



ПРОУЧВАНЕ ПРОЦЕСИТЕ НА РАЗПРЕДЕЛЕНИЕ, ДЕПОНИРАНЕ И ТРАНСФЕР НА КАДМИЙ И ЦИНК В ОРГАНИЗМА НА РИБИ

Таня Ч. Дък, Илиана Г. Велчева, Борислава А. Тодорова

*ПУ „Паисий Хилендарски“, Биологичен факултет,
Катедра „Екология и ООС“, ул. „Цар Асен“ 24, 4000 Пловдив*

Abstract. By applying various mathematical and statistical methods we analyzed the distribution of cadmium and zink in organs of *Alburnus alburnus* and *Perca fluviatilis* from dam lake „Topolnitsa“. We recorded an accumulation of the heavy metals in the kidneys and the liver. We also recorded that the studied species of fish are macroconcentrators for cadmium and zink and there is a process of biomagnifications of the metals on the trophic levels.

Key words: fishes, cadmium, zink, transfer, accumulation

ВЪВЕДЕНИЕ

Непрестанното нарастване на производството и потреблението на тежките метали доведе до налагането им като един от основните замърсители с голямо влияние върху организмовия свят.

Негативното влияние на тежките метали върху рибите е свързано с нарушаване на биохимичните и физиологичните процеси в организма. При проследяване на сублеталните хронични концентрации на тежките метали интерес представлява проучването и установяване на съдържанието, разпределението и трансфера по трофичните нива на тези елементи. Подобни данни се срещат в работите на RUANGSOMBOON & WONGRAT (2006), AL-YOUSUF *et al.* (2000), GBEM *et al.* (2001), MANSOUR & SIDKY (2002), YILMAZ *et al.* (2007).

Чрез прилагане на различни математически подходи в работите на VELCHEVA & NONCHEVA (2001) и NONCHEVA & VELCHEVA (2001) се описват модели на разпределение и взаимозависимости между съдържанието на тежки метали в органите и тъканите на рибите, а също така и синергичните и антагонистични връзки между самите тежки метали.

Язовир „Тополница“ се намира в район, подложен на постоянно дългогодишно замърсяване с тежки метали. Основните замърсители в района на яз. „Тополница“ са свързани с добива и преработка на медни руди в МОК

Асарел – Медет ЕАД – гр. Панагюрище, МДК – гр.Пирдоп и флотационна фабрика в с. Челопеч. Откритите рудници и отпадните материали получени от тях са причина за сериозни увреждания на околната среда и изменение в ландшафта на района. Според направените в района изследвания, постоянни компоненти на водите са Fe, Mn, Ni, Cu, Ba, Mo, Al, често се установяват Zn, Cd, Pb, Co, Ti, Sr, а по-рядко Ga, V, Ag, P, As. Почти всички изброени тежки метали се съдържат в концентрации над фоновете.

МАТЕРИАЛИ И МЕТОДИ

В хода на проучването са използвани база данни за съдържание на тежките метали кадмий и цинк във водата и организма на *Alburnus alburnus* и *Perca fluviatilis* от язовир „Тополница“.

За установяване съдържанието на Cd и Zn на анализ са подложени следните органи и тъкани от двата вида риби: хриле, кости, мускули, храносмилателна система, черен дроб и бъбреци. Посочените тъкани и органи са избрани, изхождайки от физиологичното им значение за организма на рибите.

Съдържанието на Cd и Zn е определяно по метода на атомно – абсорбционната спектрофотометрия (ААС) с ацетилен въздушен пламък на апарат Percin Elmer – 308 в Централната химична лаборатория на Института за цветни метали – Пловдив.

За установяване степента на биоаккумуляция е приложен предложението от ПЕРЕЛЪМАН (ПО НИКАНОРОВ, 1985) коефициент на биоаккумуляция (КБ), който представлява отношението между съдържанието на метала в организма (органа) и съдържанието на метала във водата. В зависимост от стойността му според НИКАНОРОВ *et al.* (1985), животните хидробионти могат да се подредят в своеобразна класификация: макроконцентратори (КБ > 2); микроконцентратори (КБ = 1 до 2) и деконцентратори (КБ < 1).

Използван е и т.нар. коефициент на биомагнификация (биологично усилване), дефиниран от AMIARD & AMIARD–TRIQUET (1977), чрез които се установява биологично натрупване или акумулиране в по-високите нива на трофичната верига:

$$\text{КБМ} = \frac{\text{конц. на метала в троф. ниво } x}{\text{конц. на метала в троф. ниво } x-1}$$

В изследването костура е разгледан като вид на по-високото трофично ниво – на хищниците, от веригата във водните екосистеми. Уклейката е представена като вид на предходното трофично ниво – планктонояд.

При математическата обработката на резултатите е използвана програмата STATISTICA 5.0. Съдържанието на тежки метали при рибите е сравнявано по сезони, между видовете, между органите, между самите метали, между съдържанието на металите във водата и това в организма на рибите.

Приложени са параметрични критерии за статистически хипотези и тяхната проверка. Използван е T – критерият на Стюдънт, приложим за малък брой извадки ($n < 30$). Сравненията са извършени чрез оценка на средната разлика между извадки с двойки свързани зависими варианти. Резултатите са подложени и на корелационен анализ, чрез който става отчитане на коефициентите на корелация A_{xy} и степента на значимост на взаимовръзката. Проведен е и клъстерен анализ за групиране в сходни клъстери на изследваните органи според степента им на биоакумулация на тежките метали.

РЕЗУЛТАТИ И ОБСЪЖДАНЕ

Съдържание на Cd в тъканите и органите на Perca fluviatilis и Alburnus alburnus

В Таблица 1 са представени резултатите за количеството на изследваните метали във водите на язовир „Тополница“. Нивото на Cd остава постоянно за всички изследвани месеци ($< 0,001$ mg/l). Най-високо съдържание на Zn се отбелязва през летния период (3,462 mg/l), което е по-високо от ПДК (ПДК за Zn – $0,05$ mg/dm³).

Таблица 1. Съдържание на Cd и Zn във водата на яз. „Тополница“ по сезони

Сезон	Cd (mg/l)	Zn (mg/l)
Зима	<0,001	0,132
	<0,001	0,064
Пролет	<0,001	0,027
	<0,001	0,029
Лято	<0,001	0,064
	<0,001	3,462

При изследване на съдържанието на кадмий в организма на *Perca fluviatilis* и *Alburnus alburnus* са получени следните резултати (Таблица 2):

Нашите резултати за разпределение на кадмий в организма на рибите сочат най-високи нива в черен дроб и бъбреци и са сходни с посочените от AMUNDSEN ET AL., (1997), HAS-SCHÖN ET AL., (2008), WAQAR (2005). При статистическа обработка на резултатите (T-test) се доказва, че достоверно по-високо е съдържанието на кадмий в *Perca fluviatilis* в сравнение с това в *Alburnus alburnus* ($P < 0,001$).

Проведеният математически анализ на резултатите не показва достоверни разлики при сравняване съдържанието на кадмий между изследваните органи, независимо от посочените особености в разпределение на метала в органите по сезони.

Таблица 2. Съдържание на Cd в тъканите и органите на *Perca fluviatilis* и *Alburnus alburnus* по сезони, (mg/kg)

Сезон	Вид риба	Органи					
		черен дроб	бъбреци	хран. с-ма	мускули	хриле	кости
Зима	<i>Perca fluviatilis</i>	0,8929	2,7778	0,5314	0,2907	0,9009	0,6772
		0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	<i>Alburnus alburnus</i>	0,3571	1,5873	1,2097	0,5587	0,6579	0,6289
		0,4808	5,0000	1,4085	0,4739	0,9174	0,8333
Пролет	<i>Perca fluviatilis</i>	2,5316	1,9231	0,7519	0,0762	1,3661	0,7326
		0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	<i>Alburnus alburnus</i>	0,6061	6,6667	0,7732	0,4739	0,7092	0,5535
		1,0204	0,7813	0,2809	0,1078	0,5405	0,8734
Лято	<i>Perca fluviatilis</i>	1,5152	0,8333	0,9346	0,1524	0,1453	0,1190
		0,0000	69,0476	0,1543	0,0668	0,0000	0,0000
	<i>Alburnus alburnus</i>	0,6579	0,8929	0,5000	0,1429	0,0260	0,8475
		16,6667	2,0833	0,6098	0,1748	0,3378	0,2016

Корелационният анализ на данните за съдържание и разпределение на кадмий показва зависимост между съдържанието на кадмий в двойките органи: бъбреци-черен дроб ($P < 0,01$), черен дроб-храносмилателна система ($P < 0,01$), храносмилателна система-хриле ($P < 0,01$), кости-мускули ($P < 0,01$).

Средното съдържание на кадмий в изследваните видове риби показва вариране в зависимост от сезона (таблица 3). Математическата обработка на данните доказва, че и за двата вида количеството на метала по сезони се увеличава в следния ред: зима < пролет < лято.

Таблица 3. Средно съдържание на Cd при *Perca fluviatilis* и *Alburnus alburnus* по сезони, (mg/kg)

Сезон	<i>Perca fluviatilis</i>	<i>Alburnus alburnus</i>
Зима	6,0709	6,3762
Пролет	7,3816	6,6937
Лято	37,3741	9,0009

Ние считаме, че сезонната динамика в съдържанието на изследвания метал, се дължи на повишената физиологична активност на проучваните видове по време на размножителния период и лятото, когато храненето и обменните процеси бележат максимум.

Съдържание на Zn в тъканите и органите на *Perca fluviatilis* и *Alburnus alburnus*

Резултатите за съдържанието на цинк в организма на *Perca fluviatilis* и *Alburnus alburnus* са представени в Таблица 4:

Таблица 4. Съдържание на Zn в тъканите и органите на *Perca fluviatilis* и *Alburnus alburnus* по сезони, (mg/kg)

Сезон	Вид риба	Органи					
		черен дроб	бъбреци	хран. с-ма	мускули	хриле	кости
Зима	<i>Perca fluviatilis</i>	127,2321	416,6667	60,1243	88,6628	129,5045	98,7585
		0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	<i>Alburnus alburnus</i>	300,0000	194,4444	78,6290	111,0335	195,7237	144,6541
		331,7308	550,0000	401,4085	172,9858	302,7523	88,1944
Пролет	<i>Perca fluviatilis</i>	264,2405	274,0385	62,0301	80,7927	92,2131	90,2015
		0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	<i>Alburnus alburnus</i>	80,3030	516,6667	89,5619	102,3707	117,0213	86,2546
		163,2653	328,1250	48,4551	66,9431	125,0000	138,1004
Лято	<i>Perca fluviatilis</i>	897,7273	1875,0000	130,8411	298,7805	26,1628	298,8095
		0,0000	1077,3809	120,3704	81,9892	0,0000	0,0000
	<i>Alburnus alburnus</i>	210,5263	946,4286	347,8261	87,1429	52,0833	923,7288
		2479,1666	1500,0000	75,0000	155,5944	128,3784	100,8065

На базата на проведенният корелационен анализ установихме зависимост при натрупването на цинк за двойките органи: бъбреците спрямо черен дроб, черен дроб спрямо храносмилателна система, кости спрямо мускули, храносмилателна система спрямо хриле ($P < 0,01$). MURUGAN *et al.* (2008) също посочват, че в мускулите се установява най-ниско съдържание на тежки метали.

Получените резултати са сходни с тези за кадмий и показват, че сложни и взаимнообусловени процеси обуславят постъпването и разпределение на тези метали в органите и тъканите на изследваните видове риби.

При анализ на резултатите за средно съдържание на цинк (таблица 5) се установява, че най-висока степен на акумулация на тежкия метал, подобно на кадмий, се отбелязва през летния сезон.

Таблица 5. Средно съдържание на Zn при *Perca fluviatilis* и *Alburnus alburnus* по сезони, (mg/kg)

Сезон	<i>Perca fluviatilis</i>	<i>Alburnus alburnus</i>
Зима	920,9489	1266,7675
Пролет	863,5164	931,0337
Лято	3014,8807	3062,4681

Нашите резултати сочат, увеличаване на количеството на цинк в организма на изследваните риби по сезони в следния ред: пролет < зима < лято.

Те доказват влияние на фактора сезон върху процесите на постъпване и разпределение на тежките метали в организма на рибите и са подобни и на тези на други автори (MANSOUR & SIDKY, 2002; KARADEDE-AKIN & UNLÜ, 2007), които също установяват най-високи нива на металите през лятото.

Коефициент на биоаккумуляция (КБ) при изследваните видове риби

Коефициентът на биоаккумуляция (Таблица 6 и 7) е изчислен на база средното съдържание на всеки един от тежките метали (Cd и Zn) в организма на двата вида риби по сезони, съотнесено към това във водата на язовир „Тополница“.

Таблица 6. Коефициент на биоаккумуляция на кадмий

Сезон	Видове риби	
	<i>Perca fluviatilis</i>	<i>Alburnus alburnus</i>
Зима	6070,9000	6376,2000
Пролет	7381,6000	6693,7000
Лято	37374,1000	9000,9000

Таблица 7. Коефициент на биоаккумуляция на цинк

Сезон	Видове риби	
	<i>Perca fluviatilis</i>	<i>Alburnus alburnus</i>
Зима	5615,5421	7724,1921
Пролет	20807,6241	22434,547
Лято	1679,5993	1706,1104

Получените резултати за КБ показват, че за кадмий и цинк е налице доказана биоаккумуляция в рибите, като тя достига до 22 000 спрямо нивото на метала във водата.

Според класификацията на НИКАНОРОВ (1985) изследваните видове риби – *Perca fluviatilis* и *Alburnus alburnus* се отнасят към така наречените „макроконцентратори“ по отношение на тежки метали, за които е характерен КБ по-висок от 2.

Коефициент на биомагнификация (КБМ) при изследваните видове риби
Коефициентът на биомагнификация би могъл да се разглежда като модел за доказване начина на движението на тежки метали по звената на трофичната верига във водните екосистеми.

Резултатите от нашето изследване са представени в Таблица 8 и 9.

Таблица 8. Коефициент на биомагнификация на Cd

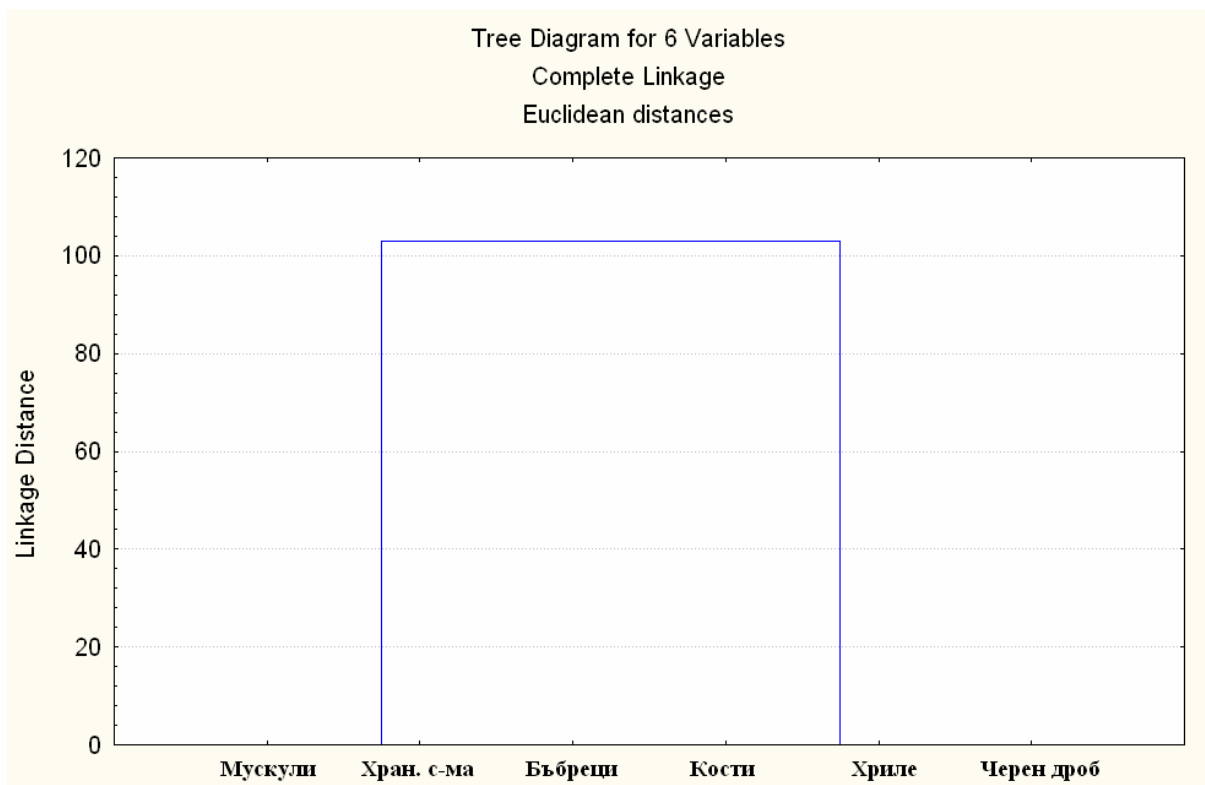
Сезон	Стойност на КБМ
Зима	0,9521
Пролет	1,1028
Лято	4,1523

Таблица 9. Коефициент на биомагнификация на Zn

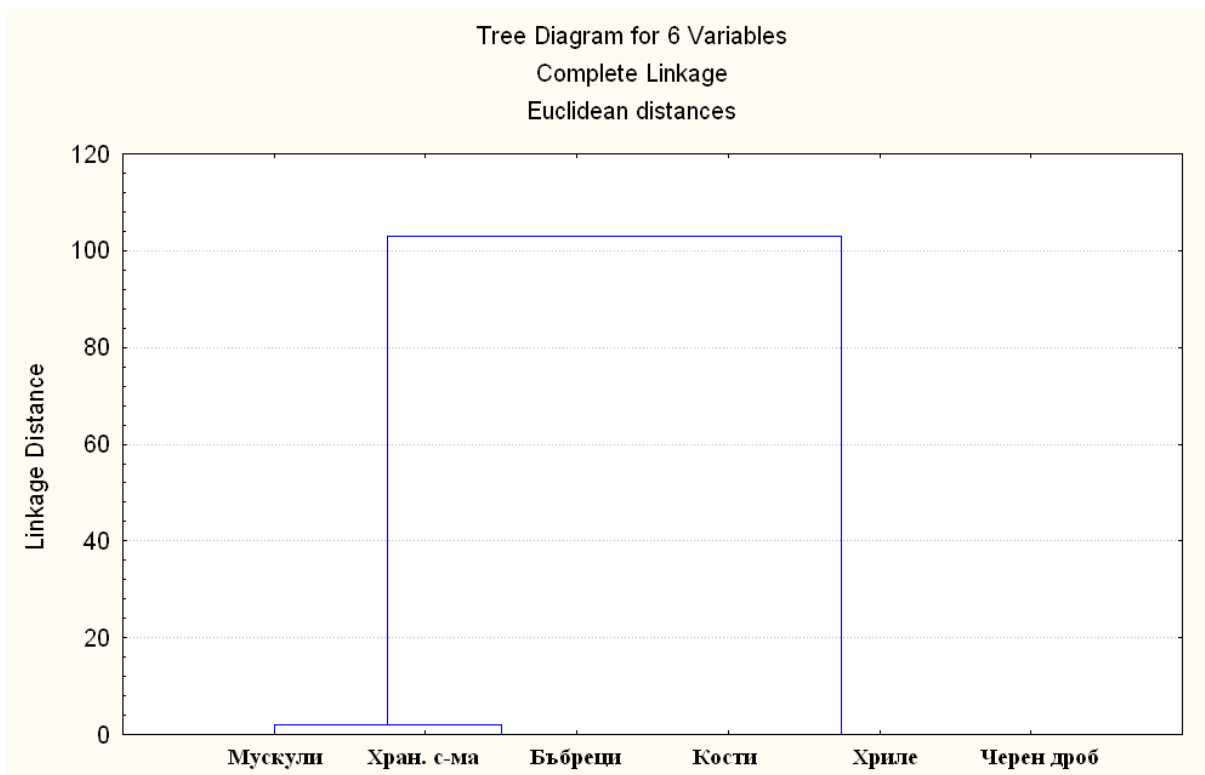
Сезон	Стойност на КБМ
Зима	0,7270
Пролет	0,9275
Лято	0,9845

Анализирайки получените резултати бихме могли да посочим, че процес на биомагнифициране е ясно изразен по отношение на кадмий, където КБМ превишава 1. Близки са резултатите за цинк, където, въпреки че КБМ е под 1, то в организма на вида от по-високо трофично ниво (*Perca fluviatilis*) е налице значително увеличаване количеството на метала. BURGER *et al.* (2002) посочват също увеличаване на нивото на метали по трофичната верига.

При математическата обработка на резултатите приложихме и клъстерен анализ. Той дава възможност да се групират изследваните органи според степента им на биоаккумуляция на тежките метали. Получените резултати са представени на Фиг. 1 и 2.



Фиг. 1. Клъстерен анализ на данни за Zn



Фиг. 2. Клъстерен анализ на данните за Cd

Разпределението на изследваните тъкани и органи по отношение на афинитета им към кадмий ги групира в три групи. В първата група са мускули и храносмилателна система, във втората са хриле и черен дроб, а в третата бъбреци и кости.

По отношение на цинк се оформят две групи – първата, включваща мускули, храносмилателна система и бъбреци и втората, включваща кости, хриле, черен дроб.

Получените от нас резултати потвърждават изказаното по-горе становище за ролята на физиологичната активност на органите в процеса на постъпване и задържане на тежките метали в тях.

За всички метали се оформят групи на метаболитно по-активни и метаболитно по-инертни тъкани и органи.

ИЗВОДИ

1. В организма на *Alburnus alburnus* и *Perca fluviatilis* за двата метала – кадмий и цинк се наблюдава тенденция за депониране основно в два органа – бъбреци и черен дроб, независимо от различното трофично ниво на рибите.

2. Установена е сезонна динамика в съдържанието на тежките метали, като най-високо ниво се доказва през сезон лято.

3. Изследваните видове риби – *Perca fluviatilis* и *Alburnus alburnus* се отнасят към така наречените „макроконцентратори“ по отношение на тежки метали, за които е характерен КБ по-висок от 2.

4. Процес на биомагнифициране се доказва за кадмий, където КБМ превишава 1.

5. Разпределението на тежките метали в изследваните тъкани и органи зависи от степента на тяхната физиологична активност, като по отношение на кадмий и цинк се оформят групи на метаболитно по-активни и метаболитно по-инертни тъкани и органи.

ЛИТЕРАТУРА

НИКАНОРОВ А. М., А. В. ЖУЛИДКОВ, А. Л. ПОКАРЖЕВСКИЙ, 1985. Биомониторинг тяжелых металлов в пресноводных экосистемах, Л. *Гидрометеоиздат*.

AL-YOUSUF, M. S. EL-SHAHAWI AND S. M. AL-GHAIS, 2000. Trace metals in liver, skin and muscle of *Lethrinus lentjan* fish species in relation to body length and sex. – *The Science of The Total Environment*, 256(2-3): 87-94.

AMUNDSEN PER-ARNE, FRODE J. STALDVIK, ANATOLIJ A. LUKIN, NIKOLAI A. KASHULIN, OLGA A. POPOVA AND YURI S. RESHETNIKOV, 1997. Heavy Metal Contamination In Freshwater Fish From The Border Region Between Norway And Russia. – *Science of The Total Environment*, 201(3): 211-224.

BURGER J., K.F. GAINES, C.S. BORING, W.L. STEPHENS, J. SNODGRASS, C. DIXON, M. MCMAHON, S. SHUKLA, T. SHUKLA, M. GOCHFELD, 2002. Metal Levels In Fish From The Savannah River: Potential Hazards To Fish And Other Receptors. – *Environmental Research*, 89(1): 85-97.

GBEM T. T., J. K. BALOGUN^A, F. A. LAWAL AND P. A. ANNUNE, 2001. Trace metal accumulation in *Clarias gariepinus* (Teugels) exposed to sublethal levels of tannery effluent. – *The Science of The Total Environment*, 271(1-3): 1-9.

HAS-SCHÖN E., IVAN BOGUT, VALENTINA RAJKOVIĆ, STJEPAN BOGUT, MILAN ČAČIĆ, JANJA HORVATIĆ, 2008. Heavy Metal Distribution in Tissues of Six Fish Species Included in Human Diet Inhabiting Freshwaters of the Nature Park „Hutovo Blato” (Bosnia and Herzegovina). – *Environ Contam Toxicol*, 54: 75-83.

KARADEDE-AKIN H, E. UNLÜ, 2007. Heavy metal concentrations in water, sediment, fish and some benthic organisms from tigris river, Turkey. – *Environ Monit Assess*, 131(1-3): 323-337.

MANSOUR S. A. AND M. M. SIDKY, 2002. Ecotoxicological Studies. 3. Heavy Metals Contaminating Water And Fish from Fayoum Governorate, Egypt. – *Food Chemistry*, 78(1): 15-22.

MURUGAN S., R. KARUPPASAMY, K. POONGODI, S. PUVANESWARI, 2008. Bioaccumulation Pattern of Zinc in Freshwater Fish *Channa punctatus* (Bloch.) After Chronic Exposure. – *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 8: 55-59.

NONCHEVA V., I. VELCHEVA, 2001. Heavy Metals Content in the Organs of Freshwater Fish: a Statistical Study. *Applications of Mathematics in Engineering and Economics ' 26*, eds. B. I. Cheshankov and M. D. Todorov, Heron Press, Sofia, 2001, 217 – 219.

RUANGSOMBOON S. AND LADDA WONGRAT, 2006. Bioaccumulation of cadmium in an experimental aquatic food chain involving phytoplankton (*Chlorella vulgaris*), zooplankton (*Moina macrocopa*), and the predatory catfish *Clarias macrocephalus* × *C. Gariepinus*. – *Aquatic Toxicology*, 78(1): 15-20.

VELCHEVA I., V. NONCHEVA, 2001. Forecasting the Zinc /Zn/ Content in the Muscles of the Freshwater Fish. – *Acta Zoologica Bulgarica*, 52 (2): 91-96.

WAQAR ASHRAF, 2005. Accumulation of Heavy Metals In Kidney And Heart Tissues Of Epinephelus Microdon Fish From The Arabian Gulf. – *Environmental Monitoring and Assessment*, 101(1-3): 311-316.

YILMAZ F., NEDIM ÖZDEMİR, AHMET DEMIRAK AND A. LEVENT TUNA, 2007. Heavy metal levels in two fish species *Leuciscus cephalus* and *Lepomis gibbosus*. – *Food Chemistry*, 100(2): 830-835.

A STUDY ON THE PROCESSES OF DISTRIBUTION, ACCUMULATION AND TRANSFER OF CADMIUM AND ZINK IN THE ORGANISMS OF FISHES

Tanya Ch. Duck, Iliana G. Velcheva, Borislava A. Todorova

*University of Plovdiv „St. Paisii Hilendarski“, Faculty of Biology,
Department of Ecology and Environmental Conservation,
24 Tzar Assen Str., 4000 Plovdiv, E-mail: anivel@uni-plovdiv.bg*

(Summary)

By applying various mathematical and statistical methods we analyzed the distribution of cadmium and zink in organs of *Alburnus alburnus* and *Perca fluviatilis* from dam lake „Topolnitsa“. We recorded an accumulation of the heavy metals in the kidneys and the liver. We also recorded that the studied species of fish are macroconcentrators for cadmium and zink and there is a process of biomagnifications of the metals on the trophic levels.