

УДК (574.64:595.3) (639.3.09)

**Внедрение биотестирования для изучения качества воды  
рыбоводных прудов Криничанского рыбного хозяйства**

В. А. Яковенко, Е. В. Федоненко

Днепропетровский национальный университет им. Олеся Гончара, г. Днепр, Украина  
E-mail: yakovenko\_vla@mail.ru

Впервые на Украине проведено биотестирование качества воды в прудах рыбоводных хозяйств на разных этапах технологического цикла, подготовлена методика для внедрения в практику прудового рыбоводства, которая позволяет просто, быстро и с наименьшими затратами выявлять ухудшение качества воды. Помимо илонакопления и уменьшения концентрации кислорода в придонном слое, влияние на качество воды прудов обусловлено питанием их со стороны эвтрофированной р. Мокрая Сура, на берегу которой находится правобережная станция аэрации г. Днепр. Кроме этого, в реку впадают стоки трубопрокатного и шинного заводов, насыщенные тяжёлыми металлами. Привнесение органического вещества и тяжёлых металлов со стороны реки периодически вызывает заморные явления, а также снижает иммунитет рыб к таким заболеваниям, как ихтиофтириоз, филометраидоз, лернеоз, аргулез, дактилогироз, выявленным у карпа и толстолобика Криничанских прудов. Установлено, что для полной и объективной оценки качества воды в рыбоводных прудах, особенно в тех, которые применяются для содержания молоди рыб, необходимо сочетание метода биотестирования на основе планктонных ракообразных *Daphnia magna* и биоиндикации состояния прудов на основании структурно-функциональных показателей зоопланктона. Также показана необходимость индикации качества воды участков р. Мокрая Сура. Кроме того, обнаружено, что для анализа причин загрязнения воды в прудах необходимо проведение биотестирования не только поверхностных, но и придонных слоёв воды. Установлено, что для предотвращения гибели рыбы требуется проведение исследований не менее 3–4 раз в рыбоводный сезон на определённых этапах технологического цикла.

**Ключевые слова:** биотестирование, биоиндикация, зоопланктон, рыбоводные пруды, острая летальная токсичность, болезни рыб.

**ВВЕДЕНИЕ**

Водоёмы Днепропетровской области (Украина) подвержены мощной антропогенной нагрузке вследствие влияния сточных вод многочисленных предприятий металлургической, химической, угольной промышленности, а также поступления больших объёмов хозяйственно-бытовых и канализационных сточных вод [Стрільець, 2016]. Отсюда очевидна необхо-

димость токсикологической оценки водоёмов области, особенно тех, которые используются для рыборазведения. Рыбохозяйственные нормативы качества воды в отношении токсических веществ являются весьма жёсткими, что отражает негативное влияние нарушения содержания данных веществ в воде на эффективность рыбоводства. Питание прудов Криничанского рыбхоза Днепропетровской обла-

сти происходит со стороны эвтрофированной р. Мокрая Сура, на качество воды которой крайне негативно влияют правобережные очистные сооружения, стоки трубопрокатного, шинного заводов, хозяйственно-бытовые стоки сёл и дачных участков. Вода реки, насыщенная биогенами, взвешенными и токсическими веществами, снижает иммунитет рыб к инвазионным заболеваниям, способствует возникновению заморных явлений в прудах. Учитывая необходимость контроля токсичности и качества воды прудов, было проведено биотестирование воды в рыбоводных прудах Криничанского рыбхоза с использованием вида *Daphnia magna* Strauss, 1820 в качестве тест-объекта и подготовлена методика к внедрению в практику рыбоводных хозяйств. Биотестирование с помощью вида *D. magna* является широко применяемым и удобным методом вследствие чувствительности рачка к загрязнению. Метод биотестирования является интегральным, давая возможность определить общую токсичность воды, не детерминируя токсиканты. Однако, вследствие того, что методика биотестирования проводится в лабораторных условиях, оптимальным подходом для установления уровня антропогенной нагрузки и качества воды прудов, является совмещение биотестирования и биоиндикации на основании структурно-функциональных показателей зоопланктона.

Цель работы — исследовать качество воды в прудах Криничанского рыбхоза методами биотестирования и биоиндикации и подготовить методику к внедрению в практику рыбоводных хозяйств.

### МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Отбор проб для биотестирования поверхностного и придонного слоёв проводили в течение 2014–2016 гг. в Криничанских прудах (рис. 1). Из них пруд № 9 является нагульным, пруд № 10 — выростным и 2 пруда — зимовальными, используемыми для подращивания мальков. Питание всех прудов осуществляется из р. Мокрая Сура. Пополнение прудов водой проводят в конце марта — в апреле, спуск воды — в октябре и ноябре. Летом пруды пополняют очень редко. Поверхностные пробы воды отбирали ведром, пробы придонного слоя воды отбирали с глубины 30 см от дна батометром Молчанова объёмом 1 л, сохраняли при температуре 6 °С не более 2 суток.

Концентрацию в воде растворённого кислорода определяли по Винклеру [Линник, 2006]. Пробы зоопланктона Криничанских прудов отбирали летом 2016 г. Пробы отбирались в тройной повторности посредством фильтрации от 50 до 100 литров воды через планктонную сеть Апштейна в соответствии со стандартной методикой [Киселев, 1956]. Отобранный материал фиксировали в 4%-ом

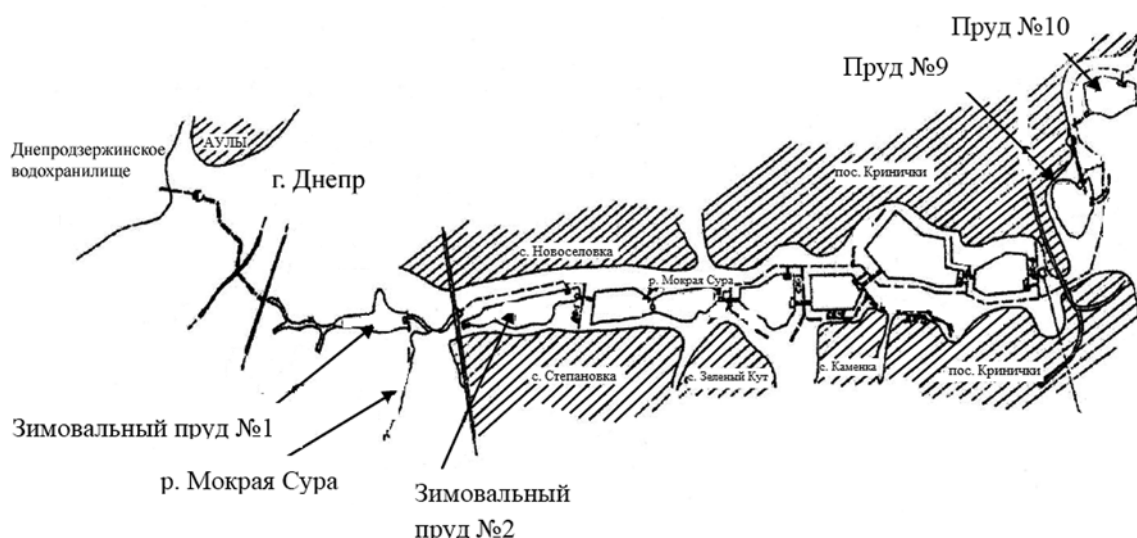


Рис. 1. Схема Криничанского рыбного хозяйства

растворе формальдегида и далее отстаивали в мерном цилиндре. Качественное и количественное исследование материала проб проводили в лабораторных условиях с помощью бинокулярного микроскопа МБС-2 и микроскопа МБИ-2 в камере Богорова [Киселев, 1956].

Оценку токсичности исследуемых проб воды с использованием тест-организма *D. magna* проводили в соответствии со стандартизированной методикой биотестирования ДСТУ 4174—2003, соответствующей международному стандарту ISO 6341:2012, MOD [Визначання гострої летальної..., 2004; Коновець, Кіппіс, 2006]. Для биотестирования использовали дафний в возрасте до 24 часов, которых рассаживали в ёмкости объёмом 100 мл. В каждую повторность помещали по 10 экземпляров рачков. Продолжительность эксперимента составляла 96 часов. В контрольных и экспериментальных ёмкостях использовали водопроводную воду, которая предварительно отстаивалась в течение 3-х суток. Перед биотестированием определяли пригодность культуры дафний путём установления средней летальной концентрации раствора эталонного вещества калия двуххромовокислого ( $K_2Cr_2O_7$ ) за 24 часа биотестирования (ЛК50—24). Диапазон реагирования культуры дафний для эталонного вещества составил  $1,0 \text{ мг/дм}^3$  и находился в пределах установленного диапазона реагирования тест-объекта *D. magna* ( $1,0—1,5 \text{ мг/дм}^3$ , что свидетельствует о пригодности дафний для проведения биотестирования [Коновець, 2006]. Методика оценки токсичности основана на установлении разницы между количеством погибших особей тест-объекта в воде из прудов, которая анализируется (опыт) в сравнении с водой, которая не содержит токсичных веществ (контроль). Критерием острой летальной токсичности является гибель 50 и более процентов особей тест-объекта в опыте в сравнении с контролем после 96 часов. Для каждой пробы проводили по три параллельных эксперимента на выживание вида *D. magna*. В общей сложности был выполнен анализ 54 проб воды, отобранных в поверхностном слое воды, и 18 проб — в придонном слое. Для вычисления  $ЛК_{50}$  использовали процент особей, погибших в эксперименте, относительно контроля. Процент смертности пе-

реводили в пробиты. Методика хронического теста на ракообразном *D. magna* [Визначання сублетальної..., 2004] предусматривает наблюдение за жизнедеятельностью дафний в течение недели. За это время самка *D. magna* в контроле при температуре  $20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ , как правило, успевает дать три вымета молодки, что позволяет проследить за такими продукционными показателями, как продолжительность созревания самок, количество молодки в одном вымете и суммарное количество потомства, рождённого самкой за период опыта.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты исследования весенних проб поверхностного слоя водной толщине прудов 2014 г. свидетельствуют, что вода в нагульном (№ 9) и выростном (№ 10) прудах была отличного качества согласно классификации качества водоёмов [Брагинский, 1998]. Однако в связи с гибелью рыбы вследствие таких инвазий, как ихтиофтириоз, филометроидоз, лернеоз, аргулез, дактилогироз, были исследованы функционирующие в летнее время (июнь 2014 г.) пруды № 9, 10 и зимовальные пруды № 1, 2. Поскольку все пруды снабжаются водой из р. Мокрая Сура, пробы были отобраны также из этой реки в водозаборе. Результаты показали отсутствие острой токсичности воды во всех исследованных водоёмах в период интенсивного нагула и роста рыбы. При этом речная вода, используемая для питания прудов, по данным биотестирования относилась к категории отличного качества. Вода в прудах № 9, 10 также соответствовала категории хорошего качества (индекс смертности дафний не превышал 20%) по данным биотестирования, проведённого в мае 2014 г. В зимовальных прудах, которые использовались для молодки рыб, индекс смертности дафний не превышал 40%, то есть острая токсичность в этих пробах не регистрировалась, однако согласно экологической классификации вода принадлежала к III классу, категории (5) «загрязнённая» [Брагинский, 1998]. Вероятно, главным фактором загрязнения был уровень сапробности водоёмов как следствие влияния эвтрофированной р. Мокрая Сура, на берегу которой находятся правобережная станция аэрации г. Днепр

и многочисленные дачные участки. Аналогичные данные практически со 100%-ной выживаемостью дафний были получены при исследовании воды Криничанских прудов осенью 2014 и 2015 гг. Таким образом, биотестирование воды прудов Криничанского рыбхоза на разных этапах технологического цикла показало удовлетворительное состояние воды в нагульных и выростных прудах и загрязнённость зимовальных. Благодаря вовремя полученной информации о состоянии прудов в хозяйстве были проведены соответствующие мероприятия оптимизации и через неделю повторное биотестирование показало хорошие результаты качества воды во всех исследованных водоёмах. Для выяснения возможных источников загрязнения воды в прудах и обеспечения своевременных мер оптимизации качества воды весной 2015, 2016 гг. был выполнен сравнительный анализ токсичности воды поверхностных и придонных слоёв (рис. 2).

Была установлена острая токсичность проб придонных слоёв пруда № 9 и пруда № 10, что свидетельствует о накоплении в донных отложениях веществ, вызывающих интоксикацию гидробионтов. Надо отметить, что весной 2015 г. токсичность придонных слоёв была более выраженной, чем весной 2016 г. Так, в выростном пруду № 10 был зарегистрирован индекс токсичности придонного слоя на уровне 67%. Разница в соотношении индексов токсичности поверхностного и придонного слоёв воды в зимовальных, нагульных и выростных прудах, вероятно, объясняется различием их морфометрических характеристик (глубина,

интенсивность перемешивания), а также различными режимами использования прудов. Острые опыты по определению токсичности придонных слоёв были продолжены в хронической форме. После трёх недель количество дафний возрастало в 2–3 раза. Это свидетельствует о том, что токсичность донных отложений обусловлена уровнем сапробности водоёмов, а не присутствием токсических веществ. Сероводород и другие продукты органического разложения, накопившиеся в связи с уровнем сапробности воды, постепенно исчезают в течение хронического опыта, в результате создаются условия для размножения дафний. В связи с этим поверхностные слои воды прудов являются нетоксичными.

Зоопланктон прудов № 9, 10 можно охарактеризовать как кладоцерно-копеподный, а зимовальных прудов — как ротаторно-копеподный. Биомасса зоопланктона была самой высокой в пруду № 9—1,4 г/м<sup>3</sup> и в пруду № 10—0,83 г/м<sup>3</sup>. В зимовальном пруду № 1 биомасса зоопланктона составляла 0,47 г/м<sup>3</sup>, а в зимовальном пруду № 2—0,55 г/м<sup>3</sup>. На основании индекса сапробности, рассчитанного по зоопланктону, все пруды соответствовали β-мезосапробной зоне, но в зимовальных прудах значения были выше (рис. 3).

Вода прудов относилась к III классу, категории (4) «умеренно загрязнённая» в нагульном и выростном прудах № 9, 10, в зимовальных прудах № 1, 2 — к категории (5) «загрязнённая» [Брагинский, 1998]. По данным биотестирования и биоиндикации вода в нагульных прудах в начале лета была практически незаг-

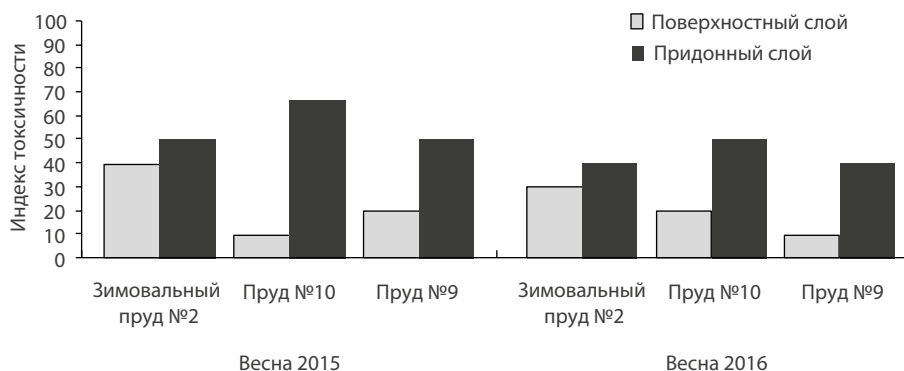


Рис. 2. Сравнительная токсичность поверхностного и придонного слоёв Криничанских прудов весной 2015, 2016 гг.

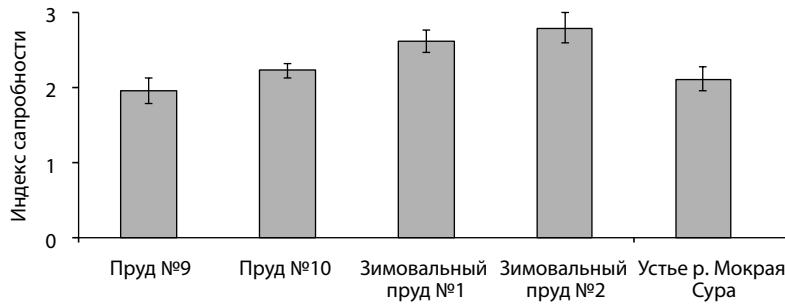


Рис. 3. Индекс сапробности зоопланктона Криничанских прудов летом 2016 г.

рязнённой, большая степень загрязнённости наблюдалась в зимовальных прудах вследствие токсичности донных отложений.

### Выводы

Пробы поверхностных слоёв, отобранные весной, летом и осенью, показали, что острой летальной токсичности воды в прудах Криничанского рыбного хозяйства и р. Мокрая Сура, являющейся источником питания прудов, не отмечено, но происходило накопление токсичных продуктов распада органических веществ в зимовальных прудах, что привело к гибели рыбы вследствие таких инвазий, как ихтиофтириоз, филометроидоз, лернеоз, аргулез, дактилогироз. Пробы, отобранные из придонных слоёв воды, показали острую токсичность, особенно в нагульных прудах, т.е. токсичность воды связана с донными отложениями и зависит от морфометрии и режима функционирования прудов. На основании структурно-функциональных характеристик и индекса сапробности зоопланктона все пруды отнесены к  $\beta$ -мезосапробной зоне, но в зимовальных прудах значение индекса было выше. По результатам биотестирования и биоиндикации, вода прудов соответствовала III классу, категории (4) «умеренно загрязнённая», зимовальных прудов — к категории (5) «загрязнённая». Исходя из этого, были рекомендованы мероприятия по оптимизации технологического цикла Криничанского рыбхоза, которые позволяют предотвратить гибель рыбы, а также подготовлена методика быстрой и малозатратной оценки качества воды, которая предлагается к внедрению в прудовое рыбоводство. Методика предусматривает сочетание биотестирования с помощью ракообразных

*D. magna* как поверхностных, так и придонных слоёв воды с биоиндикацией прудов на основании структурно-функциональных показателей зоопланктона, а также проверку качества воды из источника питания прудов. Рекомендуется провести в Криничанском рыбхозе мероприятия по оптимизации технологического цикла в направлении большего наполнения прудов водой, соблюдения правильного режима их функционирования и удаления токсичных отложений.

### ЛИТЕРАТУРА

- Брагинский Л. П. 1998. Принципы классификации и некоторые механизмы структурно-функциональных перестроек пресноводных экосистем в условиях антропогенного пресса // Гидробиологический журнал. Т. 34. № 6. С. 72–94.
- Визначання гострої летальної токсичності на *Daphnia magna* Straus і *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg (Cladocera, Crustacea) 2004. (ISO 6341:1996, MOD) / Крайнюкова А. М. (розроб.). Офіц. вид. К.: Держспоживстандарт України, IV. 18 с. (Національний стандарт України).
- Визначання сублетальної та хронічної токсичності хімічних речовин та води на *Daphnia magna* Straus і *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg (Cladocera, Crustacea) 2004. (ISO 1076:2000, MOD): ДСТУ 4174–2003 / Крайнюкова А. М. (розроб.). Офіц. вид. К.: Держспоживстандарт України, IV. 22 с. (Національний стандарт України).
- Киселев И. А. 1956. Методы исследования планктона // Жизнь пресных вод СССР, М.: Изд-во АН СССР Т. 4 (1). С. 183–265.
- Коновець І. М., Кіпніс Л. С. 2006. Біотестування токсичності поверхневих вод та донних відкладів за допомогою гіллястовусих ракоподібних *Daphnia magna* Straus та *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg // Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод. Киев. С. 361–385.

- Линник П. М. 2006. Визначення у воді кисню // Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод. Київ. С. 248–252.
- Стрілець Р. О. 2016. Екологічний паспорт Дніпропетровської області. 229 с.

#### REFERENCES

- Braginskij L. P. 1998. Principy klassifikacii i nekotorye mekhanizmy strukturno-funkcional'nyh perestroek presnovodnyh ehkosisem v usloviyah antropogenogo pressa [The principles of classification and some mechanisms of structural and functional transformations of freshwater ecosystems under anthropogenic pressure conditions] // *Gidrobiologicheskij zhurnal*. T. 34, № 6. S. 72–94.
- Vyznachannya hostroyi letal'noyi toksychnosti na *Daphnia magna* Straus i *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg (Cladocera, Crustacea) [Determination of acute lethal toxicity on *Daphnia magna* Straus and *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg (Cladocera, Crustacea)] 2004. (ISO 6341:1996, MOD) / A. M. Krainyukova (rozrob.). Ofits. vyd. K.: Derzhspozhyvstandart Ukrainy, IV. 18 s. (Natsional'nyy standart Ukrainy).
- Vyznachannya subletal'noyi ta khronichnoyi toksychnosti khimichnykh rehovyn ta vody na *Daphnia magna* Straus i *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg (Cladocera, Crustacea) [Determination of sublethal and chronic

- toxicity of chemical substances and water on *Daphnia magna* Straus and *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg (Cladocera, Crustacea) 2004. (ISO 1076:2000, MOD): DSTU4174–2003 / A. M. Krainyukova (rozrob.). Ofits. vyd. K.: Derzhspozhyvstandart Ukrainy, IV. 22s. (Natsional'nyy standart Ukrainy)
- Kiselev I. A. 1956. Metody issledovaniya planktona [Methods of plankton study] // *Zhizn' presnyh vod SSSR*, M.: Izd-vo AN SSSR T. 4 (1) S. 183–265.
- Konovets' I. M., Kipnis L. S. 2006. Biotestuvannya toksychnosti poverkhnevyykh vod ta donnykh vidkladiv za dopomohoyu hillyastovusykh rakopodibnykh *Daphnia magna* Straus ta *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg [Biotesting of toxicity of surface water and bottom sediments by using cladocerans *Daphnia magna* Straus and *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg] // *Metody hidroekologichnykh doslidzhen' poverkhnevyykh vod*. Kyev. S. 361–385
- Linnik P. M. Vyznachannya u vodi kysnyu [Determination of oxygen in water] // *Metody hidroekologichnykh doslidzhen' poverkhnevyykh vod*. Kyev. S. 248–252.
- Strilets' R. O. 2016. Ekolohichniy pasport Dnipropetrovs'koyi oblasti [Environmental passport of Dnipropetrovsk region] 229s.

Поступила в редакцию 12.03.2017 г.

Принята к печати 20.03.2017 г.

## Introduction of biotesting method for studying water quality of fish-farm ponds of Krynychanskiy fish farm

V. A. Yakovenko, E. V. Fedonenko

Oles Honchar Dnipropetrovsk National University, Ukraine

First in Ukraine the biotesting of water quality has been carried out at different stages of the technological cycle in ponds of fish farms. The methodology of ponds water quality biotesting has been prepared for introduction into fish farms practice that allows to determine water quality impairment by simply quickly and unexpensively method. Parallel with silt accumulation and oxygen concentration reducing in the bottom layer the impact on ponds water quality caused by water feeding from the eutrophic river Mokraya Sura on which bank the right-bank Dnipro aeration station is situated. In addition tube and tire factories waste water saturated with heavy metals discharges into the river. Organic matter and heavy metals entry from the river is causes periodically fish kill phenomena also with decrease in fish immunity to such diseases as ichthyophthiriasis, philometrosis, lerneosis, argulesis, dactylogirosis detected in carp and silver carp of Krinichansky fish ponds. It has been found, that for complete and objective estimation of water quality in fish farm ponds especially in those that are used for fish larva it is necessary to combine the biotesting method based on crustaceans *Daphnia magna* Strauss with the bioindication of the ponds' state due to the structural-functional indexes of zooplankton. It has been also shown that quality control is necessary for Mokraya Sura river water being the source of Krynychanskiy ponds feeding. In addition it has been educed that for the analysis of reasons of ponds water contamination the biotesting of both superficial and bottom water is necessary to be held. It has been found, that for fish death prevention the biotesting together with zooplankton study must be held no less than 3–4 times during fish farming season at the certain stages of technological cycle.

**Key words:** biotesting, bioindication, zooplankton, fishing pond, acute lethal toxicity, saprobity index.