

АДАПТИВНА ЗДАТНІСТЬ СИСТЕМИ АНТИОКСИДАНТНОГО ЗАХИСТУ ТА МЕТАЛ-АКУМУЛЮЮЧОЇ ФУНКЦІЇ У ТКАНИНАХ ЛЕГЕНЕВОГО МОЛЮСКА *LYMNAEA STAGNALIS* ЗА ВПЛИВУ УМОВ ПРИРОДНОГО СЕРЕДОВИЩА

Л. Л. Гнатишина¹, Х. Б. Прийдун¹, Г. І. Фальфушинська¹, О. А. Олейник²,
О. О. Боділовська², О. П. Голубев², О. Б. Столяр¹

¹Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка,
²Міжнародний державний екологічний університет імені А. Д. Сахарова

*Водні легеневі молюски вважаються відносно резистентними видами до впливу навколишнього середовища. Для уточнення цієї інформації визначались елементний склад мушлі і показники оксидативного стресу у ставковика *Lymnaea stagnalis* з індустріальної, радіоактивно забрудненої і відносно чистих місцевостей України та Республіки Білорусь. Результати продемонстрували вищий вміст Sr у мушлі молюсків, взятих з природних водойм України, і Cu, Fe і Mn у молюсків з Білорусі ($p < 0,05$). Така відмінність може бути результатом впливу специфічних абіотичних умов двох географічних регіонів. Показано найбільший рівень важких металів (Mn, Fe, Zn, Cd), а також Ba у молюсків індустріальної місцевості. Виявлено ознаки оксидативного стресу в молюсків індустріальної та радіоактивно забрудненої місцевостей згідно з високим вмістом карбонільних похідних білків і високої активності супероксиддисмутази, особливо в осінній період ($p < 0,05$). Редокс-індекс глутатіону був чутливим показником якості навколишнього середовища, маючи найнижче значення, $0,69 \pm 0,03$, у молюсків індустріальної місцевості.*

Ключові слова: ЛЕГЕНЕВІ МОЛЮСКИ, *LYMNAEA STAGNALIS*, ОКСИДАТИВНИЙ СТРЕС, ГЛУТАТІОН, ВАЖКІ МЕТАЛИ, ЗАБРУДНЕННЯ СЕРЕДОВИЩА

Легеневі молюски є невід'ємною частиною кормового раціону низки видів бентичних риб, а також водоплавних і болотяних птахів. Разом з тим, ці молюски є проміжними і додатковими хазяїнами багатьох видів трематод, які призводять до зниження продуктивності рибництва, птахівництва та тваринництва [1]. Вважають, що у зв'язку із осілим способом існування молюски здатні накопичувати великі кількості забруднювачів середовища, в першу чергу, важких металів [2]. Проте ці факти встановлені переважно для двостулкових молюсків, причому морських видів [3, 4]. Більше того, часто невідомо, як позначається здатність накопичувати певні забруднювачі на життєвому статусі самого організму. Легеневі молюски вважаються досить толерантними до умов середовища організмами [5]. Проте це уявлення базується переважно на їх характеристиках на морфологічному та популяційному рівні, а також у лабораторних експериментах, тоді як стан біохімічних антистресорних систем організму за умов існування у природних водоймах вивчався у них фрагментарно [6]. У лабораторному експерименті було показано, що токсичність середовища суттєво позначається на здатності легеневих молюсків переносити паразитів [7]. Тому метою дослідження стало оцінити адаптивну здатність легеневих водних молюсків у природних умовах існування різної якості за показниками системи антиоксидантного захисту, як характеристики стресорної відповіді, неспецифічної до природи чинника, та елементного складу мушлі, який відображає акумулюючу здатність молюска. Представлені результати

включають матеріали дослідження у два сезони (літо і осінь), що дає можливість розрізнити тимчасові та постійні особливості характеристик молюсків у певній місцевості.

Матеріали і методи

Дослідження проводились у липні та вересні 2009 р. на особинах легеневого молюска *Lymnaea stagnalis* (Linné, 1758). На території Білорусії екземпляри були відібрані з озера Нароч ($54^{\circ}51'09''$ пн. ш., $26^{\circ}44'59''$ сх. д.), що вважалась чистою місцевістю у рекреаційній зоні, р. Свіслоч ($53^{\circ}55'00''$ пн. ш. $27^{\circ}33'00''$ сх. д.) у районі м. Мінськ (комбіноване промислово-муніципальне забруднення) та (вересень) з р. Прип'ять у м. Мозир ($52^{\circ}3'$ пн. ш., $29^{\circ}14'$ сх. д.) у місцевості постійного промислово-муніципального та радіаційного забруднення. В Україні молюсків відбирали на р. Серет вище м. Тернопіль у його водозабірній зоні близько с. Івачів ($49^{\circ}49'$ пн. ш., $25^{\circ}23'$ сх. д.) та на відгалуженнях р. Серет поблизу автомагістралі нижче Тернопільського ставу ($49^{\circ}33'$ пн. ш., $25^{\circ}37'$ сх. д.).

Екземпляри молюсків відбирали траловим методом на глибині близько 0.5 м і доставляли в лабораторію у воді із природної водойми, де досліджували протягом не більше як 24 год після відбору. Використовували молюсків без ознак наявності паразитарних інвазій трематодами, що виявляли шляхом мікроскопіювання гістопрепаратів, виготовлених на живому матеріалі гепатопанкреаса. Під час транспортування молюсків воду піддавали аерації. Тварин вимірювали (до мм) і зважували (до мг). Для дослідження відбирали тканину травної залози молюска.

Всі процедури з відбору і обробки тканин проводили на холоді. Всі реактиви, крім нижчезазначених, були фірми «Реахим» кваліфікації «хч».

Стан антиоксидантної системи оцінювали за активністю ферменту антиоксидантного захисту супероксиддисмутази (СОД) [КФ 1.15.1.1]; загальним вмістом глутатіону (GSH) та редокс індексом глутатіону (RI GSH), обчисленим за співвідношенням різниці вмісту GSH та окисненого глутатіону (GSSG), як $\frac{[GSH]-[GSSG]}{[GSH]}$, де квадратними дужками позначаються концентрації відповідної форми глутатіону в мкмоль/г тканини. Активність СОД вимірювали за зниженням швидкості відновлення нітротетразолію синього в присутності феназинметасульфату і НАДН [8]. Вміст GSH визначали після повного відновлення глутатіону глутатіонредуктазою з використанням дитіонітробензойної кислоти (ДТНБ), а окисненого глутатіону (GSSG) — після обробки проби вінілпіридином у кінцевій концентрації 2 % [9]. Окисні модифікації білків (ОМБ) визначали за їх здатністю утворювати 2,4-динітрофенілгідразони [10] при інкубації проб у присутності 0,1 М 2,4-динітрофенілгідразину (ДФГ) у 2 М НСІ. Вміст білків вимірювали у розчинній фазі гомогенату за методом Лоурі, використовуючи 1 % розчин альбуміну як стандарт [11].

Вміст хімічних елементів у мушлі вимірювали рентгено-флуоресцентним методом на спектрометрі СЕР-001 після подрібнення підсушених зразків та спресовування у таблетки діаметром 10 мм.

Результати вимірів у гомогенатах тканини подані у вигляді $M \pm m$ для 8 тварин. Вірогідність відхилення двох рядів значень обчислювали з використанням t-тесту Стьюдента. Вірогідною вважали відмінність між рядами за $p < 0,05$. Використовували комп'ютерні програми Statistica v 7.0 та Excel для Windows-2000.

Результати й обговорення

Одержані результати показали, що молюски з Білорусії та України суттєво відрізняються за складом макроелементів неметалів та мікроелементів у мушлі, тоді як за вмістом головних металів, кальцію та калію істотних змін між окремими групами тварин не спостерігали (табл. 1). Так, у молюсків з України був відзначений значно вищий (у 6–7 разів)

вміст стронцію, тоді як у молюсків, відібраних у Білорусії, був істотно вищим вміст міді, заліза і марганцю, ніж у групі порівняння. Співвідношення кількості життєво необхідних елементів у мушлі Mn:Fe:Cu:Zn для молюсків обох груп з України має діапазон порядку 1200:350:10:1, а для обох груп молюсків з Білорусії — 400:200:1,5:1. Такі принципові відмінності можуть суттєво позначитись на структурі тканини мушлі та метаболізмі у м'яких тканинах. Слід зазначити, що акумуляція та детоксикація металів у ставковика не досліджені, тоді як у легеневиx наземних молюсків виявлено наявність чутливих регуляторних механізмів цих процесів [12].

Поряд з принциповими відмінностями між географічно віддаленими місцевостями спостерігались і особливості, залежні від локальних умов існування. Найвищий вміст важких металів (марганцю, заліза, цинку, кадмію), а також барію був відзначений у місцевості промислової активності (Свіслоч). Серед макроелементів найвищий вміст сірки був відзначений у молюсків з Івачева (чиста місцевість), тоді як хлору — у Тернополі, де вода піддається знезараженню шляхом хлорування. Звертає увагу на себе особливість метал-акумуляуючої здатності мушлі ставковика, зокрема відносно низький вміст есенціальних металів міді та цинку порівняно із марганцем.

Таблиця 1

Елементний склад мушлі ставковика із різних місцевостей у вересні (мкг/г), (M±m, n=8)

Елемент	Івачів	Тернопіль	Нароч	Свіслоч
S	12534,32±1336,20	6784,88±963,82a	8419,36±1209,60b	8700,79±1095,20
Cl	5240,35±737,83	11426,42±1068,60a	7839,73±996,54b	7072,78±843,35
K	6100,36±352,27	6921,50±367,87	5673,44±375,00	7031,50±372,09c
Ca	843920,00±3127,60	862370,80±3100,00	731095,00±321340b	869885,00±3124,10
Ti	63,90±14,37	0	0	0
Cr	11,43±4,12	0	9,94±4,22	9,48±3,70
Mn	129,95±11,23	248,83±15,24a	273,18±17,97b	928,83±29,54c
Fe	34,27±4,48	57,02±5,67a	288,38±14,35b	616,45±18,70c
Co	0,50±0,48	1,50±0,81	1,22±0,82	0
Ni	14,64±2,16	14,43±2,10	13,38±2,28	13,82±2,07
Cu	1,25±0,52	1,94±0,63	4,91±1,14b	4,39±0,96
Zn	0,19±0,18	0,18±0,18	0,47±0,31	3,07±0,71c
As	0,15±0,14	0	0,18±0,16	0,15±0,13
Br	0,59±0,27	0	0,54±0,28	0
Rb	0,39±0,20	0,50±0,22	0,64±0,28	0,64±0,25
Sr	611,34±7,17	573,16±6,80a	86,54±2,98b	101,43c±2,87
Cd	2,04±0,94	1,30±0,75	1,64±0,95	3,26±1,18c
Ba	40,55±8,48	50,71±9,28	41,85±9,49	65,75±10,60c
Hg	0,43±0,24	0,40±0,22	0,26±0,20	0,62±0,28
Pb	0,62±0,28	0	0,75±0,34	0
Bi	0,62±0,28	0,80±0,31	0,76±0,34	0,63±0,28

Примітка: а, с — відмінності вірогідні порівняно з умовно чистими місцевостями в Україні (а) та Білорусії (с), b — відмінності між умовно чистими місцевостями в Україні та Білорусії, p < 0,05; 0 — нижче межі детекції

Для ставковика із Республіки Білорусь, у якого були відзначені особливо помітні відмінності між складом металів залежно від якості довкілля, визначались і показники оксидативного стресу та морфометричні характеристики. Оцінка стану системи антиоксидантного захисту дозволила з'ясувати особливості неспецифічних адаптацій молюсків у кожній місцевості та залежно від сезону (табл. 2). Разом з тим, не вдалось виявити спільні сезонні закономірності для цих показників (за виключенням вмісту білка), що говорить про істотний вплив місцевості на сезонні характеристики. Для СОД специфіка

місцевості спостерігалась в осінній період, коли у двох забруднених місцевостях, особливо у Мозирі, її активність була значно вища, ніж у Нарочі. Такі результати, очевидно, слід розцінювати як адаптивні пристосування до більш ефективного процесу дихання в екстремальних умовах. Можливо, легеневий спосіб дихання надає цим водним тваринам переваги у токсичному середовищі над дихаючими зябрами водними тваринами, у яких за екстремальних умов спостерігається часто пригнічення активності ферментів детоксикації активних форм кисню [13–15].

Вміст GSH має найвищу амплітуду коливань серед досліджуваних характеристик оксидативного стресу, особливо у молюсків зі Свіслочі, у яких після високих значень у літній період спостерігається виснаження показників системи глутатіону восени. При цьому у літній період RI GSH набуває у цій групі мінімального значення. Восени відновний стан глутатіону підтримується на високому рівні у всіх трьох групах. Особливості динаміки системи глутатіону в молюсків із Свіслочі, на нашу думку, можна трактувати як активацію в літній період, ймовірно у зв'язку із залученням у виведення токсичних сполук, про що свідчить низьке значення RI GSH. Це могло призвести до виснаження цього поліфункціонального тіолу в осінній період. Суперечливість у відповіді залежно від концентрації токсиканту була описана і для активності ферментів обміну амінокислот ставковика за дії відносно низької та високої концентрацій кадмію на організм [6]. Про втрату ефективності антиоксидантного захисту восени у молюсків із Свіслочі свідчить високе значення вмісту карбонільних похідних білків. Однак високим є цей показник і для молюсків із Мозиря, незважаючи на активний стан ферментної та неферментної ланок антиоксидантного захисту.

Таблиця 2

Стан системи антиоксидантного захисту у травній залозі ставковика *Lymnea stagnalis* (M±m, n=8)

Параметр	Місцевість	Липень	Вересень
СОД, у.о./мг білків	Нароч	0,62±0,12	0,28±0,04
	Свіслоч	0,58±0,03	0,53±0,07a
	Мозир	X	1,35±0,16a
Загальний глутатіон, нмоль/г тканини	Нароч	70,10±9,80	180,10±7,20b
	Свіслоч	410,20±20,40a	30,20±7,10a,b
	Мозир	X	210,40±40,20
Редокс-індекс глутатіону	Нароч	0,82±0,05	0,92±0,09b
	Свіслоч	0,69±0,03a	0,95±0,05a,b
	Мозир	X	0,95±0,07a
Карбонільні похідні білків, мкмоль/г тканини	Нароч	0,90±0,10	1,30±0,10b
	Свіслоч	1,10±0,10a	2,90±0,60a,b
	Мозир	X	2,50±0,30a
Розчинний білок, мг/г тканини	Нароч	51,40±2,20	157,40±13,60
	Свіслоч	71,20±2,20a	145,30±10,30
	Мозир	X	114,40±12,10

Примітка: X — показник не визначали; a — вірогідна відмінність між місяцями вилову у порівнянні з умовно чистою місцевістю; b — вірогідна відмінність між сезонами, $p < 0,05$

За морфологічними характеристикою молюски не несуть ознак тривалого впливу несприятливих умов існування у певній місцевості (табл. 3). Щодо можливого радіоактивного впливу в м. Мозир, з офіційних джерел відомо, що активність цезію-137 та стронцію-90 у м. Мозир все ще перевищує (за даними на 2005 р.) доаварійні рівні, хоча і

середньорічні концентрації цих ізотопів значно нижчі затверджених у країні нормативів, а значне підвищення вмісту цезію-137 (проте в межах санітарно-гігієнічних нормативів) [16]. Разом з тим, наші дані свідчать, що внесок стронцію в елементну композицію мушлі значно суттєвішій у моллюсків з Івачева, який вважається екологічно чистою територією. Цей факт може бути пояснений близьким розташуванням до санітарної зони Івачівського водозабору сміттєзвалища м. Тернопіль [17], на чому акцентувалось у зв'язку із загостренням ситуації навколо проблеми утилізації відходів у м. Тернопіль восени 2009 р. Проте високий вміст стронцію був єдиною ознакою забруднення середовища для моллюска на р. Серет.

Таблиця 3

Результати морфометричних промірів моллюсків ($M \pm m$, $n=40$)

Параметр	Група	Показники у липні	Показники у вересні
Загальна маса тварини, г	Нароч	3,80±0,50	3,70±1,70
	Свіслоч	4,30±0,50	4,10±1,50
	Мозир	X	3,90±1,70
Маса травної залози, г	Нароч	0,23±0,04	0,31±0,14
	Свіслоч	0,28±0,04	0,28±0,10
	Мозир	X	0,31±0,18
Висота мушлі, см	Нароч	4,20±0,40	3,90±0,60
	Свіслоч	4,40±0,50	4,10±0,60
	Мозир	X	4,10±0,50
	Нароч	X	
Гепатосоматичний індекс	Свіслоч	6,10±0,60	9,00±3,30b
	Мозир	6,30±1,00	6,80±2,00a
	Нароч	X	6,90±2,00a

Примітка: X — показник не визначали; a — вірогідна відмінність між місцями вилову у порівнянні з умовно чистою місцевістю; b — вірогідна відмінність між сезонами, $p < 0,05$

Висновки

Вивчення морфологічних, хімічних та біохімічних характеристик легеневого моллюска ставковика *Lymnaea stagnalis* показало, що у природних умовах існування спостерігається широкий спектр варіабельності вмісту окремих елементів та стану показників оксидативного стресу на тлі стабільних морфометричних даних. На рівні елементного складу мушлі легеневі моллюски чутливо реагують як на географічні особливості, так і на стан забруднення довкілля. Для показників системи антиоксидантного захисту токсичність середовища є визначальним чинником у порівнянні із впливом спільних сезонних та географічних чинників. Вміст карбонільних похідних білків може бути рекомендованим для оцінки токсичності середовища для легневих моллюсків.

Перспективи подальших досліджень. Проведене дослідження робить перспективним використання біохімічних маркерів легеневого моллюска *Lymnaea stagnalis* для оцінки токсичності середовища. Планується дослідити біохімічні характеристики та вміст металів у ставковика з обраних місцевостей в умовах експериментального впливу модельних чинників. На підставі порівняння результатів досліджень у природних популяціях та за дії модельних токсикантів у лабораторних умовах на тварин із різних популяцій буде оцінено ефективність сформованих у них адаптацій.

Робота виконувалась в рамках спільних міжнародних науково-технічних проектів за підтримки ДФФД №Ф29/321-2009 та МОН України в рамках № М/13-2009.

*L. L. Gnatyshyna, Ch. B. Pryidun, H. I. Falfushinska,
O. A. Oleinyk, O. O. Bodylovska, O. P. Holubev, O. B. Stoliar*

ADAPTIVE ABILITY OF THE ANTIOXIDANT DEFENCE SYSTEM AND METAL-ACCUMULATION FUNCTION IN TISSUES OF PULMONARY POND SNAIL *LYMNAEA STAGNALIS* UNDER NATURAL CONDITIONS

S u m m a r y

Aquatic pulmonate molluscs are considered to be relatively resistant to environmental impacts. To verify this statement, the elemental composition of the shell and oxidative stress response were determined in the pond snail *Lymnaea stagnalis* from industrial, contaminating radioactivity and comparatively undisturbed areas in Ukraine and Republic of Belarus. The results demonstrated higher levels of Sr in the shell of snails derived from Ukrainian water bodies and of Cu, Fe and Mn in the snails from Belarusian water bodies as compare to counterpart ($p < 0,05$). This difference might be the result of peculiar abiotic conditions in two geographical regions. The highest levels of heavy metals (Mn, Fe, Zn, Cd) and also Ba were indicated in the snails from the industrial site. The oxidative injure was shown in snails from the industrial and contaminating radioactivity sites due to high levels of protein carbonyls and superoxide dismutase ($p < 0,05$). The redox-index of glutathione was sensitive to environmental quality and went down to $0,69 \pm 0,03$ in snails from the industrial site.

*Л. Л. Гнатишина, Х. Б. Прийдун, Г. И. Фальфушинская,
О. А. Олейник, О. А. Бодиловская, А. П. Голубев, О. Б. Столяр*

АДАПТИВНАЯ СПОСОБНОСТЬ СИСТЕМЫ АНТИОКСИДАНТНОЙ ЗАЩИТЫ И МЕТАЛЛ-АККУМУЛИРУЮЩЕЙ ФУНКЦИИ У ТКАНЯХ ЛЕГОЧНОГО МОЛЛЮСКА *LYMNAEA STAGNALIS* ПРИ ВЛИЯНИИ УСЛОВИЙ ЕСТЕСТВЕННОЙ СРЕДЫ

А н н о т а ц и я

Водные легочные моллюски считаются относительно резистентными видами к влиянию окружающей среды. Для выяснения этого факта был определен элементный состав раковины и показатели оксидативного стресса у прудовика *Lymnea stagnalis* из индустриальной, радиактивно загрязненной и условно чистых местностей Украины и Республики Беларусь. Результаты продемонстрировали более высокое содержание Sr в раковинах моллюсков из водоемов Украины и Cu, Fe и Mn у моллюсков из Беларуси ($p < 0,05$). Такое отличие может быть результатом влияния специфических абиотических условий двух географических регионов. Показан наибольший уровень тяжелых металлов (Mn, Fe, Zn, Cd) а также Ba у моллюсков из индустриальной местности. Обнаружены признаки оксидативного стресса у моллюсков индустриальной и радиоактивной местностей согласно высокого уровня карбонильных производных белков и высокой активностью супероксиддисмутазы, особенно в осенний период ($p < 0,05$). Редокс-индекс глутатиону являлся чувствительным показателем качества окружающей среды и имел наименьшее значение, $0,69 \pm 0,03$, у моллюсков индустриальной местности.

1. *Golubev A. P.* The current state of pond snail *Lymnaea stagnalis* populations from water reservoirs of the Chernobyl nuclear accident zone / A. P. Golubev, V. Afonin, S. Maksimova, V. Androsov // Radioprotection. — 2005. — Vol. 40. — P. 511–517.

2. Пинкина Т. В. Влияние тяжелых металлов на биологические характеристики прудовика озерного (*Lymnaea stagnalis* L.) из водоемов с различным уровнем радионуклидного загрязнения / Т. В. Пинкина // Гидробиологический журнал. — 2010. — Том 46, № 1. — С. 107–117.
3. Viganò L. Interactions between trophic and toxic factors in a polluted urban river / L. Viganò, L. Patrolecco, S. Polesello, R. Pagnotta // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. — 2008. — Vol. 69, № 1. — P. 49–57.
4. McGeer J. C. Inverse relationship between bioconcentration factor and exposure concentration for metals: implications for hazard assessment of metals in the aquatic environment / J. C. McGeer, K. V. Brix, J. M. Skeaff et al. // *Environ. Toxicol. Chem.* — 2003. — Vol. 22, № 5. — P. 1017–1037.
5. Desouky M. M. Effect of orthosilicic acid on the accumulation of trace metals by the pond snail *Lymnaea stagnalis* / M. M. Desouky, C. R. McCrohan, R. Jugdaohsingh et al. // *Aquat. Toxicol.* — 2003. — Vol. 64. — P. 63–71.
6. Masola B. Potential marker enzymes and metal–metal interactions in *Helisoma duryi* and *Lymnaea natalensis* exposed to cadmium / B. Masola, M. Chibi, E. Kandare et al. // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. — 2008. — Vol. 70. — P. 79–87.
7. Morley N. J. Cadmium toxicity and snail-digenean interactions in a population of *Lymnaea* spp. / N. J. Morley, M. Crane, J. W. Lewis // *J. Helminthol.* — 2003. — Vol. 77. — P. 49–55.
8. Beauchamp C. Superoxide dismutase: improved assay and an assay applicable to acrylamide gels / C. Beauchamp, I. Fridovich // *Anal. Biochem.* — 1971. — Vol. 44. — P. 276–287.
9. Griffith O. W. Determination of Glutathione and Glutathione Disulfide Using Glutathione Reductase and 2-Vinylpyridine / O. W. Griffith // *Anal. Biochem.* — 1980. — № 106. — P. 207–212.
10. Reznick A. Z. Oxidative damage to proteins: spectrophotometric / A. Z. Reznick, L. Packer // *Methods Enzymol.* — 1994. — Vol. 233. — P. 357–363.
11. Lowry O. H. Protein measurement with folin phenol reagent / O. H. Lowry, H. J. Rosebrough, A. L. Farr, R. J. Randall // *Journal of Biological Chemistry*. — 1951. — Vol. 191. — P. 265–275.
12. Chabicoovsky M. Mechanisms of cadmium toxicity in terrestrial pulmonates: programmed cell death and metallothionein overload / M. Chabicoovsky, W. Klepal, R. Dallinger // *Environ. Toxicol. Chem.* — 2004. — № 23 (3). — P. 648–655.
13. Falfushynska H. I. Multi-biomarkers approach in different organs of *Anodonta cygnea* from the Dnister basin (Ukraine) / H. I. Falfushynska, L. Delahaut, O. B. Stolyar et al. // *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*. — 2009. — Vol. 57, № 1. — P. 86–95.
14. Kelly K. A. Oxidative stress in toxicology: established mammalian and emerging piscine model systems / K. A. Kelly, C. M. Havrilla, T. C. Brady et al. // *Environ. Health Perspect.* — 1998. — № 106. — P. 375–384.
15. Stolyar O. B. Comparison of metal bioavailability in frogs from urban and rural sites of Western Ukraine / O. B. Stolyar, N. S. Loumbourdis, H. I. Falfushynska, L. D. Romanchuk // *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*. — 2008. — Vol. 54, № 1. — P. 107–113.
16. Национальная система мониторинга окружающей среды Республики Беларусь [Электронный ресурс] / Доступ к инф. : <http://ecoinfoby.net/texts/?cat=9&year=2005&text=165>
17. Європейські експерти: Україна не здатна належно реагувати на катастрофи [Електронний ресурс] / Режим доступу до інф. : <http://www.pravda.com.ua/news/2005/5/19/4504.htm%206>.

Рецензент: доктор біологічних наук, професор Г. Л. Антоняк.