

УДК: 639.371.5..628.394.17:546

**Распределение свинца и кадмия в экосистеме самарского рыбоводного пруда
Е.В.Федоненко, Т.С.Шарамок, Н.Б.Есипова**

Днепропетровский национальный университет (Днепропетровск, Украина)

Показаны особенности накопления свинца и кадмия в воде, донных отложениях, зоопланктоне, зообентосе и тушках молоди карпа (*Cyprinus carpio*) и белого толстолобика (*Hypophthalmichthys molitrix*) при выращивании в выростном пруду. Установлена корреляционная связь между содержанием тяжелых металлов в зообентосе (личинках *Chironomus*) и донных отложениях. Содержание свинца и кадмия в тушках карпа находилось в прямой зависимости от их концентрации в донных отложениях и зообентосе.

Ключевые слова: *карп, белый толстолобик, выростной пруд, кадмий, свинец.*

Введение

Среди факторов, воздействующих на живые организмы, тяжелые металлы занимают особое место, так как они представляют собой наиболее широко распространенные токсиканты для многих форм жизни. Токсичность тяжелых металлов тесно связана с их физико-химическими свойствами, электронной конфигурацией, ионизацией, электроотрицательностью, величиной окислительно-восстановительного потенциала, сродством к различным химическим и функциональным группам и т.д. (Дмитриева и др., 2002). Им свойственна высокая биологическая активность, способность задерживаться в организме, распространенность и легкость переноса в окружающей среде. Поступление тяжелых металлов в водные экосистемы происходит как в результате естественных процессов, так и в результате антропогенных выбросов (Немова, 2005). Для гидроэкосистем наиболее опасными металлами являются свинец и кадмий. Даже незначительные концентрации этих токсикантов способны вызывать необратимые функциональные нарушения, деформации, а иногда и смерть гидробионтов (Мур, Рамамурти, 1987; Линник, Искра, 1997). Тяжелые металлы накапливаются в рыбе и вызывают тем самым токсический эффект верхних звеньев трофической цепи, в том числе и человека (Гладышев и др., 2001). В настоящее время хорошо изучен вопрос о содержании свинца и кадмия в отдельных звеньях водных экосистем и токсичности этих элементов (Гуменюк, 2001; Колесник та ін., 2002). Однако недостаточно информации о содержании и миграции свинца и кадмия в водоемах рыбохозяйственного назначения, а также накоплении их в организме молоди рыб. Эти вопросы имеют исключительно важное значение для выращивания экологически чистой рыбной продукции в условиях антропогенной нагрузки на водные экосистемы.

Цель работы: установить особенности накопления и распределения свинца и кадмия в различных звеньях экосистемы выростного пруда Самарского рыбхоза Днепропетровской области.

Материал и методы исследования

Объектом исследования была молодь двух видов рыб – карпа (*Cyprinus carpio*) и белого толстолобика (*Hypophthalmichthys molitrix*). Исследования проводились во второй декаде июля и октября в выростном пруду №1, площадью 19 га, полносистемного рыбного хозяйства ОАО «Самарский рыбхоз». Зарыбление пруда проходило во второй декаде июня, при этом средняя масса карпа составляла 0,05 г, а белого толстолобика – 0,03 г, плотность посадки соответствовала 80 тыс. экз./га, из них 60% карпа и 40% белого толстолобика. Применялась полуинтенсивная технология разведения рыб.

Известно, что наиболее доступными для гидробионтов являются ионы тяжелых металлов, а также их комплексные соединения с молекулярной массой в несколько атомарных единиц, тогда как высокомолекулярные соединения являются биологически неактивными (Евтушенко, 1991). Ионы тяжелых металлов в воде выростного пруда Самарского рыбхоза определяли методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии (Рожкова, 1987).

Содержание свинца и кадмия в донных отложениях (илах), планктоне, доминирующем виде зообентоса (личинках *Chironomus*) и тушках молоди рыб определяли методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии после сухого озоления (Грибовская и др., 1969; Рожкова, 1987) на спектрофотометре С-115М1. Ошибка измерения была в пределах $\pm 25\%$.

За ростом рыб наблюдали во время контрольных обловов, два раза в месяц. При контрольном взвешивании исследовали не менее 50 экземпляров каждого вида рыб с точностью до 0,1 г и измеряли линейные показатели (см).

Все исследования проводили в пяти повторностях. Полученные данные обрабатывали статистически (Плохинский, 1980).

Результаты и их обсуждение

Основное антропогенное влияние на экосистему р. Самары, источника питания выростного пруда Самарского рыбхоза, происходит за счет угольных предприятий Западного Донбасса. Вода р. Самары характеризуется высокими значениями минерализации (2400 мг/л), а также повышенным содержанием цинка (2 ПДК), меди (5 ПДК) и железа (2 ПДК). Подобные показатели были установлены и в воде пруда.

Биомасса фитопланктона выростного пруда №1 за период исследования составляла в среднем 18 г/м³. В летний период преобладали водоросли отдела Cyanophyta (70%), а осенью доминировали диатомовые водоросли (Bacillariophyta) (50%). Зоопланктон был представлен Cladocera (70%) и Copepoda (30%). Общая биомасса его составляла 5 г/м³. Доминирующими бентосными формами были личинки *Chironomus* (90%), которые характеризовались невысоким развитием с биомассой 4,5 г/м² в летний период и снижением ее за счет выедания рыбой и вылета имаго в осенний период до 0,5 г/м².

Средняя масса сеголеток карпа в конце вегетационного периода составляла 20 г, а белого толстолобика 19 г, что ниже рыболовной нормы на 25% и 24%. Рыбопродуктивность выростного пруда по карпу составляла 240 кг/га, а по белому толстолобику 280 кг/га, при этом выход сеголеток соответствовал 31 и 50%.

Как показали наши исследования, содержание ионов свинца и кадмия в воде выростного пруда не превышало ПДК для воды рыбохозяйственных водоемов (Нормативні показники ..., 1998). К осени концентрация тяжелых металлов в воде возрастала. Содержание свинца увеличивалось в 2,5 раз, а кадмия в 3,5 раз ($p < 0,05$) (рис. 1). Такая же тенденция отмечалась и в воде источника питания выростного пруда (р. Самаре), что может быть связано с массовым отмиранием планктонных организмов в осенний период и переходом ионов тяжелых металлов в воду.

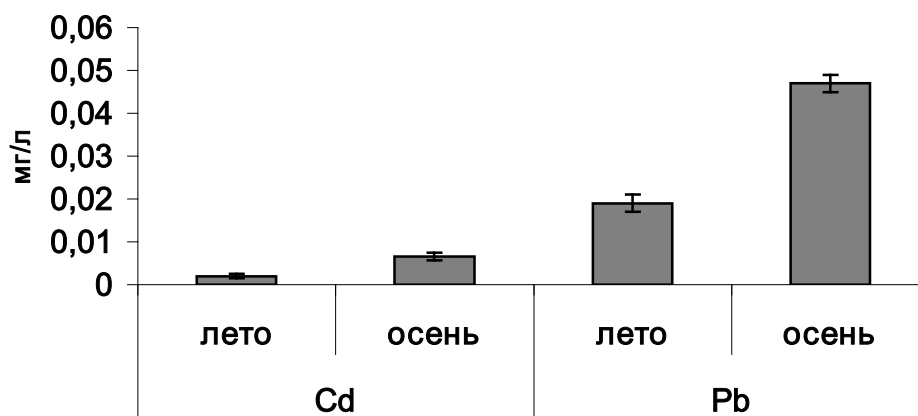


Рис. 1. Динамика содержания тяжелых металлов в воде выростного пруда, мг/л

Одним из наиболее важных показателей загрязнения водоема и общей антропогенной нагрузки на него является содержание тяжелых металлов в донных отложениях. Накопление в донных осадках металлов в концентрациях, превышающих фоновое значение, оказывает негативное влияние на качество вод при вторичном загрязнении. Это приводит к выносу их из донных отложений в воду. Страдают бентосные организмы, особенно в случаях нахождения металлов в биологически доступных формах (Зубенко, Линник, 1997; Бреховских и др., 2001; Линник та ін., 2001). Изменяется их качественный и количественный состав, а, следовательно, и биопродуктивность водоемов.

Существует множество разнообразных процессов, определяющих переход металлов в донные отложения. Интенсивность их специфична для каждого водоема и определяется целым рядом факторов, включая его гидрохимический и гидрологический режимы. Процессы миграции тяжелых металлов из воды в донные отложения характерны для всех водоемов замедленного стока и определяют их общую тенденцию к самоочищению водных масс от вносимых в них любым путем соединений тяжелых металлов.

В результате исследований донных отложений с горизонта 0–5 см выростного пруда было установлено, что количество свинца составляло в среднем за вегетационный период 0,45 мг/кг. Концентрация кадмия в илах пруда соответствовала 0,27 мг/кг. К осени отмечалась тенденция к увеличению содержания свинца и кадмия в донных отложениях выростного пруда Самарского рыбного хозяйства ($p > 0,05$), что связано с перераспределением элементов между водой и грунтом, а также отмиранием планктонных организмов с последующим поступлением их в поверхностный слой донных отложений.

Молодь карпа и белого толстолобика выращивалась на естественной кормовой базе. Поэтому нами был проведен анализ содержания тяжелых металлов в планктоне и зообентосе опытного водоема и перехода их по пищевым цепям в организм рыб.

Изучаемые элементы повторяли распределение тяжелых металлов в донных отложениях. В конце вегетационного сезона концентрация свинца и кадмия в донных организмах пруда незначительно увеличивалась ($p > 0,05$). Среднее содержание кадмия за вегетационный период в личинках *Chironomus* составляло 0,82 мг/кг, а свинца – 1,65 мг/кг. Причем эти показатели были выше, чем в донных отложениях в 3,0 и 3,6 раз соответственно. Установлена корреляционная связь между содержанием кадмия и свинца в донных отложениях и личинках хирономид. Увеличение содержания свинца и кадмия в илах выростного пруда приводило к увеличению этих металлов в зообентосе ($r = 0,70$ и $0,82$) (рис. 2).

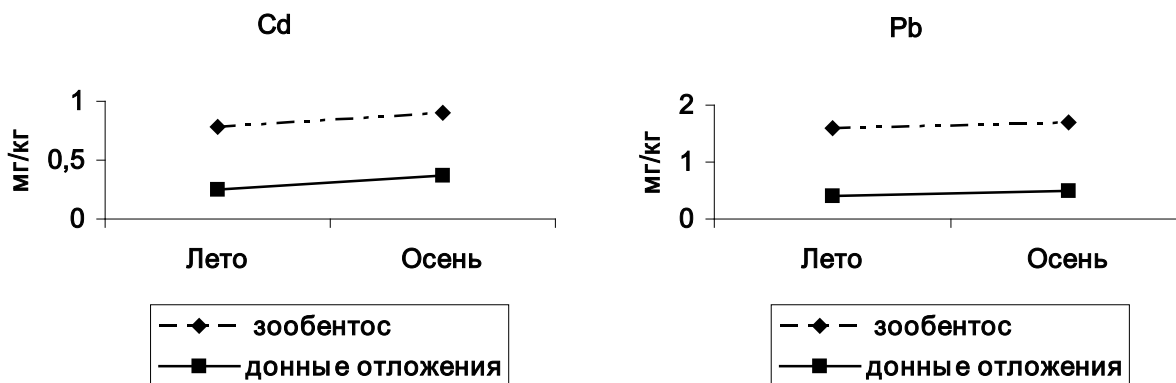


Рис. 2. Содержание тяжелых металлов в донных отложениях и зообентосе выростного пруда, мг/кг

Для некоторых веществ величина коэффициента накопления (КН) может достигать значительных величин. Поэтому аккумулятивная способность гидробионтов отражает присутствие токсикантов в воде или донных отложениях даже в незначительных концентрациях. Коэффициенты накопления для бентосных организмов показали количественные показатели распределения тяжелых металлов в системе донные отложения – гидробионты. Для кадмия коэффициент накопления составлял 3,0, а для свинца – 2,4. Коэффициент накопления кадмия и свинца в бентофауне Самарского пруда по отношению к воде был равен 897 и 115,5 соответственно.

Для донных организмов Самарского пруда установлен высокий коэффициент накопления кадмия как по отношению к донным отложениям, так и по отношению к воде. В летний период, как правило, значения этого коэффициента были выше по сравнению с осенними месяцами.

Наблюдалась ярко выраженная сезонная динамика концентрации тяжелых металлов в планктонных организмах выростного пруда. К октябрю количество свинца и кадмия в планктоне значительно снижалось по сравнению с июлем ($p < 0,05$). Так, содержание кадмия осенью уменьшалось на 148%, а свинца на 75%. Такая закономерность, возможно, связана с интенсивным развитием сине-зеленых и зеленых водорослей в летний период. Известно, что эти водоросли способны активно аккумулировать металлы, накапливая их в большем количестве, чем водоросли других отделов (Варенко, Мисюра, 1985; Брагинский и др., 1987). В исследуемом нами пруду пик развития организмов отд. Суанорphyta и отд. Chlorophyta был установлен в летний период, а осенью преобладали водоросли отд. Bacillariophyta. Среднее содержание кадмия в планктоне Самарского пруда за вегетационный период составляло 0,95 мг/кг, а свинца 6,87 мг/кг (рис. 3).

Коэффициенты накопления свинца и кадмия в планктонных организмах по отношению к воде в среднем за вегетационный сезон соответствовали 410 и 221. Аккумулятивная способность планктона и бентоса по отношению к исследуемым тяжелым металлам была различна. Планктонные организмы

на 255% больше накапливали свинец по сравнению с бентосными гидробионтами. Личинки хирономид более активно аккумулировали кадмий (на 306%).

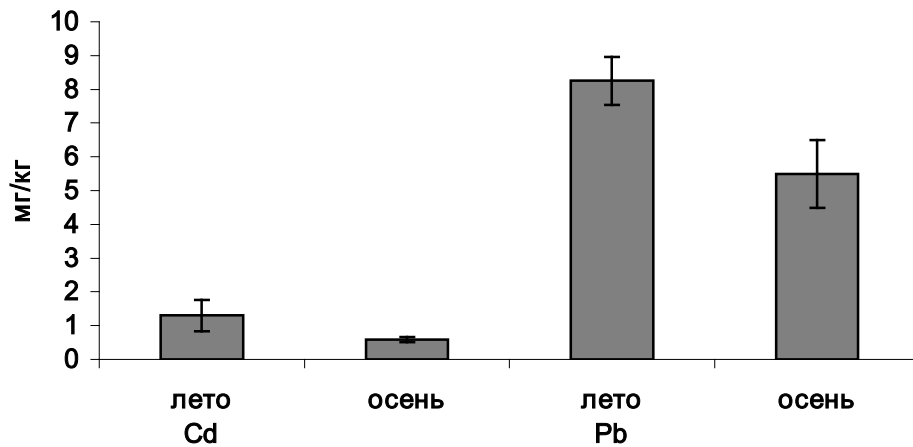


Рис. 3. Содержание тяжелых металлов в планктоне выростного пруда, мг/кг

Рыба является конечной хозяйственно полезной продукцией исследуемого водоема, поэтому изучение содержания тяжелых металлов в тканях молоди рыб представляет особый интерес. Токсикологическая оценка данной возрастной группы рыб предполагает получение качественного рыбопосадочного материала как для рыбных хозяйств, так и для пополнения биологических ресурсов водохранилищ.

Анализ содержания тяжелых металлов в тканях рыб из контролируемого нами пруда показал, что количество кадмия и свинца не превышало допустимых концентраций для рыбы как пищевого продукта (Медико-биологические требования ..., 1990) (рис. 4 а, б).

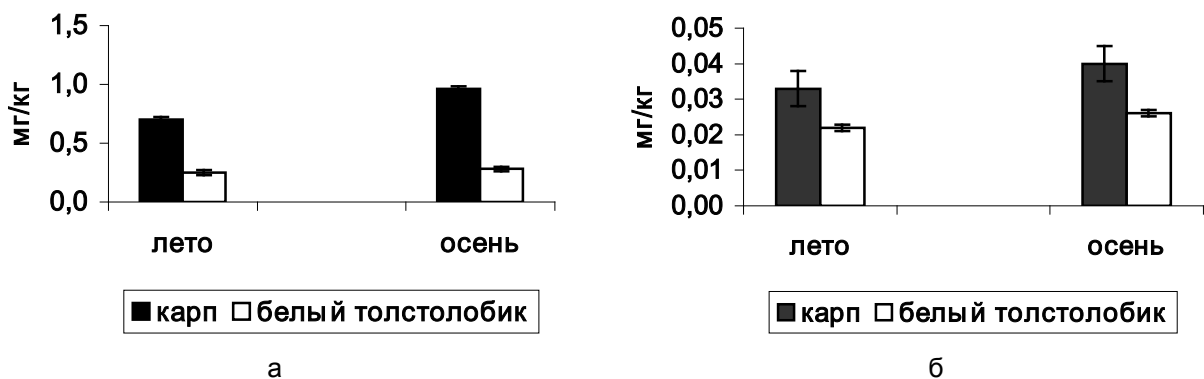


Рис. 4. Содержание свинца (а) и кадмия (б) в тушках карпа (*Cyprinus carpio*) и белого толстолобика (*Hypophthalmichthys molitrix*), мг/кг сырого веса

Отмечалась сезонная динамика концентрации тяжелых металлов в тканях карповых рыб. При осенних обловах выявлено их большее количество в организме рыб по сравнению с летним периодом. Концентрация свинца и кадмия достоверно увеличивалась осенью в тушках карпа на 33% и 54% ($p < 0,05$). Повышение содержания тяжелых металлов в донных отложениях и личинках хирономид коррелировало с содержанием этих элементов в организме карпа. Коэффициент корреляции соответствовал 0,65 и 0,85. Также отмечалась тенденция к увеличению содержания свинца и кадмия в тушках белого толстолобика в конце вегетационного периода на 21% и 28%. Установлено, что снижение концентрации свинца в планктоне приводит к накоплению его в организме белого толстолобика ($r = -0,72$).

За период исследования в тушках карпа концентрировалось большее количество тяжелых металлов по сравнению с белым толстолобиком. Так, в среднем за вегетационный период

содержание кадмия в карпе было на 50%, а свинца на 232% больше, чем в белом толстолобике, что связано с типом питания и биотопом этих рыб.

Коэффициенты накопления тяжелых металлов в тушках карпа и белого толстолобика по отношению к воде не были особенно высокими и в среднем за период исследования составляли для кадмия – 12 и 2, а для свинца – 17 и 8 соответственно. Аккумулятивная способность карпа по отношению к кадмию была в 5 раз, а по отношению к свинцу в 2,2 раза выше по сравнению с белым толстолобиком.

Выводы

Совместное действие высоких концентраций цинка (2 ПДК), меди (5 ПДК) и железа (2 ПДК) при минерализации 2400 мг/л в воде исследуемого водоема оказывало влияние на формирование видового состава и биомассу кормовых организмов, особенно зоопланктона, и способствовало снижению рыбопродуктивности пруда.

Содержание свинца и кадмия в воде выростного пруда Самарского рыбхоза достоверно увеличивалось к осени и на протяжении периода исследования не превышало ПДК для рыбохозяйственных водоемов.

Концентрация тяжелых металлов в зообентосе увеличивалась ($p > 0,05$) в осенний период и коррелировала с их содержанием в донных отложениях. Личинки хирономид выростного пруда являлись макроконцентраторами кадмия ($KH=3$) и свинца ($KH=2,4$).

Планктонные организмы выростного пруда Самарского рыбхоза являлись концентраторами свинца по отношению к воде ($KH=410$), а бентосные гидробионты более активно аккумулировали кадмий ($KH=897$).

Содержание свинца и кадмия в тушках молоди рыб за период исследования не превышало ПДК для рыбы как пищевого продукта. В тушках карпа за вегетационный период накапливалось на 50% больше кадмия и на 232% свинца по сравнению с белым толстолобиком. С повышением уровня содержания тяжелых металлов в донных отложениях и личинках хирономид увеличивалось количество свинца и кадмия в организме карпа ($r=0,65$ и $0,85$).

Список литературы

- Брагинский Л.П., Величко И.М., Щербань Э.П. Пресноводный планктон в токсической среде. – К.: Наук. думка, 1987. – 178с.
- Бреховских В.Ф., Волкова З.В., Кочарян А.Г. Тяжелые металлы в донных отложениях Иваньковского водохранилища // Водные ресурсы. – 2001. – Т.28, №3. – С. 310–319.
- Варенко Н.И., Мисюра А.В. Роль фитопланктона в биогенной миграции микроэлементов в Днепродзержинском и Запорожском водохранилищах // Гидробиол. журн. – 1985. – Т.21, №4. – С. 39–44.
- Гладышев М.И., Грибовская И.В., Иванова Е.А. и др. Содержание металлов в экосистеме и окрестностях рекреационного и рыбоводного пруда Бугач // Водные ресурсы. – 2001. – Т.28, №3. – С. 320–328.
- Грибовская И.Ф., Карякин А.В., Фараонов М.М. Влияние условий озоления на результаты спектрального анализа растений // Агрехимия. – 1969. – №7. – С.48.
- Гуменюк Г.Б. Вміст і міграція міді, кобальту, кадмію та свинцю в екосистемі Тернопільського ставу // Наукові записки Тернопільського пед. університету ім. В.Гнатюка. Серія: біологія. Спецвипуск: Гідроекологія. – 2001. – № 3(14). – С. 191–193.
- Дмитриева А.Г., Кожанова О.Н., Дронина Н.Л. Физиология растительных организмов и роль металлов. – М.: МГУ, 2002. – 159с.
- Евтушенко Н.Ю. Проблемы и задачи ихтиотоксикологического биомониторинга // Вторая всесоюзная конференция по рыбохозяйственной токсикологии. – Санкт-Петербург, 1991. – Т.1. – С. 172–173.
- Зубенко И.Б., Линник П.Н. Фракционное распределение тяжелых металлов в донных отложениях водохранилищ Днепра // Гидробиол. журн. – 1997. – №3. – С. 101–111.
- Колесник Н.Л., Литвинова Т.Г., Пекарський В.І. та ін. Іони важких металів у ланках екосистеми за інтенсивної технології вирощування коропа при трірічному обороті у ставах зони Полісся // Рибне господарство. – 2002. – Вип.61. – С. 74–79.
- Линник П.Н., Искра И.В. Кадмий в поверхностных водах: содержание, формы нахождения, токсическое действие // Гидробиол. журн. – 1997. – Т.33, №6. – С. 72–85.
- Линник П.М., Щербань Е.П., Васильчук Т.О. та ін. Комплексоутворення металів з природними органічними речовинами – важливий фактор детоксикації (за результатами біотестування) // Наукові записки. Тернопільського пед. університету ім. В.Гнатюка. Серія: біологія. Спецвипуск: Гідроекологія. – 2001. – №3(14). – С. 206–208.

Медико-биологические требования и санитарно-гигиенические нормы качества продовольственного сырья и пищевых продуктов. – М., 1990. – С. 30–40.

Мур Дж. В., Рамамурти С. Тяжелые металлы в природных водах. – М.: Мир, 1987. – 285с.

Немова Н.Н. Биохимические эффекты накопления ртути у рыб. – М.: Наука, 2005. – 152с.

Нормативні показники якості води. – Київ, 1998. – 10с.

Плохинский Н.А. Алгоритмы биометрии. М.: МГУ, 1980. – 150с.

Рожкова И.М. Методика определения минеральных веществ в воде, корме, органах, тканях и экскрементах рыб // Вопросы физиологии и биохимии питания рыб. – М., 1987. – С. 176–182.

Розподіл свинцю та кадмію в екосистемі самарського рибницького ставу
О.В.Федоненко, Т.С.Шарамок, Н.Б.Єсіпова

Показані особливості накопичення свинцю та кадмію у воді, донних відкладах, зоопланктоні, зообентосі та тушках молоді коропа (*Cyprinus carpio*) і білого товстолобика (*Hypophthalmichthys molitrix*) за умов утримання їх у вирощувальному ставу. Встановлено кореляційний зв'язок між вмістом важких металів у зообентосі (личинках *Chironomus*) та донних відкладах. Вміст свинцю та кадмію в тушках коропа знаходився в прямій залежності від їх концентрації у донних відкладах та зообентосі.

Ключові слова: *короп, білий товстолобик, вирощувальний став, кадмій, свинець.*

Distributing of lead and cadmium in ecosystem of the Samara fish-breeder pond
E.V.Fedonenko, T.S.Sharamok, N.B.Esipova

The features of lead and cadmium accumulation in water, sediments, zooplankton, zoobenthos and bodies of young fishes of *Cyprinus carpio* and *Hypophthalmichthys molitrix* at their growing in the excrescence pond have been shown. The correlations between heavy metal content in zoobenthos (the *Chironomus* larvae) and in the sediments have been established. The lead and cadmium content in the fish bodies were directly dependent on their concentration in the sediments and zoobenthos.

Key words: *Cyprinus carpio, Hypophthalmichthys molitrix, excrescence pond, cadmium, lead.*

Представлено Ю.І.Грицаном
Рекомендовано до друку А.Ю.Утєвським