

УДК 551:504.054:502.7(477)

Г.О. КРАВЧУК, канд. геол. наук

Одеський національний університет імені І. І. Мечникова

вул. Дворянська, 2, Одеса, 65082, Україна

aokravchuk@gmail.com

ГЕОТОКСИКОЛОГІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МОРСЬКОГО СЕРЕДОВИЩА НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ МОРФОЛОГІЧНИХ ПОРУШЕНЬ БЕНТОСНИХ ФОРАМІНІФЕР

Обґрунтовано застосування бентосних форамініфер для оцінки геоecологічних умов на шельфі Чорного моря. Сучасна нестабільність геохімічної обстановки в прибережній зоні впливає на показники ступеня виживання видів та частоти виродливостей (фенодевіантів) бентосних форамініфер, встановлено 9 різновидів морфологічних дефектів черепашок.

Ключові слова: Чорне море, шельф, геоecологічна обстановка, бентосні форамініфери

Kravchuk A. A. GEOTOXICOLOGICAL RESEARCHES OF THE MARINE ENVIRONMENT ON THE BASIS OF THE ANALYSIS OF MORPHOLOGICAL VIOLATIONS IN BENTHIC FORAMINIFERA

The work is devoted to application of the benthic foraminifera for an evaluation of an geocological situation on a northwest shelf of the Black Sea. Modern instability of a geochemical situation in a coastal zone influences exponents of a survival of types and the frequency of teratisms (fenodeviants) benthic a foraminifera, 9 versions of morphological defects shells.

Keywords: the Black Sea, shelf, geocological situation, benthic foraminifera

Кравчук А. О. ГЕОТОКСИКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МОРСКОЙ СРЕДЫ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА МОРФОЛОГИЧЕСКИХ НАРУШЕНИЙ БЕНТОСНЫХ ФОРАМИНИФЕР

Обосновано применение бентосных фораминифер для оценки геоecологической обстановки на шельфе Черного моря. Современная нестабильность геохимической обстановки в прибрежной зоне влияет на показатели степени выживания видов и частоты уродств (фенодевиантов) бентосных фораминифер, установлено 9 разновидностей морфологических дефектов раковин.

Ключевые слова: Черное море, шельф, геоecологическая обстановка, бентосные фораминиферы

ВСТУП

У останні десятиріччя активно розвивається науковий напрямок – морська геотоксикологія. Геотоксикологія є підрозділом геоecології та вивчає закономірності дії геологічних процесів на довкілля. Основне завдання геотоксикологічних досліджень – це аналіз і прогноз стану даних екологічних систем та динаміки геологічних процесів. Методика біотестування – один з

провідних напрямів оперативного геотоксикологічного контролю морського середовища, забезпечує об'єктивне виявлення токсичних ефектів і оцінку інтенсивності їх прояву [6]. При визначенні змін у донних відкладах, які концентрують основну масу привнесеної гетерогенної речовини, універсальним індикатором є бентосні форамініфери. Аномалії розвитку форамініфер відбивають наявність токсичних ефектів, до найбільш помітних ознак

функціональних порушень відноситься індивідуальна мінливість морфології черепашок.

Актуальність морфологічних методів оцінки сучасної екологічної ситуації обумовлена тим, що практично всі порушення в гомеостазі розвитку організмів (генетичні, фізіологічні, біохімічні і імунологічні) супроводжуються змінами морфогенетичних показників. У зв'язку з цим, різноманітні відхилення в морфології черепашок форамініфер належать до інтегральних ознак впливу абіотичних чинників.

Порушення морфології форамініфер вивчаються багатьма дослідниками протягом більше ста років. Одне з перших узагальнень закономірностей хитливого розвитку організмів є в роботі Дж. Кешмена [3]. Вплив періодичного опріснення вод при відливах розглядається на прикладі досліджень Л. Румблера, проведених у 1911 році в усті Ельби. Нерівномірне збільшення камер черепашок *Elphidium striatopunctatum* (Fichtel et Moll) при коливаннях солоності ілюструється побудовою кривих росту. Згодом цей графічний прийом знайшов широке застосування в мікропалеонтології. Безпосередня причина нерівномірного росту форамініфер, за Л. Румблером, полягає в зміні осмотичного тиску, що грає важливу роль в життєдіяльності організмів.

Дж. Кешмен [3] відзначав, що порушення розвитку форамініфер в умовах значного опріснення пов'язане з утратою вапна, аж до утворення псевдохитинових черепашок. Морфологічні зміни простежуються також при механічних ушкодженнях і регенерації черепашок. Представники родини *Rotaliidae* виділені як організми, найбільше пристосовані до зниженої солоності Чорного моря.

Підвищення частоти фенодевіантів контролюється як окремо взятим

параметром середовища, так і загальною спрямованістю геохімічних процесів в досліджуваному районі. Ці зміни, по визначенню Л. Ш. Давіташвілі [2], характерні для абераційних біотопів - ділянок екологічних областей, що мають сильні відхилення від умов, які панують на суміжних просторах.

За В. В. Янко [10], ряд виродливостей (наприклад багатократні або поєднані апертури) можуть належати до своєрідних реакцій на присутність різноманітних токсикантів. Для розмежування морфологічних порушень, пов'язаних із механічним ушкодженням або викликаних патологічним морфогенезом, запропоновано використовувати флюоресценцію сульфавлавіну і хлортетрацикліну. Посилення флюоресценції сульфавлавіну вказує на підвищену концентрацію білка біля дефекту, що є результатом ушкодження черепашки і регенерації.

Робота А. Самір і А. Бадр Эль-Дін [9] належить до рідкісних прикладів переконливих доказів впливу важких металів на розвиток бентосних форамініфер. При вивченні двох заток Середземного моря в районі Олександрії відзначене зниження видової розмаїтості і щільності популяцій форамініфер в умовно-патогенному оточенні. За допомогою рентгенівського мікроаналізу встановлено, що екстремальне поширення перекручених форм міліолід у забруднених районах супроводжується підвищеною концентрацією в черепашках Al, Cu, Zn, і Fe.

Таким чином, при спостереженні відхилення в розвитку організмів, як правило, головним аргументом для генетичного обґрунтування специфічних ознак порушень служить просторовий зв'язок підвищеної частоти фенодевіантів з ареалами забруднення.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Основний обсяг фактичного матеріалу отриманий автором у 1998-1999 роках під час експедиційних робіт на НДС «Аргон» і НДС «Спрут». Комплексні дослідження рецентної мікрофауни, донних осадків і водної товщі проведені на 59 станціях в районі від дельти Дунаю до Дніпро-Бугського лиману (рис.1).

Робоча схема польових досліджень пе-

редбачала відбір, документацію і підготування аналітичних проб. Мікропалеонтологічне і літолого-геохімічне вивчення донних відкладів проводилося з дотриманням узвичайних методик. Методологічну основу вивчення бентосних форамініфер складають рекомендації ряду узагальнюючих робіт [3-7, 10].

Методика вивчення форамініфер включає

такі операції: відбір зразків, сепарування, консервація і підготування до аналізу, виділення форамініфер, таксономічна ідентифікація, морфологічний аналіз, біомінералогічні дослідження і математична обробка результатів.

Морфологічний аналіз виконувався при вивченні форамініфер під бінокулярним мікроскопом та методом скануючої електронної мікроскопії (СЕМ). Електронно-мікроскопічні дослідження провадились в Тель-Авівському університеті на установці JEOL JSM-840A. Типи морфологічних порушень і розподіл аномальних організмів визначалися для кож-

ного зразка. Кількісна характеристика аномальний розвитку аналізувалась на основі корелятивних та багатомірних зв'язків із результатами геохімічних досліджень.

Додатково фоновий розподіл бентосних форамініфер було розглянуто за матеріалами колекцій В.В.Янко з фондів Палеонтологічного музею ОНУ. Більш 200 зразків цієї колекції зібрано в 1969-1974 роках, коли були відзначені перші ознаки стійких екологічних порушень у шельфовій області Чорного моря.

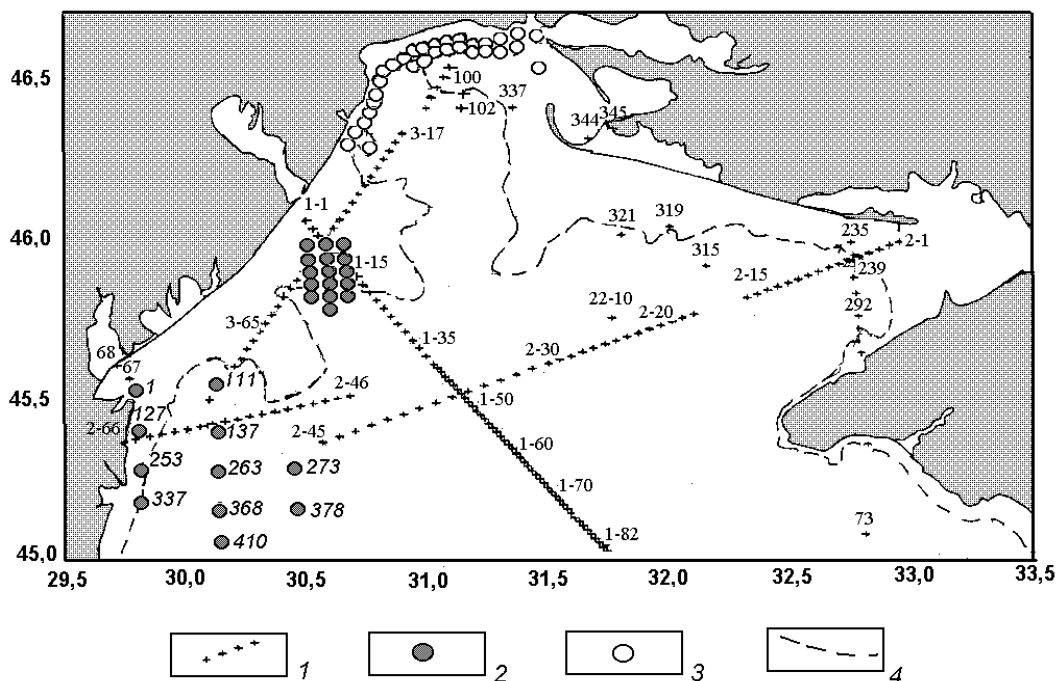


Рис. 1 – Схематична карта фактичного матеріалу для мікрофауністичних досліджень донних осадків північно-західного шельфу Чорного моря: 1 - станції випробування 1969-1973 років (колекція В.В.Янко з фондів Палеонтологічного музею ОНУ); 2 - станції випробування на полігонах 981-Дністер і 982-Дунай у травні 1998 року (рейс НДС «Аргон»); 3 - станції випробування на полігоні 993 у вересні 1999 року (рейс НДС «Спрут»); 4 - контур прибережної зони шельфу на батиметричному рівні -20 м.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Морфологічні порушення розвитку бентосних форамініфер північно-західного шельфу Чорного моря вивчені за допомогою скануючої електронної мікроскопії. Відносна зустрічальність аномальної морфології форамініфер на окремих ділянках шельфу відображена на трикутній діаграмі (рис. 2).

Придністровська площа (полігон 981) характеризується значною розмаїтістю відхилень розвитку бентосних форамініфер. Максимальне число морфологічних порушень відзначено для 10 видів (рецентна і субфосильна фауна) на станції

981-05 з аномально високою концентрацією рідких вуглеводнів в осадках (0,320 %).

В районі острова Зміїний (полігон 982) схильні до морфологічних змін 4 види: *Ammonia tepida* (Cushman), *Canalifera parkerae* (Janko), *Elphidium ponticum* Dolgopolskaja et Pauli та *Porosonion martcobi* Bogdanowicz. Найбільше часті морфологічні порушення для *Ammonia tepida*, *Canalifera parkerae*, *Porosonion martcobi*. Виняток складає станція 982-263 в районі острова Зміїний, де відзначаються відхилення для 6 видів бентосних форамініфер. Деформації в порожнистих

черепашках на станції 982-378 (південно-східний фланг Дунайського полігона) спостерігається для семи видів.

Морфологія черепашок домінантних видів включає дев'ять типів аномалій: відхилення від нормального типу камер і розміру; наявність недорозвинених камер; порушення навівання камер; додаткові камери; відсутність скульптури; вздуття камер у вигляді тератоми або «пухлини»; численні отвори; нерівний кіль; двоїнування типу «сіамських близнюків».

Практично всі морфологічні порушення визначені на прикладі еврибонтного виду *Ammonia tepida*.

Для порівняння, на рис.3 показана типова для цього виду нормально розвита черепашка (1a), подана мегасферичною формою з характерним великим пролокулумом (1b). Часте виявлення мегасферичних форм належить до ознак порушення статевого диморфізму форамініфер, викликаного стресовими ситуаціями [4]. Зберігання безстатевого розмноження пов'язане з придушенням функцій клітин і зменшенням ефективності метаболізму в оточенні зниженої солоності, а також при забрудненні середовища важкими металами [10, 11].

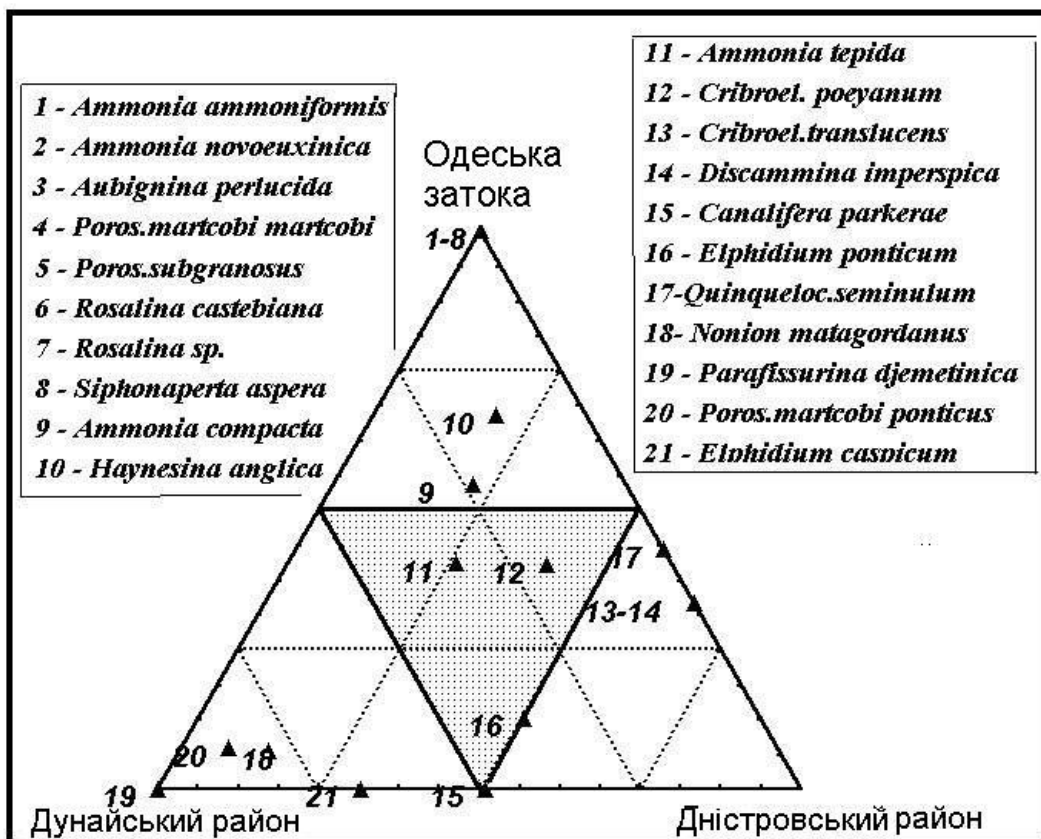


Рис. 2 – Відносна зустрічальність морфологічних порушень для видів бентосних форамініфер на окремих ділянках північно-західного шельфу Чорного моря. Центральне поле діаграми займають види, що мають близькі показники частоти фенодевіантів в межах всіх вивчених районів

Переважаючим типом змін морфології форамініфер є наявність недорозвинених камер (рис. 3, ф. 5, 7, 8, 10) і тератом («пухлин», звичайно викликаних вздуттям трьох останніх камер, рис.3, ф. 2-6). Часто відзначаються відразу декілька морфологічних порушень в одній черепашці.

Серед причин недорозвинення камер варто враховувати зниження солоності в

період весняного повіддя [3]. Крім того, порушення нормального розвитку камер форамініфер часто пов'язане зі слабкою кальцифікацією або наступним ушкодженням слабо отверділих фрагментів черепашки. Як відзначалось в попередніх роботах [4,5], літня активізація геохімічних процесів в прибережній зоні Чорного моря супроводжується зниженням рН осадків до значень

порядку 6. В умовах слабкокислої середовища варто очікувати помітне погіршення життєдіяльності організмів із карбонатною функцією.

Також необхідно мати на увазі можливість регенерації черепашок. Як відзначав Дж.Кешмен [3], в результаті яких-небудь механічних ушкоджень з отвору, що утворився, як із додаткової апертури, виділяється протоплазма, що ініціює розвиток

додаткової камери.

Інші аномалії (наприклад, скривлення кіля, перекручування екваторіальної площини) можуть бути наслідком відновлення і безладного росту витків, що перекривають ушкодження, що закінчується перекручуванням нормальної геометрії черепашки (рис. 3, ф.9). Різноманітні тератогенні зміни можуть мати загальну фізіологічну причину.

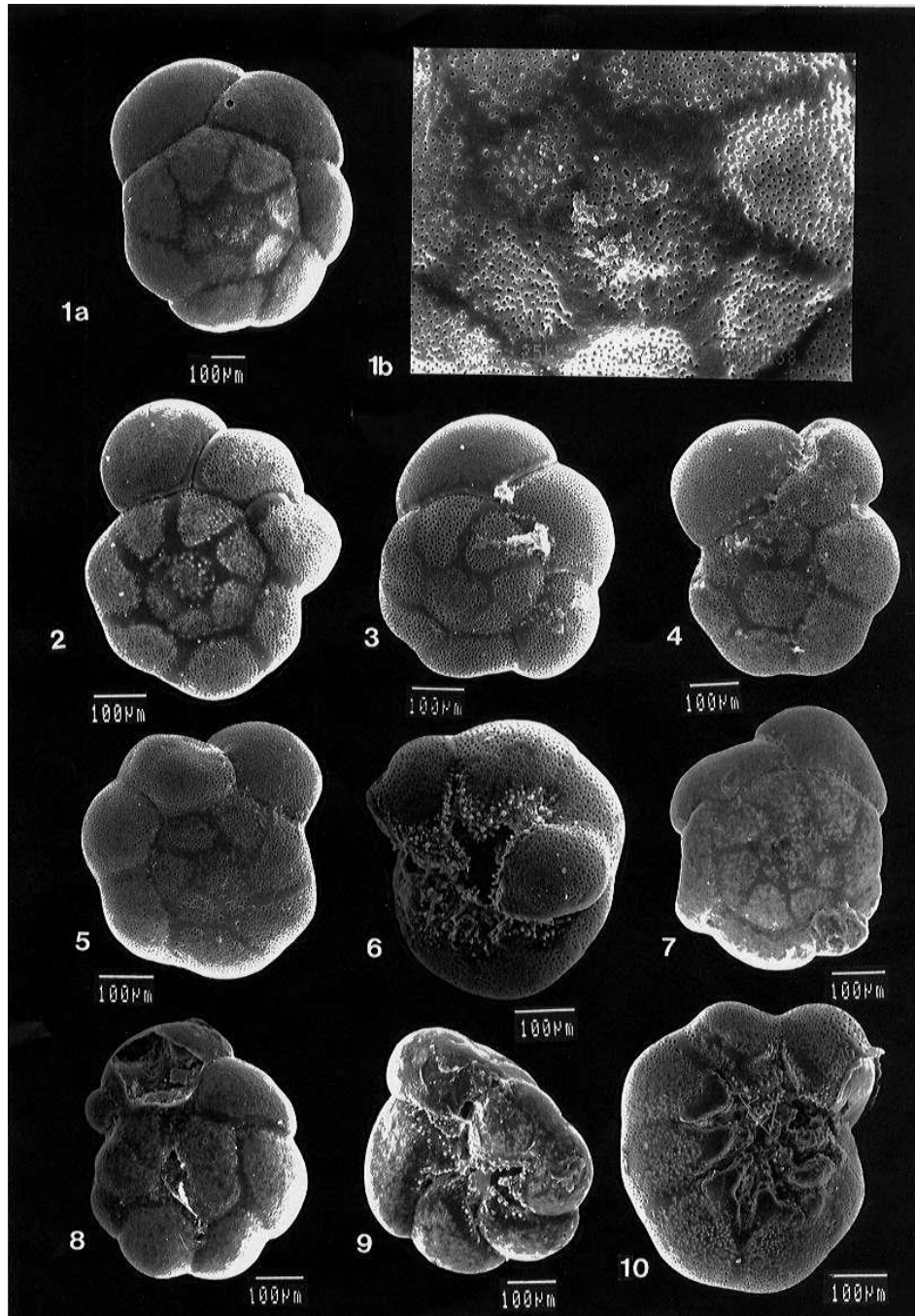


Рис. 3. – Приклади морфологічних порушень в черепашках бентосних форамініфер північно-західного шельфу Чорного моря

Диференційована оцінка впливу окремих забруднюючих речовин в умовах гіпертрофної фази розвитку шельфу Чорного моря має цілий ряд обмежень. Аномальна морфологія форамініфер складає інтегральний відгук на дію негативних чинників. Зокрема, є ряд непрямих ознак тератогенних ефектів, що виникають при токсичному впливі важких металів і нафтопродуктів.

Важкі метали часто викликають зменшення щільності населення і розмаїтості форамініфер, зупиняють ріст черепашок і підвищують зустрічальність перекручених форм [10]. Типи морфологічних порушень включають: аномальне навівання, порушення форми і розміру камери, слабкий розвиток останнього витка, скривлення поверхні камери, утворення додаткових камер, пухлин, багатократних апертур, нерегулярного кіля, бічної асиметрії, і недостатнього скульптурування [4].

Дія токсичних сполук на організми

гідробіонтів найбільше помітна при порушенні функцій, що контролюють розвиток біомінералізації. Морфогенетичні ознаки змін, що розвиваються, стають наслідком взаємодії токсикантів з активними комплексами білкової матриці.

Як відомо [1], токсичність важких металів обумовлена їхньою спорідненістю до білків і амінокислот. Ряд металів взаємодіє з амінокислотами переважно через SH-групи (Hg, Ag, Pb, Cd, Zn, Co) або COOH-групи (Cu, Ni, Zn, Mg, Ca). За іншими даними [5,11], загальнотоксична дія Cd полягає в гнобленні активності ряду ферментних систем в результаті блокування карбоксильних, аміних і особливо SH-груп білкових молекул. Іони Hg також реагують із SH-групами білків, із карбоксильними й аміними групами білків, що призводить до серйозних порушень функцій організму. Первинний механізм токсичної дії As теж пов'язаний із впливом на органічну матрицю.

ВИСНОВКИ

Забруднення донних відкладів впливає на таксономічні і морфологічні особливості бентосних форамініфер. Техногенні зміни в прибережній зоні північно-західного шельфу Чорного моря найбільше тісно пов'язані із посиленням гіпертрофікації, що виявляється в порушенні мінералоутворюючих функцій бентосних організмів.

Реакційно-спроможні форми токсичних металів, що надходять у Чорне море з річковим стоком, мігрують за межі приустьєвих бар'єрних зон і накопичуються в карбонатній речовині осадків. Біомінералогічне концентрування токсикантів включає їхню фіксацію

мінеральною складовою та в органічній матриці черепашок.

В бентосних форамініферах встановлено 9 різновидів морфологічних дефектів. Таким чином, стресові ситуації на північно-західному шельфі Чорного моря, що виникають під дією природних і техногенних чинників, супроводжуються різноманітними змінами морфології черепашок форамініфер. Морфогенетичні ознаки служать об'єктивним свідченням порушення мінералоутворюючих функцій організмів і є інтегральним показником якості морського середовища при геотоксикологічних дослідженнях.

ЛІТЕРАТУРА

1. Брень Н. В. Использование беспозвоночных для мониторинга загрязнения водных экосистем тяжелыми металлами (Обзор) / Н. В. Брень. // Гидробиол. журн. – 1999. – Т. 35, №4. – С. 75-85.
2. Давиташвили Л. Ш. Изменчивость организмов в геологическом прошлом./ Л. Ш. Давиташвили. – Тбилиси: Мнцциереба, 1970. – 255 с.
3. Кешмен Д. Фораминиферы: Пер. с англ. / Д. Кешмен– М.-Л.: ОНТИ, 1933. – 459 с.
4. Кравчук А. О. Современные изменения условий осадконакопления и бентосные фораминиферы как индикаторы загрязнения северо-

западного шельфа Черного моря / А. О. Кравчук // Проблемы геотоксикологии. – Одесса, 2002.

5. Кравчук А. О. Новый принцип оптимальной оценки техногенных нарушений в морской среде/ А. О. Кравчук, О. П. Кравчук. // Мінералогія в Одесі на межі тисячоліть. – Одеса, 2000.

6. Кравчук О. П. Геотоксикология морской среды./ О. П. Кравчук, В. П.Пунько, В. Н. Кадурин, И. А. Сучков. – Одесса: Астропринт, 1996. – 216 с.

7. Янко В. Позднечетвертичные фораминиферы Черного моря. / В. Янко, Т. Троицкая. – М.: Наука, 1987. – 111 с.

8. Alve E. Benthic foraminifera in sediment cores reflecting heavy metal pollution in Sorfjord, Western Norway /E. Alve. // Journ. of Foraminiferal Research. – 1991. - №21. – P. 1-19.

9. Murray J. Recent foraminifera from the North Sea (Forties and Ekofisk areas) and the continental shelf west of Scotland / J. Murray. // Journal of Micropaleontology. – 1985. - № 4. – P. 117-125.

10. Yanko-Hombach V. Benthic foraminifera of intercontinental basins: Implication for pollution monitoring / V.Yanko-Hombach, V. Bresler, I.

Motnenko, N. Avsar, A. Kravchuk // Second International Conf. Applications of Micro- and Meioorganisms to Environmental Sciences. - Winnipeg (Canada). – 2000.

11. Yanko V. Morphology and anatomy framboidal iron sulfides in foraminiferal tests and marine sediments./ V. Yanko, O. Kravchuk // Israel Geol. Soc., Annual Meeting, Ashkelon-Israel, Abstracts Volume. (1992) – P. 171 - 172.

Надійшла до редколегії

УДК 504.056:(282.243.7)

О. П. МИРОШНИЧЕНКО

Український науково-дослідний інститут екологічних проблем

вул. Бакуліна, 6, м. Харків, 61166

elena.miroshnich@bk.ru

МИГРАЦИЯ ВАЖКИХ МЕТАЛЛОВ У ВОДНЫХ ОБЪЕКТАХ (НА ПРИКЛАДЕ р. УДИ)

Досліджено особливості розподілу важких металів в різних компонентах водної екосистеми р. Уди. Встановлено, що молюски *Unio pictorum* (Philipsson., 1788) і *Anadonta cygnea* (Lamarck, 1799) переважно накопичують цинк та мідь. Розраховані коефіцієнти накопичення важких металів молюсками по відношенню до води і донних відкладів.

Ключові слова: донні відклади, важки метали, молюски, коефіцієнт акумуляції

Miroshnichenko O. P. MIGRATION OF HEAVY METALS IN WATER BODIES (EXAMPLE ON THE UDY RIVER)

The features of the distribution of heavy metals in various components of aquatic ecosystem of the Uda river were investigated. It was found that *Unio pictorum* (Philipsson., 1788) and *Anadonta cygnea* (Lamarck, 1799) molluscs accumulated mainly zinc and copper. The accumulation coefficients of heavy metals by molluscs in relation to water and bottom sediments were estimated

Keywords: bottom sediments, heavy metals, molluscs, accumulation coefficients

Мирошниченко Е. П. МИГРАЦИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ВОДНЫХ ОБЪЕКТАХ (НА ПРИМЕРЕ р. УДЫ)

Исследованы особенности распределения тяжелых металлов в различных компонентах водной экосистемы р. Уды. Установлено, что моллюски *Unio pictorum* (Philipsson., 1788) и *Anadonta cygnea* (Lamarck, 1799) преимущественно накапливают цинк и медь. Рассчитаны коэффициенты накопления тяжелых металлов моллюсками по отношению к воде и донных отложений.

Ключевые слова: донные отложения, тяжелые металлы, моллюски, коэффициент аккумуляции

ВСТУП

З хімічних речовин, що забруднюють водні об'єкти, велику загрозу для життєдіяльності гідробіонтів представляють важкі метали та їх сполуки. небезпека полягає в здатності важких металів до акумуляції в різних компонентах екосистеми, так як, на відміну від органічних забруднюючих речовин, які з часом виводяться з екосистеми, вони здатні зберігати біологічну активність практично нескінченно [1].

Двостулкові молюски є однією з функціональних ланок водних екосистем, через

які проходять потоки мікроелементів з подальшою їх аккумуляцією в донних відкладах. За способом живлення їх відносять до фільтраторів. Молюск довжиною 20-30 мм пропускає за добу 1,5-2,0 л води [2]. За даними Міхєєва В. П. [3] в літній період на 1 г сирової маси молюск відфільтрує 30 мл води за 1 годину і виділяє за той же період екскрементів і псевдофікалій до 0,001 мл. Завдяки цьому молюски сприяють очищенню води через накопичення у м'яких тканинах різних мікроелементів, в тому числі важких металів.

