

УДК597.08:612.017

**Особенности фосфорного баланса рыб в условиях
повышенного содержания Cd^{2+} в воде***В.П.Гандзюра¹, Н.И.Корево²*¹ Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко (КНУШ, г. Киев)² Житомирский государственный университет имени Ивана Франко (ЖГУ, г. Житомир)

E-mail: gandzyura@gmail.com

Уровень тяжёлых металлов возрастает практически во всех водоёмах. Особую опасность для гидробионтов представляют соединения кадмия, существенно нарушающие метаболические процессы. Учитывая особую роль фосфора в регуляции метаболических процессов и энергетическом обеспечении рыб, мы исследовали особенности фосфорного баланса в условиях повышенного содержания кадмия в воде. Установлено существенное нарушение фосфорного баланса рыб в условиях повышенных концентраций Cd^{2+} — резкое увеличение интенсивности экскреции фосфора, что в итоге приводит к существенному снижению его содержания в теле рыб. При этом снижается темп роста и эффективность использования рациона. Выявлены особенности фосфорного баланса рыб разных трофических групп. Существенное влияние на интенсивность экскреции фосфора оказывает величина суточного рациона: во всех случаях (и в контроле, и при повышенном содержании кадмия в воде) она максимальна у голодающих рыб. При питании интенсивность экскреции значительно снижается, а при питании до насыщения имеет место абсорбция фосфора из растворенных в воде фосфатов. Показано, что при содержании кадмия в воде 1 мкг Cd^{2+} /л использование корма с повышенным содержанием фосфора (3,0%) позволяет компенсировать его потери вследствие возросшей экскреции, нормализовать естественное его содержание в теле. При этом увеличивается темп роста рыб и эффективность использования ими корма.

Ключевые слова: рыба, фосфорный баланс, кадмий, темп роста, рацион.**ВВЕДЕНИЕ**

Глобальное токсическое загрязнение гидросферы приводит к формированию качественно новых условий существования живых организмов, оказывая значительное влияние на весь ход их метаболических процессов. Среди токсикантов особое место занимают соединения тяжёлых металлов [Мур, Рамаурти, 1987], уровень которых постоянно возрастает практически во всех водоемах, в частности, в воде р. Волга концентрация меди увеличи-

лась в 11,5 раза, цинка — в 9,8, свинца — в 5,6, кадмия — в 4,9 [Перевозников, Богданова, 1999]. Одним из наиболее опасных для рыб металлов является Cd. Установлены особенности его накопления в воде, донных отложениях, зоопланктоне, зообентосе и теле рыб в выростных прудах [Федоненко и др., 2007].

Особую роль в регуляции метаболических процессов и энергетическом обеспечении рыб играет фосфор [Арсан и др., 1984; Романенко и др., 1982]. Установлена тесная сопряжён-

ность энергетического и фосфорного обмена [Романенко и др., 1982], показано, что элементы фосфорного баланса рыб очень чувствительны к изменению параметров среды [Гандзюра, 2003]. Однако сведения о балансе фосфора у рыб в условиях повышенного содержания тяжёлых металлов в литературе единичны [Гандзюра, 2003], а влияние кадмия на составные фосфорного баланса рыб и вовсе не изучено.

В связи с этим целью наших исследований было установление изменений фосфорного баланса рыб в условиях повышенного содержания кадмия в воде.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Эксперименты проводили на рыбах разных трофических групп: бентофагах — золотой рыбке *Carassius auratus auratus* (L., 1758), плотве *Rutilus rutilus* (L., 1758), лине *Tinca tinca* (L., 1758), бычке песочнике *Neogobius fluviatilis* (Pall., 1814), гуппи *Poecilia reticulata* Peters, 1859, окуне *Perca fluviatilis* L., 1758; ихтиофагов — щуке *Esox lucius* L., 1758 и соме *Silurus glanis* L., 1758. Одноразмерных особей гуппи и золотых рыбок для экспериментов отбирали из одного помёта лабораторной культуры. Плотву, линя, окуня, щуку и сома отлавливали в Каневском водохранилище. Рыб акклиматизировали к условиям эксперимента в течение 14 сут. Использовали методику балансовых опытов [Карзинкин, Кривобок 1962]. Количество экскретированного за сутки фосфора рассчитывали по разнице его содержания в аквариумах с рыбами и в контрольном (без рыб) после суточной экспозиции. Содержание в воде фосфора определяли колориметрическим молибдатно-сурьмяновым методом с аскорбиновой кислотой [Golterman, 1969], для повышения чувствительности метода использовали экстракцию молибдатного комплекса гексанолом [Stephens, 1963]. Интенсивность дыхания определяли методом замкнутых респирометров [Лукьяненко, Карпович, 1989], кислород определяли методом Винклера [Golterman, 1969]. Во всех аквариумах контролировали содержание кислорода (находилось в пределах 6,7–8,8 мг O₂/л), свободной углекислоты (около 0,1 ммоль/л), гидрокарбонатов (287–317 мг/л), и рН (7,1–7,9). Смену

воды проводили ежесуточно — использовали отстоянную водопроводную; содержание в ней Cd²⁺ ≤ 0,25 мкг/л; Р фосфатов — 0,08 мг/л. В экспериментах определённые концентрации Cd²⁺ поддерживали путём ежесуточного внесения соответствующего количества раствора CdCl₂ после смены воды. Кормом служили личинки хирономид *Chironomidae larvae* (содержание фосфора в них составляло 0,19% в сыром и 1,19% в сухом веществе); *Ceriodaphnia pulchella* (содержание фосфора — 0,2% в сыром и 1,8% в сухом веществе); для хищников (щуки и сома) — плотва (содержание фосфора 0,5% в сыром и 2,5% в сухом веществе). В конце опытов рыб высушивали, гомогенизировали, брали по три навески с каждой пробы, которые сжигали в серной кислоте с перекисью водорода, после чего определяли содержание общего фосфора [Golterman, 1969]. Удельную скорость роста рассчитывали по формуле: $g = (\ln m_2 - \ln m_1) / (t_2 - t_1) = \ln (m_2/m_1) / \Delta t$, где m_1 — масса тела в начале периода, m_2 — в конце за время $t_2 - t_1 = (\Delta t)$; валовую эффективность использования пищи на рост (K_1) определяли по отношению прироста массы тела рыб к массе потреблённого корма [Ricker, 1975]. Статистическая обработка результатов проведена по общепринятым методам [Лакин, 1990] с использованием стандартного пакета программ (приложение Statistica и Microsoft Excel 2003), с использованием t-теста при уровне значимости 0,05.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В первой серии опытов исследовали интенсивность экскреции фосфора (E_p) и интенсивности дыхания (q) у рыб разных трофических групп. Установлено, что при голодании у ихтиофагов (щуки и сома) интенсивность экскреции фосфора более, чем на порядок превышала этот показатель для бентофагов — линя и бычка песочника, а минимальные значения интенсивности экскреции фосфора характерны для окуня (3,1 мкг Р/г сырой массы тела в сутки). Отношение q/E_p было максимальным у окуня, превышая этот показатель у щуки и сома почти в 18 раз. E_p у щуки и сома в 16 раз превышает этот показатель у окуня, в 11,7 раза у линя и в 9 раз — у бычка песочника (табл. 1).

Таблица 1. Содержание фосфора в теле рыб, интенсивность его экскреции (E_p) и отношение интенсивности дыхания (q) к E_p при голодании

| Виды рыб | Масса тела, г | n | Содержание фосфора в сыром веществе, % | | E_p , мкг P/г массы тела в сутки | q/E_p |
|----------------|---------------|---|--|-----------|------------------------------------|---------|
| | | | В теле рыб | В корме | | |
| Щука | 25,34±2,21 | 8 | 0,57±0,02 | 0,52±0,04 | 48,3±4,1 | 142 |
| Сом | 34,59±2,01 | 8 | 0,54±0,03 | 0,52±0,04 | 52,5±4,9 | 139 |
| Линь | 19,91±1,49 | 9 | 0,57±0,02 | 0,19±0,01 | 4,3±0,3 | 398 |
| Бычок песочник | 19,11±1,52 | 8 | 0,53±0,01 | 0,19±0,01 | 5,6±0,4 | 465 |
| Окунь | 20,42±2,20 | 9 | 0,90±0,05 | 0,19±0,01 | 3,1±0,4 | 2467 |

Это можно объяснить тем, что содержание фосфора в теле окуня примерно в 1,6 раза выше, чем остальных исследованных нами видов рыб, а в его кормовых объектах — личинках хирономид — содержание фосфора в 4,7 раза ниже, чем в его теле. Поэтому окунь испытывает максимальный дефицит фосфора и имеет самые низкие показатели его экскреции. В кормовых объектах ихтиофагов содержание фосфора равно его содержанию в теле, поэтому они имеют максимальный уровень экскреции фосфора, не испытывая в нем дефицита. Таким образом, нами установлено, что интенсивность экскреции фосфора при голодании и отношение q/E_p у рыб существенно зависит от процентного содержания фосфора в теле рыб и их естественных кормовых объектах.

Во второй серии опытов исследовали влияние величины суточного рациона и повышенного содержания Cd^{2+} в воде на интенсивности экскреции фосфора. В контроле при питании до насыщения золотые рыбы абсорбировали фосфор из воды, в то время как при голодании и рационе, величина которого составляла половину от максимального, имела место

его экскреция. При повышенном содержании Cd^{2+} в воде интенсивность экскреции фосфора резко возрастала как при голодании, так и при питании (табл. 2).

Таким образом, величина суточного рациона оказывает существенное влияние на интенсивность экскреции фосфора. Это обусловлено тем, что подавляющее большинство рыб (за исключением ихтиофагов) испытывает дефицит в этом элементе: содержание фосфора в теле рыб в среднем в 2–3 раза выше, чем в кормовых объектах (за исключением ихтиофагов) [Гандзюра, 1985]. Поэтому у питающейся и растущей молодежи рыб дефицит фосфора компенсируется путём абсорбции растворенных в воде фосфатов. При содержании кадмия в воде от 1 мкг $Cd^{2+}/л$ и выше наблюдалась лишь экскреция фосфора рыбами.

В третьей серии опытов исследовали интенсивность экскреции фосфора, удельную скорость роста рыб и эффективность использования ими рациона (питание до насыщения) как в контроле, так и при разных концентрациях кадмия в воде. Установлено, что повышенное содержание кадмия в воде приводит не только к увеличению интенсивности экскреции

Таблица 2. Интенсивность экскреции фосфора у двухмесячной золотой рыбки (масса тела $832±23$ мг) в контроле и при разной концентрации кадмия в воде ($n=15$ в каждом аквариуме)

| Величина рациона, доли от максимального | Экскреция фосфора, мкг P/г массы тела в сутки при разных концентрациях кадмия в воде | | | |
|---|--|------------------|--------------------|---------------------|
| | Контроль | 1мкг $Cd^{2+}/л$ | 10 мкг $Cd^{2+}/л$ | 100 мкг $Cd^{2+}/л$ |
| 0 | 1,67±0,09 | 2,09±0,10* | 3,21±0,15* | 2,98±0,17* |
| 0,5 | 0,17±0,04 | 0,58±0,11* | 0,84±0,08* | 0,90±0,12* |
| 1,0 | –0,41±0,03 | 0,10±0,01* | 0,22±0,06* | 0,47±0,05* |

Примечание: * — различие с контролем достоверно ($P≤0,5$).

Таблица 3. Рост и эффективность использования рациона у гуппи (возраст 1–2 мес) при разных концентрациях Cd^{2+} в воде ($n = 13$ в каждом аквариуме)

| мкг Cd^{2+} /л | Интенсивность экскреции, мкг P/г массы тела в сутки | Удельная скорость роста | | Эффективность использования рациона, | |
|------------------|---|-------------------------|---------------|--------------------------------------|---------------|
| | | % в сутки | % от контроля | % | % от контроля |
| Контроль | $-1,31 \pm 0,09$ | $7,7 \pm 0,2$ | 100 | $21,2 \pm 1,4$ | 100 |
| 1 | $1,87 \pm 0,11$ | $6,1 \pm 0,2$ | 80 | $16,6 \pm 1,2$ | 78 |
| 10 | $2,13 \pm 0,14$ | $4,9 \pm 0,2$ | 64 | $13,0 \pm 1,0$ | 61 |
| 100 | $2,67 \pm 0,20$ | $2,5 \pm 0,2$ | 33 | $7,8 \pm 0,9$ | 37 |
| 1000 | $2,58 \pm 0,17$ | $1,0 \pm 0,1$ | 13 | $2,0 \pm 0,8$ | 9 |

фосфора, но и к снижению темпов роста и эффективности использования рациона (табл. 3).

Таким образом, в 30-ти суточных экспериментах с гуппи установлено, что чем выше концентрация кадмия в воде, тем выше интенсивность экскреции рыбами фосфора и тем ниже удельная скорость роста и эффективность использования рациона.

В четвертой серии опытов исследовали влияние 1 ПДК кадмия (1 мкг Cd^{2+} /л) на содержание фосфора в теле рыб разных трофических групп. Полученные данные показали существенные различия между рыбами, питавшимися зоопланктоном и зообентосом и ихтиофагом (щукой). Причём показано, что

чем мельче молодь, тем резче проявляется снижение содержания фосфора в теле (при 1 мкг Cd^{2+} /л) (табл. 4).

Это связано с тем, что наиболее интенсивно фосфор накапливается у рыб на ранних этапах развития [Гандзюра, 1985], поэтому нарушение экскреторно—абсорбционных процессов в этот период представляет особую опасность для рыб, вызывая существенные нарушения фосфорного баланса. У мальков щуки, питавшихся мальками плотвы, содержание фосфора в теле не отличалось от контроля.

Таким образом, уже при содержании в воде 1 мкг Cd^{2+} /л происходит существенное нарушение фосфорного баланса у рыб: резко возрастает интенсивность экскреции фосфора, что

Таблица 4. Содержание фосфора в теле рыб и кормах в начале и в конце 40-ка суточного опыта в контроле и при концентрации 1 мкг Cd^{2+} /л

| п | Кормовые объекты | % P в корме (сырое /сухое вещество) | Масса тела рыб, мг | | % сухого вещества в конце опыта | Содержание фосфора в сухом веществе, % | |
|----------------------|---------------------|-------------------------------------|--------------------|---------------|---------------------------------|--|-----------------|
| | | | В начале опыта | В конце опыта | | Контроль | Опыт |
| <i>Золотая рыбка</i> | | | | | | | |
| 10 | <i>C. pulchella</i> | 0,2/1,8 | 28 ± 2 | 688 ± 20 | $17,6 \pm 0,5$ | $2,4 \pm 0,2$ | $1,6 \pm 0,1^*$ |
| 10 | <i>Ch. larvae</i> | 0,2/1,2 | 789 ± 17 | 1871 ± 69 | $19,8 \pm 0,5$ | $2,5 \pm 0,2$ | $2,0 \pm 0,1^*$ |
| <i>Плотва</i> | | | | | | | |
| 10 | <i>Ch. larvae</i> | 0,2/1,2 | 743 ± 14 | 2087 ± 83 | $21,3 \pm 0,5$ | $2,5 \pm 0,2$ | $2,0 \pm 0,1^*$ |
| <i>Окунь</i> | | | | | | | |
| 10 | <i>C. pulchella</i> | 0,2/1,8 | 42 ± 4 | 1435 ± 89 | $19,7 \pm 0,5$ | $2,8 \pm 0,2$ | $2,0 \pm 0,1^*$ |
| | <i>Ch. larvae</i> | 0,2/1,2 | 2076 ± 64 | 4195 ± 81 | $20,9 \pm 0,7$ | $3,0 \pm 0,2$ | $2,3 \pm 0,2^*$ |
| <i>Щука</i> | | | | | | | |
| 5 | Плотва | 0,5/2,5 | 689 ± 34 | 2376 ± 97 | $18,2 \pm 0,5$ | $2,9 \pm 0,2$ | $2,9 \pm 0,2$ |

Примечание: * — различие с контролем достоверно ($P \leq 0,5$).

в большинстве случаев приводит к снижению его содержания в теле. При этом происходит снижение темпа роста и эффективности использования рациона.

Пятая серия опытов — исследовали возможность компенсации потерь фосфора рыбами при выращивании в условиях 1 мкг Cd²⁺/л. Для компенсации потерь фосфора золотым рыбкам и гуппи скармливали корм фирмы Tetra (Германия) с содержанием фосфора 3,0% в сухом веществе. Установлено, что это приводит к восстановлению естественного содержания фосфора в теле рыб (табл. 5).

При этом увеличивается темп роста и содержание сухого вещества в теле рыб, а также повышается эффективность использования рациона (табл. 6).

Полученные нами данные согласуются с имеющимися в литературе сведениями [Бры-

ченкова, 1989; Ogino, Takeda, 1976] о положительном влиянии на рост рыб повышенного содержания фосфора в кормах, однако эти данные приведены для нормальных условий и без исследования фосфорного баланса рыб. Для условий же токсического влияния тяжёлых металлов и нарушения фосфорного баланса рыб аналогичных данных в литературе нет.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В условиях повышенного содержания в воде Cd²⁺ от 1 мкг/л и выше нарушается структура фосфорного баланса рыб: значительно возрастает интенсивность экскреции фосфора, что в итоге приводит к уменьшению его содержания в теле. При этом снижаются темпы роста и эффективность использования рациона. Существенное влияние на интенсивность экскреции фосфора оказывает величина суточного рациона: во всех случаях (и в контроле, и при

Таблица 5. Масса тела и содержание фосфора в теле рыб в начале и в конце 40-ка суточного опыта в контроле и при концентрации 1 мкг Cd²⁺ /л

| % фосфора в корме | Масса тела, мг | | | | Содержание фосфора в теле рыб, % в сухом веществе | |
|---|----------------|---------------------------|----------|---------------------------|---|---------------------------|
| | В начале опыта | | 40-е сут | | Контроль | 1 мкг Cd ²⁺ /л |
| | Контроль | 1 мкг Cd ²⁺ /л | Контроль | 1 мкг Cd ²⁺ /л | | |
| Золотая рыбка (n = 10 в каждом аквариуме) | | | | | | |
| 1,8 | 31±4 | 33±3 | 879±23 | 688±20* | 2,4±0,2 | 1,7±0,1* |
| 3,0 | 34±3 | 32±2 | 1009±69 | 1087±83 | 2,6±0,1 | 2,6±0,1 |
| Гуппи (n = 20 в каждом аквариуме) | | | | | | |
| 1,8 | 28±4 | 26±3 | 459±19 | 348±23* | 2,3±0,2 | 1,9±0,1* |
| 3,0 | 29±3 | 33±4 | 511±21 | 497±18 | 2,7±0,2 | 2,7±0,2 |

Примечание: * — различие с контролем достоверно (P≤0,5).

Таблица 6. Приросты массы тела, содержание сухого вещества и эффективность использования рациона у рыб в конце 40-ка суточного опыта в контроле и при 1 мкг Cd²⁺ /л

| % фосфора в корме | Масса тела в начале опыта | Приросты массы тела за 40 сут, мг | | Эффективность использования рациона, % | | Содержание сухого вещества в теле рыб в конце опыта, % | |
|---|---------------------------|-----------------------------------|---------------------------|--|---------------------------|--|---------------------------|
| | | Контроль | 1 мкг Cd ²⁺ /л | Контроль | 1 мкг Cd ²⁺ /л | Контроль | 1 мкг Cd ²⁺ /л |
| | | | | | | | |
| Золотая рыбка (n = 10 в каждом аквариуме) | | | | | | | |
| 1,8 | 31±4 | 848 | 655 | 22,8 | 16,5 | 18,5±0,4 | 17,6±0,5 |
| 3,0 | 34±3 | 975 | 1055 | 28,7 | 27,9 | 18,2±0,2 | 18,1±0,3 |
| Гуппи (n = 20 в каждом аквариуме) | | | | | | | |
| 1,8 | 28±4 | 431 | 315 | 18,2 | 14,1 | 17,2±0,3 | 16,0±0,4 |
| 3,0 | 29±3 | 482 | 464 | 21,8 | 22,1 | 19,0±0,3 | 19,2±0,4 |

повышенном содержании кадмия в воде) она максимальна у голодающих рыб. При питании интенсивность экскреции значительно снижается, а при питании до насыщения имеет место его абсорбция из растворенных в воде фосфатов. В условиях 1 ПДК кадмия (1 мкг $Cd^{2+}/л$) использование кормов с повышенным содержанием фосфора (3,0% на сухое вещество) приводит к нормализации его содержания в теле рыб, увеличению темпа роста и эффективности использования корма.

ЛИТЕРАТУРА

- Арсан О.М., Соломатина В.Д., Романенко В.Д. 1984. Роль фосфора водной среды в регуляции биоэнергетических процессов у рыб // Гидробиол. журн. Т. 20. № 1. С. 53–57.
- Брыченкова И.В. 1989. Влияние обогащения кормов фосфором на обмен веществ и рост молоди радужной форели в условиях замкнутых систем // Экологическая физиология и биохимия рыб. VII Всесоюз. конф. (Ярославль, май, 1989 г.): Тез. докл. — Ярославль. Т. 1. С. 57–58.
- Гандзюра В.П. 1985. Содержание фосфора в теле рыб днепровских водохранилищ // Гидробиол. журн. Т. 21. № 6. С. 84–87.
- Гандзюра В.П. 2003. Фосфорный баланс рыб при действии тяжёлых металлов (Cr^{6+} , Ni^{2+}) водной среды // Гидробиол. журн. Т. 39. № 5. С. 92–100.
- Карзинкин Г.С., Кривобок М.Н. 1962. Методика постановки балансовых опытов по изучению обмена азота у рыб // Руководство по методике исследования физиологии рыб. М. С. 108–126.
- Лакин Г.Ф. 1990. Биометрия. М.: Высш. школа. 352 с.
- Линник П.Н., Искра И.В. 1997. Кадмий в поверхностных водах: содержание, формы нахождения, токсическое действие // Гидробиол. журн. 1997. Т. 33. № 6. С. 72–85.
- Лукьяненко В.И., Карпович Т.А. 1989. Биотестирование на рыбах /Методические рекомендации/ АН СССР. 96 с.
- Мур Дж. В., Рамамурти С. 1987. Тяжёлые металлы в природных водах: Контроль и оценка влияния. М.: Мир. 288 с. (Moore J.W., Ramamoorthy S. Heavy Metals in Natural Waters: Applied Monitoring and Impact Assessment. 1984. New York: Springer. 247 p.)
- Перевозников М.А., Богданова Е.А. 1999. Тяжёлые металлы в пресноводных экосистемах. С.-Петербург, 1999. 228 с.
- Романенко В.Д., Арсан О.М., Соломатина В.Д. 1982. Кальций и фосфор в жизнедеятельности гидробионтов. Киев: Наук. думка. 152 с.
- Федоненко Е.В., Шарамок Т.С., Есипова, Н.Б. 2007. Распределение свинца и кадмия в экосистеме самарского рыбоводного пруда // Вісник Харківського національного університету імені В.Н.Каразіна. Серія: біологія», С. 104–109.
- Golterman H.L. 1969. Methods for Chemical Analysis of Fresh Waters. IBP, Handbook № 8. Oxford and Edinburg. 172 p.
- Moore J.W., Ramamoorthy S. Heavy Metals in Natural Waters: Applied Monitoring and Impact Assessment. 1984. New York: Springer. 247 p.
- Ogino Ch., Takeda. 1976. Mineral requirements in fish. III. Calcium and phosphorus requirements in carp // Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. V. 42. № 7. P. 793–799.
- Ricker W.E. 1975. Computation and Interpretation of Biological Statistics of Fish Populations. Bull. Fish. Res. Board. Can. № 191. 382 p.
- Stephens K. 1963. Determination of low phosphate concentration in lake and marine water // Limnol. Oceanogr. V. 8. P. 361–362.

REFERENCES

- Arsan O.M., Solomatina V.D., Romanenko V.D. 1984. Rol fosfora vodnoy sredy v regulyatsii bioenergticheskikh protsessov u ryb [The role of aquatic environment phosphorus in the regulation of bioenergetic processes in fish] // Gidrobiol. jurnal. T. 20. № 1. S. 53–57.
- Brychenkova I.V. 1989. Vliyanie obogashcheniya kormov fosforom na obmen veshtchestv i rost molodi raduzhnoy foreli v usloviyach zamknytych sistem [Effect of phosphorus enrichment feed on the metabolism and growth of rainbow trout in a closed system] // Ekologicheskaya fiziologiya i biochimiya ryb. VII Vsesoyuz. konf. (Yaroslavl, may, 1989 g.): Tezisy dokladov. T. 1. S. 57–58.
- Gandziura V.P. 1985. Soderzhaniye fosfora v telye ryb dneprovskikh vodochranilishch [The phosphorus content in the body of the fish Dnieper reservoirs] // Gidrobiol. jurnal. T. 21. № 6. S. 84–87.
- Gandziura V.P. 2003. Fosforniy balans ryb pri deystvii tyazholych metallov (Cr^{6+} , Ni^{2+}) vodnoy sredy [Phosphorus fish balance under the influence of heavy metals (Cr^{6+} , Ni^{2+}) of the aquatic environment] // Gidrobiol. jurnal. T. 39. № 5. S. 92–100.
- Karzinkin G.S., Krivobok M.N. 1962. Metodika postanonki balansovykh opytov po izucheniyu obmena azota u ryb [Methods of setting balance experiments on nitrogen metabolism in fish] // Rukovodstvo po metodike issledovaniya fiziologii ryb. M. S. 108–126.
- Lakin G.F. 1990. Biometriya [Biometrics]. M.: Vysshaya shkola. 352 s.
- Linnik P.N., Iskra I.V. 1997. Kadmii v poverchnostnykh vodach: soderzhaniye, formy nachozhdeniya,

- tiksicheskoye deystviye [Cadmium in surface waters: the content, forms of occurrence, the toxic effect] // *Gidrobiol. jurnal.* T. 33. № 6. S. 72–85.
- Lukyanenko V.I., Karpovich T.A. 1989. Biotestirovaniye na rybach / Metodicheskiye rekomendacii [Bioassay on fish / Guidelines]. AN SSSR. 96 s.
- Perevoznokov M.A., Bogdanova E.A. 1999. Tyazholyye metally v presnovodnykh ekosistemach [Heavy metals in freshwater ecosystems]. S.-Peterburg. 228 s.
- Romanenko V.D., Arsan O.M., Solomatina V.D. 1982. Kalcii i fosfor v zhiznedeyatelnosti gidrobiontov [Calcium and phosphorus in hydrobionts life activity]. Kiev: Naukova dumka. 152 s.
- Fedonenko E.V., Sharamok E.V., Yesipova N.B. 2007. Raspredeleniye svintsa i kadmiya v ekosisteme samarskogo rybovodnogo pruda [Distribution of lead and cadmium in the ecosystem of the Samara fish-breeding pond] // *Visnyk Charkivskogo natsionalnogo universytetu imeni V.N.Karazina. Seriya: biologiya*. S. 104–109.

Поступила в редакцию 10.05.16 г.
Принята после рецензии 18.07.16 г.

Peculiarities of fish phosphorus balance at a high Cd^{2+} content in water

V.P.Gandziura¹, N.I.Korevo²

¹ Taras Shevchenko National University of Kyiv

² Zhytomyr Ivan Franko State University

The level of heavy metals is increasing in almost all reservoirs. Special danger to aquatic organisms are compounds of cadmium, essentially infringements the metabolic processes. Taking into consideration the special role of phosphorus in the regulation of metabolic processes and energy supply of fish, we investigated the features of the phosphorus balance in the conditions of high cadmium content in water. The essential infringements of fish phosphorus balance at elevated concentrations of Cd^{2+} — a sharp increase in the intensity of phosphorus excretion that eventually leads to a substantial reduction of its content in the fish's body were estimated in conditions of elevated levels of Cd^{2+} in the water. This reduces the growth rate and growth efficiency. The features of the fish's phosphorus balance of different trophic groups have been clarified. Significant impact on the rate of phosphorus excretion has the daily food ration size: in all cases (in control and in conditions of elevated cadmium levels in the water) it is maximal in the hungry fish. When feeding the excretion rate is significantly reduced, and when feeding to saturation occurs phosphorus absorption from dissolved phosphates. It was shown that in conditions of cadmium content in water $1 \mu g Cd^{2+}/l$ the feed consumption with high phosphorus content (3.0%) causes not only to compensation losses due to increase excretion, normalization its natural content in the body, but also to increasing the growth rate of fish and efficiency using of feed.

Key words: fish, phosphorus balance, cadmium, growth rate, food ration