

Д. І. Гудков¹, Е. В. Дзюбенко¹, Т. В. Пінкіна², Л. С. Ченіга³, А. Б. Назаров⁴

¹Інститут гідробіології НАН України

²Житомирський національний агроекологічний університет

³Національний авіаційний університет

⁴ГСНПП «Чернобильський радіоекологічний центр» МНС України

ЕФЕКТИ ХРОНІЧНОГО НИЗЬКОДОЗОВОГО ОПРОМІНЕННЯ У ПРІСНОВОДНИХ МОЛЮСКІВ ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ ЗОНИ ВІДЧУЖЕННЯ

Проаналізовано цитогенетичні, гематологічні, репродуктивні та морфологічні показники прісноводних молюсків у Чернобильській зоні відчуження впродовж 1998–2010 р.р.

Ключові слова: прісноводні молюски, Чернобильська зона відчуження, радіонуклідне забруднення, ⁹⁰Sr, ¹³⁷Cs, дозові навантаження, хромосомні аберації, гемолімфа

D. I. Gudkov¹, Y. V. Dzyubenko¹, T. V. Pinkina², L. S. Chepiga³, A. B. Nazarov⁴

¹Institute of Hydrobiology of NAS of Ukraine

²Zhytomyr state agroecological University

³National Aviation University

⁴Chernobyl radioecological center of Ukraine

THE EFFECTS OF CHRONIC LOW-DOSE RADIATION ON FRESHWATER MOLLUSKS IN CHERNOBYL EXCLUSION ZONE

Cytogenetical, hematological, reproductive and morphological parameters of freshwater mollusks within the Chernobyl exclusion zone during 1998–2010 were analyzed.

Key words: freshwater mollusks, Chernobyl exclusion zone, radioactive contamination, ⁹⁰Sr, ¹³⁷Cs, dose rate, chromosomal aberrations, hemolymph

УДК 594 (262.5)

Г. Б. ГУМЕНЮК, А. В. СТАНІСЛАВЧУК, С. Б. ЗУБРЕЦЬКА

Тернопільський національний педагогічний університет ім. Володимира Гнатюка
вул. М. Кривоноса, 2, Тернопіль, Україна, 46027

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

Проведено кореляційний аналіз залежності між чисельністю молюсків *Nassarius reticulatus* (L.) і температурою води у місцях відбору проб. Також були складені прогностичні математичні моделі, за допомогою яких можна передбачити зміни одного показника (чисельність) у разі зміни іншого (температура води).

Ключові слова: *Nassarius reticulatus* (L.), чисельність популяції, температура води, кореляція, прогностична математична модель

Червононогі молюски (Gastropoda) є однією із масових груп макрзообентосу, включно у шельфовій зоні Криму. Вони трапляються 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 середовища важливо. Для цього необхідно мати інформацію про вертикальний розподіл, міграцію, сезонну динаміку, чисельність червононогих молюсків, що живуть у прибережних зонах. Подібні дослідження у Чорному морі, включно біля берегів

Криму, де за останні 25 – 50 років відбулися значні зміни у структурі прибережних біоценозів, практично не проводилися.

Метою дослідження було розробити прогнозу модель та оцінити взаємозв'язок залежності чисельності популяції одного з масових видів молюсків *Nassarius reticulatus* та температури води на прикладі отриманих даних з кутової частини Севастопольської бухти.

Матеріал і методи досліджень

Севастопольська бухта розташована в південно-західному Криму і має довжину з заходу на схід 7,5 км. Не зважаючи на відносно добру вивченість її фауни [3, 4, 5, 7] у верхній частині бухти у місці впадіння ріки Чорної, тобто у контактній зоні “ріка – море”, сезонна динаміка і чисельність окремих популяцій гідробіонтів досліджені недостатньо, за винятком [6].

З листопада 2006 р. до листопада 2007 р. щомісячно відбирали проби макрозообентосу 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 впадіння 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 1, 2 та 4 глибина сягала від 1,5 до 2 метрів. На всіх станціях ґрунти були представлені мулами.

Проби відбирали у двох повторностях за допомогою дночерпалки Петерсена площею 0,04 м² і фіксували у 4% розчині формаліну. Всього взято 104 кількісних та одну якісну пробу. Підраховували чисельність молюсків виду *Nassarius reticulatus*. Його 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 [6], а також як в бухтах, так і біля відкритого узбережжя, тобто достатньо добре переносить вплив активності прибою.

Дані про температуру води протягом періоду дослідження були надані працівниками відділу планктону Інституту біології південних морів ім. О. О. Ковалевського. Залежність між температурою і чисельністю популяції молюска *N. reticulatus* у місцях відбору проб визначали за допомогою кореляційного аналізу і методу парної кореляції за допомогою коефіцієнта Пірсона [2].

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

X_i – чисельність популяції молюска *N. reticulatus* у Севастопольській бухті; Y_i – температура води у місцях відбору проб.

Для отримання прогнозової моделі використовували метод найменших квадратів [2]:

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

Результати досліджень та їх обговорення

Особливості сезонного розподілу чисельності молюска *Nassarius reticulatus* по станціях Севастопольської бухти протягом 2006–2007 років. Оскільки глибини у районі відбору проб невеликі та постійно відбувається перемішування водних мас у зв'язку із гідрологічними особливостями акваторії, то поверхнева солоність і температура води (рис. 3) може чинити вплив на донних гідробіонтів.

За увесь період дослідження на всіх станціях було виявлено молюски виду *N. reticulatus*. Чисельність його популяції протягом періоду дослідження та динаміку популяції протягом 2006–2007 років приведено на рис. 2.

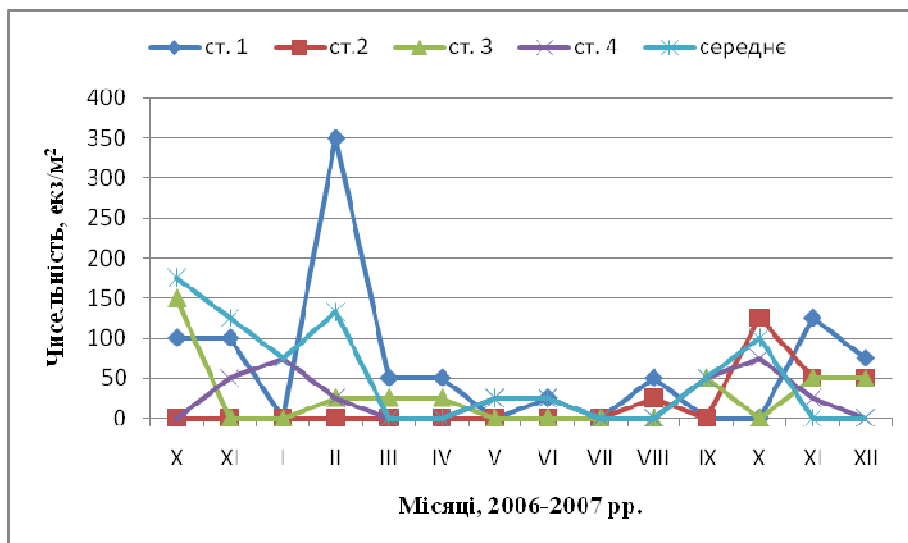


Рис. 2. Динаміка чисельності популяції молюска *Nassarius reticulatus* по станціях

Найбільшу чисельність молюсків спостерігали на станції 1 (середньорічний показник 39 екз./м²). Максимальна чисельність на ст. 1 спостерігалася у зимові місяці (у лютому 175 екз./м²). Надалі чисельність молюсків зменшувалася. Мінімальні показники спостерігалися протягом літніх місяців. Збільшення чисельності спостерігалася знову в осінні місяці з максимумом у листопаді.

Станція 2 характеризується тим, що чисельність молюсків була досить низькою і протягом року, в середньому, становила лише 5 екз./м². Невелике збільшення чисельності спостерігається у зимово–весняний період.

На станції 3 виявлено таку динаміку коливання чисельності: жовтневий максимум змінюється мінімумом у листопаді, після чого є збільшення чисельності протягом грудня–березня і зменшенням чисельності у весняно–літній період. Середньорічний показник по ст. 3 – 14 екз./м².

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

Отже, найбільша чисельність молюска *N. reticulatus* на усіх станціях спостерігається у осінньо–зимовий період, а найнижча – у весняно–літній період.

Зміну температури води у Севастопольській бухті протягом усього періоду дослідження подано на рис. 3.

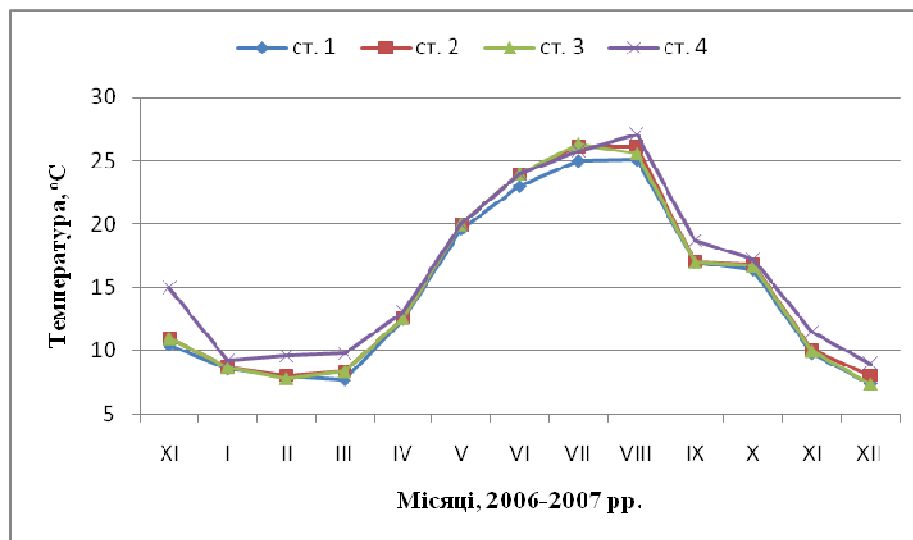


Рис. 3. Зміна температури води у Севастопольській бухті протягом 2006–2007 рр.

Між чисельністю молюска *N. reticulatus* і температурою води у місцях відбору проб виявлено залежність (табл.1).

Таблиця 1

Кореляція між чисельністю *Nassarius reticulatus* та температурою води у місцях відбору проб

Станція відбору проб	Коефіцієнт кореляції
Станція 1	-0,7
Станція 2	-0,5
Станція 3	-0,4
Станція 4	-0,5
Середнє	-0,4

Температура води значно стійкіша, що обумовлено її великою теплоємністю. З цієї причини навіть значні надходження або втрати тепла, що збільшуються в літній і зимовий періоди року, не ведуть до різких змін температури води. В результаті річні коливання температури в континентальних водоймищах звичайно не перевищують 30-35°C°. Температурна стійкість води обумовлена і порівняно слабкою змішуваністю холодних і тепліших шарів води, що мають різну щільність [1]. Низька теплопровідність води, що обмежує розповсюдження температурних змін в стоячих водоймищах, веде до появи температурної шаруватості (температурної стратифікації) [10]. З розшаруванням температури в товщі води тісно пов'язаний газовий режим, розподіл біогенних сполук та інші гідрохімічні показники, що призводить, у свою чергу, до зональності в розподілі гідробіонтів [10]. Процеси живлення, обміну речовин, розвитку і росту, розмноження, міграції і інші прояви життєдіяльності у гідробіонтів залежать від рівня і динаміки температури води. З підвищенням температури обмінні процеси у гідробіонтів відбуваються скоріше, бо швидкість ферментативних процесів з підвищенням температури зростає [8].

Протягом усього періоду досліджень температура води у бухті на усіх дослідних станціях знаходилася приблизно на одному рівні, середньорічна температура становила 15-24°C (табл. 2), що є нормою для даного регіону [7].

Таблиця 2

Середні значення температури води у Севастопольській бухті протягом 2006 – 2007 рр.

Станція відбору проб	Середній показник температури
Станція 1	14,7±5,3°C
Станція 2	15,1±7,5°C
Станція 3	15,4±5,76°C
Станція 4	16,5±5,32°C
Середнє	15,4±6,97°C

Кореляційний аналіз свідчить про досить слабкий зв'язок між температурою води і чисельністю популяції *Nassarius reticulatus* (L) (коефіцієнт кореляції в середньому 0,4). Однак, нами співставлено графіки динаміки чисельності популяції *Nassarius reticulatus* (L) і температури води у місцях відбору проб, де коефіцієнт кореляції становить -0,7 (рис 4, 5).

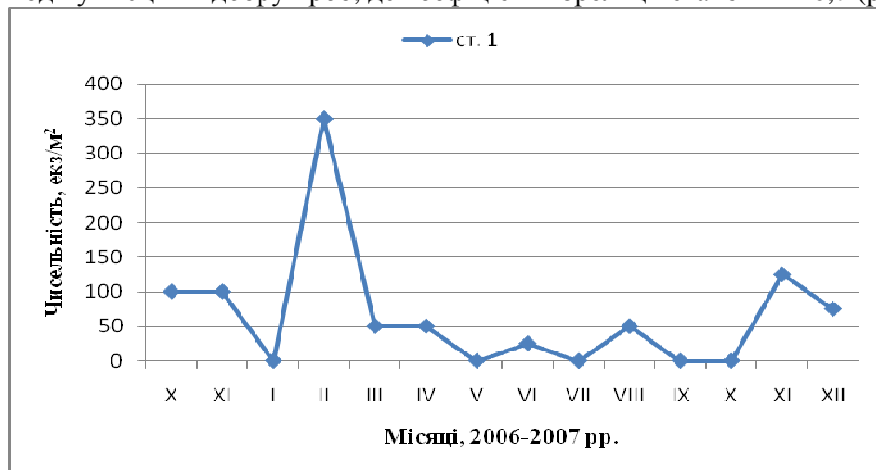


Рис. 4. Динаміка чисельності популяції *Nassarius reticulatus*(L) на станції 1

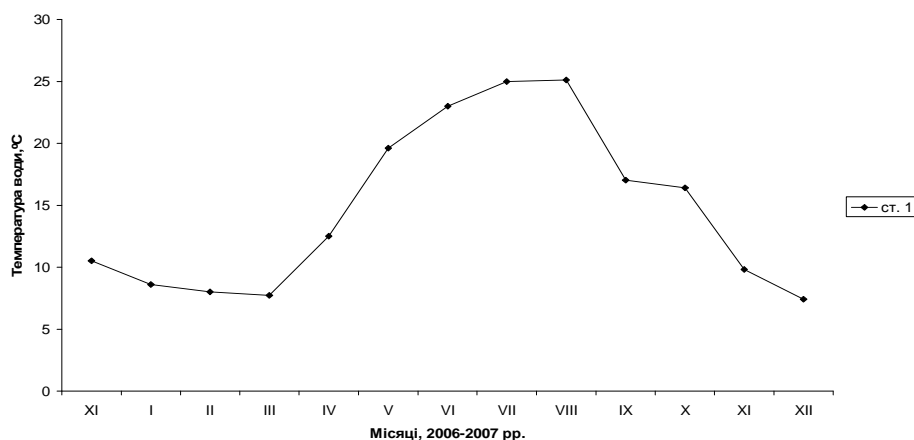


Рис. 5. Зміна температури води на станції 1

Динаміка чисельності популяції *Nassarius reticulatus* (L) і температури води на станції 1 Севастопольської бухті оберенопропорційні, тобто при зниженні температури підвищується

чисельність популяції, і навпаки. Це може свідчити температурний вплив на стан популяції *Nassarius reticulatus*(L). Тому нами розроблена прогнозна математична модель залежності чисельності популяції *N. reticulatus* та температури води у місцях відбору проб в Севастопольській бухті (табл. 3, рис. 6)

Таблиця 3

Залежність чисельності популяції від температури води на станції 1

	X	XI	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
х- чисел	100	80	95	85	50	80	60	56	40	50	120	140	110	100
у- темп.	19	15	9,2	9,6	9,8	13,1	20	24	25,8	27,1	18,7	17,2	11,5	9

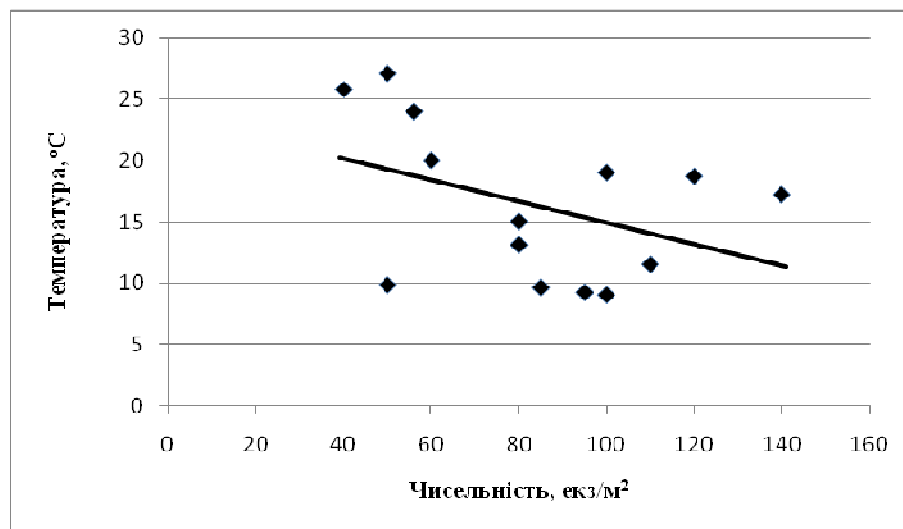


Рис. 6. Кореляційне поле досліджених показників на станції 1

$$Y=0,003x + 11 \quad (3)$$

Хоча чисельність і температура води корелюють досить слабо цей показник є важливими екологічним фактором, від коливання якого залежить стан популяції молюска *Nassarius reticulatus* (L).

Запропонований підхід можна використати для прогнозування змін чисельності популяції (параметр *x*) в залежності від зміни температури (параметр *y*). На прикладі залежності зміни чисельності популяції *Nassarius reticulatus* (L.) від температури на станції 1 розраховуємо (форм. 3), що чисельність популяції *Nassarius reticulatus* (L.) (параметр *x*) при підвищенні температури води протягом року на 1°C зменшиться на 15,9%.

Висновки

У сезонному розподілі чисельності популяції *Nassarius reticulatus* (L.) по станціях спостерігається така динаміка: максимум чисельності припадає на осінньо-зимовий період, мінімум – у літньо-осінній період. Виявлено слабкий прямий зв'язок між динамікою чисельності популяції молюска і зміною температури води (коефіцієнт кореляції – -0,4). Ймовірно, що вплив температури води на стан популяції молюсків опосередкований. Проте, математична залежність між дослідженими показниками дає можливість наближено прогнозувати можливі зміни чисельності популяції молюска *Nassarius reticulatus* (L.).

Автори висловлюють подяку науковому співробітнику відділу планктону Інституту біології південних морів ім. О. О. Ковалевського Макарову М.В. за люб'язно надані матеріали

1. Андерсон Дж. М. Экология и наука об окружающей среде: биосфера, экосистема, человек / Дж. М. Андерсон. – Л. : Гидрометеиздат, 1985. – 165с.

2. *Лаврик В. І.* Методи математичного моделювання в екології / В. І. Лаврик. – Київ : КМ Академія, 2002. – 202 с.
3. *Макаров М. В.* Черноморские Gastropoda на мидийных коллекторах // Морские прибрежные экосистемы: водоросли, беспозвоночные и продукты их переработки : мат. конф. / М. В. Макаров – М. : ВНИРО, 2002. – С. 5–8.
4. *Макаров М. В.* Сезонная динамика Gastropoda в Севастопольской бухте (Чёрное море) / М. В. Макаров // Экобезопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа : научн. тр. – Севастополь, 2004. – Вып. 10. – С. 184–189.
5. *Макаров М. В.* Сезонная динамика видового состава и численности Gastropoda в контактной зоне “река-море” (юго-западный Крым, Чёрное море) / М. В. Макаров // Экология моря. – 2008. – Вып. 76. – С. 23–27.
6. *Макаров М.В.* Екологічні особливості Gastropoda верхньої субліторалі Криму (Чорне море) : автореф. дис. на здобуття наукового ступеня кандидата біологічних наук. Спеціальність “Гідробіологія” / М. В. Макаров. – Севастополь, 2009. – 20 с.
7. *Маккавеева Е. Б.* Роль брюхоногих моллюсков в продукции биоценозов морских макрофитов // Моллюски, их система, эволюция и роль в природе / Е. Б. Маккавеева. – Київ : Наукова думка, 1975. – С. 106–107.
8. *Миловидова Н. Ю.* Матеріал по екології червоного моллюска *Tritia reticulata* / Н. Ю. Миловидова // Біологія моря. – 1979. – № 50. – С. 89–93.
9. *Павлова Е. В.* Современное состояние и тенденции изменения экосистемы Севастопольской бухты / Овсяный Е. И., Гордина А. Д. [и др.] // Акватория и берега Севастополя: экосистемные процессы и услуги обществу. – Севастополь, 1999. – С. 70–87.
10. *Романенко В. Д.* Основи гідроекології / В. Д. Романенко. – Київ : Обереги, 2001. – С. 426–429.

Г. Б. Гуменюк, А. В. Станиславчук, С. Б. Зубрецька

Тернопольский национальный педагогический университет им. Владимира Гнатюка

ПРОГНОЗНАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВЗАИМОСВЯЗИ ЧИСЛЕННОСТИ ПОПУЛЯЦИИ *NASSARIUS RETICULATUS* (L.) И ТЕМПЕРАТУРЫ ВОДЫ В ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ СЕВАСТОПОЛЬСКОЙ БУХТЫ (ЧЁРНОЕ МОРЕ)

Рассчитана корреляция между численностью моллюсков *N. reticulatus* и температурой воды в верхней части Севастопольской бухты (Чёрное море). Составлена прогнозная математическая модель расчета показателя численности от изменения температуры.

Ключевые слова: *Nassarius reticulatus* (L.), численность популяции, температура воды, коэффициент корреляции, прогнозная математическая модель

Н. В. Humenyuk, A. V. Stanislavcuk, S. B. Zubrecka

Volodymyr Hnatiuk Ternopil National Pedagogical University

THE PROGNOSTIC MATHEMATIC MODEL AND ESTIMATE OF RELATIONSHIP OF DEPEND OF THE ABUNDANCE POPULATION *NASSARIUS RETICULATUS* (L.) FROM WATER TEMPERATURE IN THE CORNER PART OF THE SEVASTOPOL BAY (BLACK SEA)

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

Key words: *Nassarius reticulatus* (L.), abundance of population, correlation, temperature of water, forecast mathematic model