіонтів, зокрема від солоності залежить осмотичний тиск крові тварин [7].

Порівнюючи графіки, що показані на рис. 2 та рис. 3, можна сказати, що більша чисельність популяції *N. reticulatus* спостерігається при понижній солоності, а у місяцях з підвищеною солоністю чисельність популяції зменшується. Тобто зміни солоності і чисельності перебувають у корелятивній залежності (коефіцієнт кореляції 0,7) на ст. 1 (рис. 4).

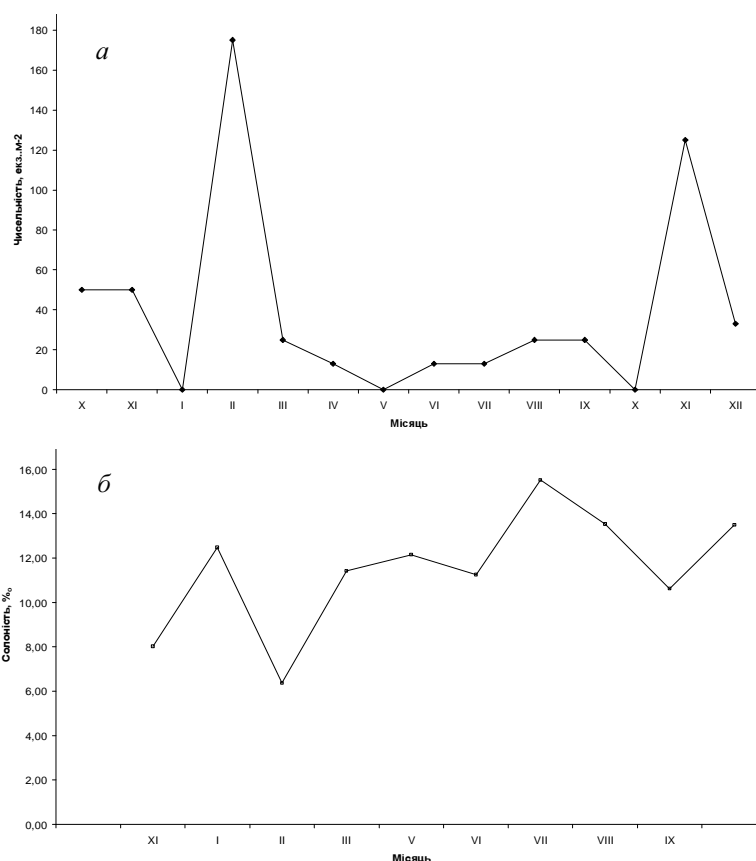


Рис. 4. Зміна чисельності популяції *Nassarius reticulatus* (а) та солоності води (б) на станції 1.

На ст. 2 (див. рис. 5) спостерігається посередній кореляційний (коефіцієнт кореляції 0,5) зв'язок між чисельністю популяції *N. reticulatus* і солоністю води у місяцях відбору проб.

Отже, чисельність популяції *N. reticulatus* на ст. 2 перебуває у майже прямій залежності від солоності води на станції, і при солоності нижчій від Чорноморської спостерігається більша чисельність цього моллюска на ст. 2.

Солоність води на ст. 3 є нормальною для Чорного моря, проте середній показник чисельності популяції становить 13 екз. м². Тобто популяція є малочисельною. Така сама залежність є характерною для ст. 4.

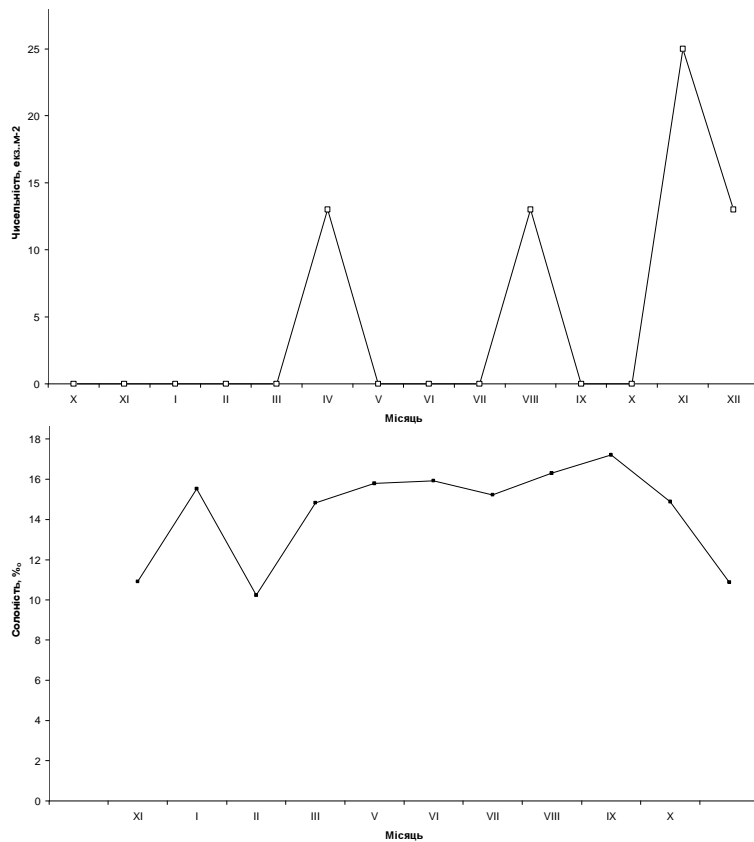


Рис. 5. Зміна чисельності популяції *Nassarius reticulatus* (а) та солоності води (б) на станції 2 у вершини Севастопольської бухти.

Різна солоність прибережних вод морів та швидкі зміни її обмежують поширення гідробіонтів. Тому тут живуть лише ті види, які можуть пристосовуватись до великої мінливості солоності. У прісних і морських водах живуть риби, що витримують невеликі зміни солоності. У зв'язку з цим одні з них живуть тільки в прісній воді, інші – тільки у відкритих морях [7].

Гідробіонти повинні весь час підтримувати рівновагу між солями в їхній крові й тканинній рідині та солями навколишнього середовища. У різних видів морських тварин, зокрема і у молюсків, ці процеси відбуваються неоднаково. При нормальних для даного регіону показниках солоності води (ст. 3 та 4) спостерігаємо дещо нижчі показники чисельності популяції молюска *N. reticulatus*, ніж на ст. 1, 2, де солоність є нижчою від нормальних показників для Чорного моря (див. рис. 2, 3).

Також розроблена прогнозна математична модель залежності чисельності популяції *N. reticulatus* та солоності води у місцях відбору проб в Севастопольській бухті (див. табл. 3 та рис. 6, а).

Виходячи із розв'язаного рівняння за формулою (2), прогнозна математична модель залежності чисельності популяції молюска *N. reticulatus* та солоності води на ст. 1 виглядає таким чином:

Таблиця 3. Залежність популяції молюска *Nassarius reticulatus* від солоності.

Параметр	XI	I	II	III	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
Чисельність, екз.	100	80	95	85	50	80	60	56	40	50	120
Солоність, ‰		12,47	6,38	11,42	12,16	11,25	15,52	13,53	10,62	13,4	7,8
Чисельність, екз.		55	75	40	40	66	16	25	28	23	50
Солоність, ‰		15,52	10,23	14,83	15,79	15,92	15,23	16,3	17,2	14,89	10,88

станція 1

станція 2

$$y = 0,078x + 168.$$

Після проведеного дослідження ми бачимо, що залежність між чисельністю популяції *N. reticulatus* та солоністю води на ст. 1 є обернеопрорційною (від'ємна). Використання даної прогнозувальної моделі дає нам можливість визначити приблизну чисельність популяції в залежності від зміни солоності води без додаткових досліджень.

Створена прогнозна математична модель залежності чисельності популяції *N. reticulatus* та солоності води на ст. 2 (див. табл. 3, рис. 6, б).

Із досліджуваних явищ складена табл. 4, яка необхідна для розв'язання рівняння регресії.

У результаті розв'язання системи рівнянь за формулою (2) складена прогнозна математична модель залежності чисельності популяції *N. reticulatus* і солоності води на ст. 2 Севастопольської бухти, яка має такий вигляд:

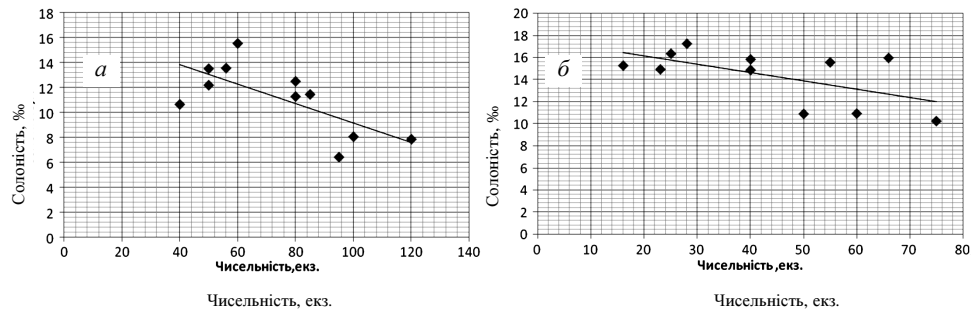
$$y = -0,075x + 17,62.$$

Оскільки кореляційний аналіз залежності чисельності популяції *N. reticulatus* і солоності води у місцях відбору проб Севастопольської бухти показав, що на ст. 3 і 4 спостерігається слабка кореляція ознак, то побудова моделей для цих станцій є недоцільним.

На основі експериментальних даних, за допомогою методів математичної статистики (метод найменших квадратів) ми створили прогнозувальну математичну модель, за допомогою якої можна прогнозувати як буде змінюватися чисельність популяції молюска *N. reticulatus* при зміні (збільшенні або зменшенні) солоності води і, хоча чисельність та солоність корелюють посередньо, вони є важливими екологічними факторами, від коливань яких залежить життя морських організмів і молюсків у тому числі.

Дані моделі можна використати для прогнозування змін чисельності популяції (параметр x) в залежності від зміни солоності (параметр y).

У випадку прогнозних математичних моделей залежності чисельності популяції від зміни солоності розглянемо випадок для ст. 1, де солоність є заниженою для Чорного моря, а чисельність популяції *N. reticulatus* є високою.



Р и с . 6 . Кореляційне поле досліджуваних явищ на станції 1 (а) та на станції 2 (б).

Т а б л и ц я 4 . Статистична таблиця дослідження.

x	y	xy	x^2	x	y	xy	x^2
<u>станція 1</u>				<u>станція 2</u>			
100	8,02	802	10000	60	10,91	654,6	3600
80	12,47	997,6	6400	55	15,52	835,6	3025
95	6,38	606,1	9025	75	14,83	1112,25	5625
85	11,42	970,7	7225	40	15,79	631,6	1600
50	12,16	630	2500	40	15,92	636,8	1600
80	11,52	921,6	6400	66	15,23	1005,18	4356
60	15,52	931,2	3600	16	16,3	260,8	256
56	13,53	757,68	3136	25	17,2	430	625
40	10,62	424,8	1600	28	14,89	416,92	784
40	13,49	539,6	1600	23	10,88	250,24	529
120	7,82	938,4	14400	50	19,91	995,5	2500
815,92	122,95	7588,48	65886	815	157,7	7588,48	65886

Припустимо, що солоність підвищується на 1‰. Провівши обчислення згідно формули (2), підставляємо отримані дані у модель залежності чисельності популяції молюска *N. reticulatus* від солоності води і отримуємо наступний результат: при зниженні солоності на 1‰ чисельність популяції можливо збільшиться на 11,5%.

Висновки. Отже, згідно наших досліджень чисельність молюсків *N. reticulatus* дещо більша на ст. 1 і 2, де знижена солоність води. Однозначно ми стверджувати це не можемо, оскільки на чисельність даного молюска можуть впливати і інші фактори. До того ж, *N. reticulatus* є морським видом [7]. Тим не менше, при солоності води, яка є дещо нижчою для Севастопольської бухти (рис. 3) від нормальних для Чорного моря показників, спостерігається більша чисельність популяції, а на ст. 3 та 4 при показниках солоності, які є нормальними для даного регіону, чисельність молюска *N. reticulatus* є відносно низькою (рис. 2).

Розроблені прогнозні моделі та оцінений взаємозв'язок залежності чисельності популяції одного з масових видів молюсків *Nassarius reticulatus* та солоності води на прикладі отриманих даних з кутовою частини Севастопольської бухти.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Макаров М.В.* Черноморские Gastropoda на мидийных коллекторах // Материалы конференции «Морские прибрежные экосистемы: водоросли, беспозвоночные и продукты их переработки». – М.: ВНИРО. – 2002. – С. 5-8.
2. *Макаров М.В.* Сезонная динамика Gastropoda в Севастопольской бухте (Чёрное море) // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика». – 2004. – вып. 10. – С. 184-189.
3. *Макаров М.В.* Сезонная динамика видового состава и численности Gastropoda в контактной зоне «река-море» (юго-западный Крым, Черное море) // Экология моря. – 2008. – вып. 76. – С. 23-27.
4. *Макаров М.В.* Екологічні особливості Gastropoda верхньої субліторалі Криму (Чорне море): Автореф. дис. на здобуття наукового ступеня канд. біол. наук по спеціальності 03.00.17 «гідробіологія». – Севастополь, 2009. – 20 с.
5. *Маккавеева Е.Б.* Роль брюхоногих моллюсков в продукции биоценозов морских макрофитов // Моллюски, их система, эволюция и роль в природе. – Киев: Наукова думка, 1975. – С. 106-107.
6. *Павлова Е.В.* Современное состояние и тенденции изменения экосистемы Севастопольской бухты // Акватория и берега Севастополя: экосистемные процессы и услуги обществу. – Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 1999. – С. 70-87.
7. *Чухчин В.Д.* Экология брюхоногих моллюсков Черного моря. – Киев: Наукова думка, 1984. – 173 с.

Матеріал надійшов до редакції 12.11.2011 р.

Материал поступил в редакцию 12.11.2011 г.

АННОТАЦИЯ Проведен корреляционный анализ зависимости между численностью моллюсков *N. reticulatus* и соленостью воды в местах отбора проб. Также были составлены прогнозные математические модели, с помощью которых можно предсказать, как один показатель (численность) меняется в случае изменения другого (солёности).

ABSTRACT The correlation analyze of depend between abundance mollusks *N. reticulatus* and water salinity in the sites of taking samples were done. The forecast mathematic model for helping forecast of change one characteristic (abundance) if another changing (salinity) were found too.