

ТОКСИЧНІСТЬ ХЛОРФЕНОЛІВ У ВОДНОМУ СЕРЕДОВИЩІ ЗА ДОПОМОГОЮ КОМПЛЕКСНОГО БІОТЕСТУВАННЯ НА ТВАРИННИХ І РОСЛИННИХ ТЕСТ-ОРГАНІЗМАХ

В. Ф. КОВАЛЕНКО, кандидат біологічних наук

І. А. ЗЛАЦЬКИЙ, кандидат біологічних наук

О. В. ДАЦКЕВИЧ, доктор хімічних наук

А. В. НАНІЄВА, провідний інженер

А. М. ГОЛОВКОВ, [□] аспірант

**Інститут колоїдної хімії та хімії води імені А. В. Думанського
НАН України**

E-mail: Leschij_1@ukr.net

Анотація. За допомогою комплексного біотестування досліджено ступінь токсичності похідних сполук хлорування фенолу. Встановлено, що хлорування природних поверхневих вод призводить до утворення токсичних для тест-організмів речовин. Визначено чутливість тваринних і рослинних тест-організмів до токсичного впливу трихлорфенолу та пентахлорфенолу. Досліджено токсичну дію хлорфенолів на розвиток ембріонів риб, що спричинює порушення ембріогенезу і загибель зародків.

Ключові слова: методи біотестування води, хлорфеноли, токсичність, чутливість тест-організмів.

Актуальність. В останні роки водні токсикологи та екологи звертають особливу увагу на хлоровані феноли, концентрації яких у поверхневих водах досягають рівнів, небезпечних для живих організмів [1]. Хлорфеноли як екотоксиканти мають здатність накопичуватися у тканинах і органах гідробіонтів, токсично впливаючи на їхній організм [2]. Біологічна акумуляція цих сполук є видоспецифічною і залежить від дози і тривалості їхнього впливу. Тривалий вплив малих концентрацій хлорфенолів призводить до більшого їх накопичення, ніж короточасний вплив більших доз [3]. Точно не встановлено, чи відбувається акумуляція хлорфенолів через харчовий ланцюг чи безпосередньо з води. Особливо небезпечний пентахлорфенол, причому його токсичність для риб зростає при зниженні величини рН і вмісту кисню у воді. А високі рівні пентахлорфенолу значно знижують вміст кисню і фітопланктону у водному середовищі [3].

Концентрація хлорфенолів у природних водах залежить як від природних хімічних процесів, так і від антропогенного впливу. У першому випадку – це результат спонтанного хлорування органічної речовини. Хлорфеноли утворюються при взаємодії активного хлору (продукту ферментативного та фотолітичного окислення хлорид-іонів) і фенолів, що входять до складу гумусових речовин (переважно гумінових і фульвокислот) [4]. У другому випадку хлорфеноли надходять у водні екосистеми зі стічними водами і відходами целюлозно-паперової та хімічної промисловості, з господарсько-побутовими

стоками [3]. У поверхневих водотоках хлорфеноли активно сорбуються з води і накопичуються в донних відкладеннях до значних концентрацій. Мала відмінність концентрацій хлорфенолів у стічних водах на вході та виході з очисних споруд вказує на дуже слабку бар'єрну роль останніх щодо цих сполук [5].

Небезпечні наслідки для здоров'я людини має хлорування питної води, що застосовується в Україні і в інших країнах для її знезараження. Проблема полягає в тому, що хлорування можна застосовувати для добре очищеної вихідної води, яка була на території України років 80-100 тому, але на сьогодні практично відсутня. Наявність у воді, що хлорується, слідів органічних сполук призводить до появи більш небезпечних хлорорганічних сполук. Хлорування питної води з метою знезараження підвищує її токсичність у 3-6 разів порівняно з вихідною [6].

Зі збільшенням кількості атомів хлору в ароматичному кільці зростає токсичність хлорфенолів, стійкість до розкладання і здатність до біоаккумуляції [7]. Хлорфеноли є попередниками небезпечніших екотоксикантів – діоксинів. Пентахлорфенол і 2,4,6-трихлорфенол мають виражені мутагенні та канцерогенні властивості [8, 9]. Пентахлорфенол є одним із найбільш стійких і токсичних органічних забруднювачів природних вод. Згідно з Програмою ООН з навколишнього середовища (UNEP) у 2003 році пентахлорфенол внесений до списку стійких органічних забруднень [10].

Вищезазначене вказує на актуальність проведення наукових робіт, спрямованих на вивчення токсичного впливу хлорвмісних сполук на живі об'єкти. Наші дослідження спрямовано на оцінювання токсичності пентахлорфенолу і трихлорфенолу як найменш летких і найбільш стійких до розкладання сполук, здатних акумулюватися в організмі.

Матеріали і методи дослідження. Для визначення токсичності хлорфенолів у водному середовищі застосовано методику комплексного біотестування з використанням набору тваринних і рослинних тест-організмів. У наборі тест-організмів використано представників різних систематичних груп і трофічних рівнів [10, 11].

Для комплексного біотестування водних розчинів пентахлорфенолу і трихлорфенолу застосовували такий набір тест-організмів:

- цибуля ріпчаста (*Allium cepa*) – представник однодольних рослин. Процедура біотестування складається із пророщування еталонних цибулин у досліджуваній воді [12]. Критерієм токсичності слугують якісні зміни розмірно-вагових показників корінців у дослідній групі порівняно з контрольною після експозиції протягом 72 год;

- гідра прісноводна (*Hydra attenuata*) – представник безхребетних кишковопорожнинних тварин. Має високу чутливість до органічних токсикантів. Під час біотестування реєструють морфологічні зміни (сублетальний ефект) і відсоток виживання (летальний ефект) протягом чотирьох діб [13];

- церіодафнія (*Ceriodaphnia affinis*) – стандартний чутливий вид нижчих ракоподібних, використовуваних у біотестуванні води. Критерієм токсичності при біотестуванні слугує смертність тест-організмів протягом двох діб (гостра токсичність) і зниження народжуваності при експозиції протягом 7 діб (хронічна токсичність) [14, 15];

– гупі (*Poecillia reticulata*) – представник хребетних водних тварин. Універсальний тест-об'єкт, що адекватно реагує на токсичні речовини різної природи. Під час біотестування реєструється кількість загинув особин в досліджуваній воді протягом чотирьох діб [16];

– даніо реріо (*Brachidanio rerio*) – стандартизований тест-організм, зручний для біотестування методом ембріогенезу запліднених яйцеклітин (ікринок) [17, 18]. Критерієм токсичності водного середовища слугують порушення розвитку ембріона, вроджені каліцтва і загибель.

Під час біотестування реєстрували показники досліджуваної води: концентрацію розчиненого кисню –киснеміром Ажа-101М, величину рН – портативним рН-метром рН-150М. У наших дослідженнях ці показники водного середовища відповідали оптимальним параметрам життєдіяльності водних організмів: рівень кисню – 5-8 мгО₂/см³, а величина рН – у межах 6,5-8,5. Температура води підтримувалася на рівні 21-23°C за допомогою кліматичних камер, світловий режим відповідав зміні дня і ночі.

За допомогою «Пробіт-аналізу» було розраховано величини концентрацій LC₀, LC₅₀, LC₁₀₀ для досліджуваних токсикантів. Усі експерименти на тваринах відповідали етичним нормам та принципам, затверджених директивами ЄС 2010/63/ЄС для експериментів із тваринами.

Отримані в біотестуванні дані обробляли статистично за допомогою комп'ютерних програм Microsoft Excel та Origin. Статистичну значущість різниці між дослідною та контрольною групами тест-організмів за показниками виживаності і морфологічних змін розраховували за критерієм Стюдента [19, 20].

Результати дослідження та їх обговорення. При аналізі виявлено токсичну дію трихлорфенолу та пентахлорфенолу в діапазоні концентрацій 0,1-3,0мг/дм³ і 0,03-3,0мг/дм³, відповідно, на всі використані тест-організми (табл. 1).

1. Токсикологічні показники впливу хлорованих фенолів на тваринні та рослинні тест-об'єкти (p≤0,05)

Тест-організми	Трихлорфенол, LC ₅₀ , мг/дм ³	Пентахлорфенол, LC ₅₀ , мг/дм ³
<i>Hydra attenuate</i>	0,2	0,04
<i>Cereodaphnia affinis</i>	0,8	0,12
<i>Poecillia reticulata</i>	1,5	0,14
<i>Allium cepa</i>	3,9	1,4

Найбільш чутливою до дії хлорованих фенолів виявилася гідра прісноводна (*H. attenuate*), яка реагувала на досліджуваний токсичний агент у дуже вузькому діапазоні концентрацій. Так наприклад, при концентрації трихлорфенолу в воді 0,1мг/дм³ всі тест-організми залишалися живі протягом 96год експозиції, а при 0,2мг/дм³ спостерігався 100%-й летальний результат. Аналогічна реакція гідри спостерігалася при експозиції у водних розчинах пентахлорфенолу: всі організми виживали при 0,03мг/дм³ і всі гинули при концентрації 0,04мг/дм³. Такий вузький діапазон концентрацій реагування гідр не дає змоги достовірно виділити концентрації 50% летального результату (LC₅₀), які прийнято використовувати для оцінювання ступеня токсичності

забруднювачів у водній токсикології. Цю обставину можна оцінювати як специфічну дію хлорфенолів на організм гідр. Порівняння токсичності трихлорфенолу і пентахлорфенолу на гідрах показало, що остання сполука для цього тест-об'єкта на порядок токсичніша, ніж трихлорфенол.

Наступним за чутливістю до хлорфенолів тест-організмом виявилася церіодафнія (*C. affinis*), яка реагувала на водні розчини трихлорфенолу в діапазоні концентрацій 0,6-1,3 мг/дм³ і пентахлорфенолу – 0,03-3,0 мг/дм³. При цьому за допомогою «Пробіт-аналізу» було розраховано величини концентрацій LC₅₀ для церіодафній, які становили для трихлорфенолу 0,8 мг/дм³ і для пентахлорфенолу 0,12 мг/дм³. Таким чином, токсичність пентахлорфенолу для церіодафній у 7 разів вища, ніж трихлорфенолу. Треба зазначити, що в церіодафній, як і в гідр, малий розрив значень між концентраціями хлорфенолів, що спричиняють початкові явища інтоксикації організму, та рівнів, які призводять до летального результату. Відомо [21], що чим менша зона гострої токсичної дії, тим небезпечніша діюча речовина для гідробіонтів, оскільки навіть невелике перевищення порогової концентрації може викликати їх летальність.

Біотестування вод, що містили трихлорфенол і пентахлорфенол, за допомогою риб гупі показало, що реагування цих тест-організмів на токсичну дію спостерігалось за концентрацій 0,9-1,9 мг/дм³ і 0,03-0,5 мг/дм³, відповідно. За таких умов LC₅₀ для трихлорфенолу становив 1,5 мг/дм³ і для пентахлорфенолу – 0,14 мг/дм³. На підставі цих показників можна зробити висновок, що токсичність пентахлорфенолу для риб у 11 разів більша, ніж трихлорфенолу. Чутливість *P. reticulate* до хлорованих фенолів виявилася нижчою, ніж церіодафнії і гідри, а зона переходу від концентрацій, за яких з'являються окремі загиблі особини, до концентрацій, що викликають 100%-у загибель тест-організмів досить широка. Можливо, риби як представники кінцевих ланок водних трофічних ланцюгів мають вищу організацію фізіологічних функцій, а отже, і підвищену здатність адаптуватися до зміни умов середовища проживання.

Результати, дослідження ріпчастої цибулі (*A. сера*), яку пророщували на водних розчинах речовин, добре корелювали з результатами біотестування на гідробіонтах. У дослідах з тестуванням водних розчинів хлорфенолів показано, що зі збільшенням концентрацій трихлорфенолу (з 1,3 до 13,0 мг/дм³) і пентахлорфенолу (з 0,03 до 7,0 мг/дм³) спостерігається зменшення показників довжини і ваги (на 80-90%) корінців *A. сера*, при цьому величина EC₅₀ становить 3,9 і 1,4 мг/дм³, відповідно. Отже, для цибулі пентахлорфенол виявився у 3 рази токсичнішим, ніж трихлорфенол.

Відповідно до таблиці 1 чутливість тест-організмів до впливу хлорфенолів спосіб схематично можна зобразити так: гідра > церіодафнія > гупі > цибуля. Якщо порівнювати значення концентрацій з летальним результатом 50%, що показує гостру токсичність досліджуваних хлорфенолів для біоти з умістом їх у природних водах, то в забруднених хлорованими фенолами поверхневих водах [21] концентрації пентахлорфенолу і трихлорфенолу близькі до значень LC₅₀, отриманих з допомогою тест-об'єктів.

Отримані нами дані про токсичність хлорфенолів на організменому рівні корелюють з результатами інших дослідників, які також використовували тест-організми, що представляють різні трофічні рівні, тому що використання тільки одного тест-об'єкта не дає повного уявлення про небезпеку досліджуваного

токсиканту. В одних випадках використовувалися три види гідробіонтів: бактерії, водорості та риба (гупі) [22] або хлорела, дафнія і риба (тіляпія) [23], в інших застосування тест-об'єктів було ширшим (бактерії, водорості, дафнія, цибуля і клітини тканин мавп) [24].

У дослідях на вплив пентахлорфенолу та трихлорфенолу при ембріогенезі риб нами було встановлено летальні, сублетальні та допустимі концентрації. У всіх дослідженнях у контролі спостерігалось не менше ніж 10% загибелі ембріонів *B. rerio*. Експеримент мав триразову повторність для кожного хлорованого фенолу.

Під час ембріогенезу для пентахлорфенолу вдалося визначити сублетальні концентрацію після 72год дії токсиканту, яка перебуває в межах від 0,05мг/дм³ до 0,0 мг/дм³. Концентрації вище ніж 0,05мг/дм³ можна вважати летальними (рис. 1).

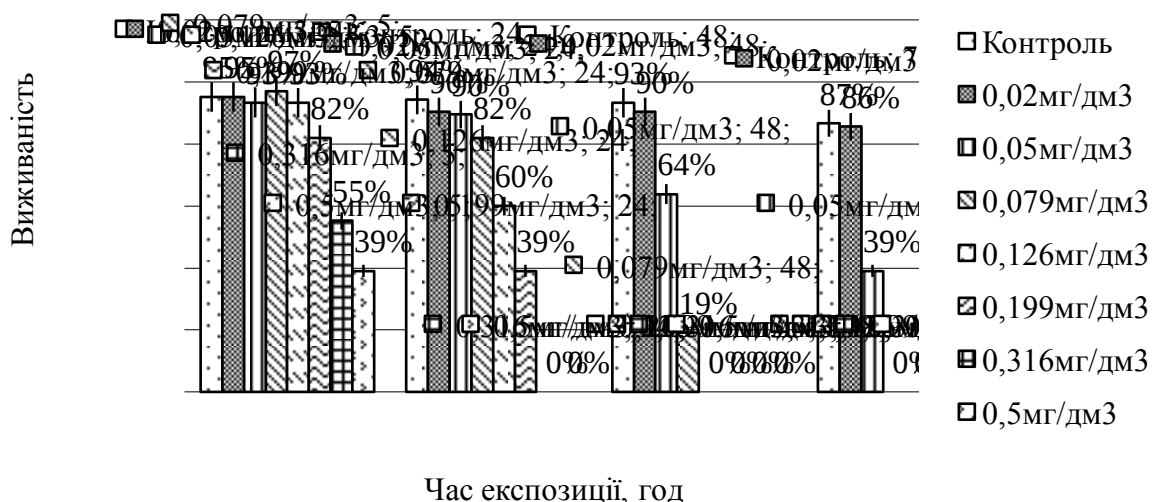


Рис. 1. Дія різних концентрацій пентахлорфенолу на ембріони *B. rerio* ($p \leq 0,05$)

Варто зазначити, що летальна дія деяких концентрацій пентахлорфенолу не виявлялась одразу в першу добу (0,199мг/дм³, 0,126мг/дм³, 0,079мг/дм³). Помітні зміни в усіх летальних концентраціях наставали тільки після 48год експерименту. Однак при концентрації 0,5мг/дм³ вже після 5год дії пентахлорфенолу вижило <50% ембріонів, а після 24год експерименту наставала цілковита загибель ембріонів при концентрації 0,5мг/дм³ і 0,316мг/дм³. Концентрацію 0,02мг/дм³ пентахлорфенолу під час ембріогенезу оцінено як безпечну.

Установлено, що для трихлорфенолу сублетальні концентрації перебувають у межах від 0,126мг/дм³ до 0,079мг/дм³ після 72год дії токсиканту (рис. 2). Значення вище ніж 0,126мг/дм³ можна вважати летальними концентраціями. При концентраціях 0,5мг/дм³ і 0,316мг/дм³ майже всі ембріони загинули після 24год дії трихлорфенолу. Після 48год експозиції змін у всіх досліджуваних концентраціях майже не відбувалося. Під час ембріогенезу безпечна концентрація трихлорфенолу становить 0,05мг/дм³.

Список використаних джерел

1. Архипчук В.В. Использование методов биотестирования для комплексной оценки качества воды // Экологические аспекты современных технологий охраны водной среды. – К.: Наукова думка, 2005. – гл. 10. – С. 322-347.
2. Бресткина М.Д., Тушмалова Н.А., Данильченко О.П. Экспресс-метод определения токсичности водной среды по регенерации пресноводной гидры *Hydra attenuate* // Теоретические вопросы биотестирования. – Волгоград, 1983. – С.133-136.
3. Воробьева Т.В., Терлецкая А.В., Кущевская Н.Ф. Стандартные и унифицированные методы определения фенолов в природных и питьевых водах и основные направления их совершенствования // Химия и технология воды. – 2007. – т.29, №4. – С.370-390.
4. ДСТУ 4173-2003. Якість води. Визначання гострої летальної токсичності на *Daphnia magna* та *Ceriodaphnia affinis* (Cladocera, Crustacea) (ISO 6341:1996, MOD).
5. Елин Е.С. Фенольные соединения в биосфере. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001. – 234 с.
6. ДСТУ 4174:2003 Якість води. Визначення хронічної токсичності хімічних речовин та води на *Daphnia magna* і *Ceriodaphnia affinis* (Cladocera, Crustacea). – Київ, Держстандарт, 2004.
7. Клубова Л.И., Морозов С.В. Органические загрязнители питьевой воды. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1993.- Вып. 26. – 167 с.
8. КНД 211.1.4.057-97. Методика визначення гострої летальної токсичності води на рибах *Plecoglossus reticulatus* Peters. Затв. наказом Мінприроди України від 21.05.97 # 68.
9. Лакин Г. Ф. Биометрия: Учебное пособие для биол. спец. вузов- 4-е изд., перераб. и доп. М.: Высш. шк., 1990. – 352 с.
10. Малков П.Ю. Количественный анализ биологических данных: Учебное пособие. – М.: Наука, 2005. – 282 с.
11. Федоров Л.А. Диоксины как экологическая опасность: ретроспектива и перспективы. – М.: «Наука», 1993. – 267 с.
12. Филенко О.Ф., Михеева И.В. Основы водной токсикологии. – М.: Колос. – 2007. – 144 с.
13. Adrian J.Hill, Hiroki Teraoka, Warren Heideman. Zebrafish as a Model Vertebrate for Investigating Chemical Toxicity // TOXICOLOGICAL SCIENCES. - 2005. – V.86, №1. P. 6–19.
14. Davoren M., Fogarty A.M. Ecotoxicological evaluation of biocidal agents sodium o-phenylphenol, sodium o-benzyl-p-chlorophenol, and sodium p-tertiary amylphenol // . Ecotoxicol Environ Saf., 2005, №60 (2). – P.203-212.
15. Dorsey W.C., Tchounwou P.B. Pentachlorophenol-induced cytotoxic, mitogenic and endocrine-disrupting activities in channel catfish, *Ictalurus punctatus* // Int J Res Public Health. – 2004, №1 (2). – P.90-99.
16. Fiskesju G. The Allium test as a standard in environmental monitoring // Hereditas, 1985, - №102. – P.99-112.
17. Goncharuk V.V., Syroeshkin A.V., Kovalenko V.F., Zlatskiy I.A. Formation of a test systems and selection of test criteria in natural waters bioassay // J. of Water Chem. and Technol. – 2016 – vol.38, No 6. – P. 349-352.
18. Yalkowsky S.H., Yan H., Jain P. Handbook of aqueous solubility data. – 2nd ed. - CRC Press, 2010. - P. 188-189
19. Yen J.H., Lin K.H., Wang Y.S. // Acute lethal toxicity of environmental pollutants to aquatic organism // Ecotoxicol Environ Saf., 2002, №52 (2). – P.113-116.

20. Naturally Produced Organohalogenes. – Kluwer Acad. Publ. Dordrecht Hardbound, 1995. - 325 p.
21. Repetto G., Jos A., et al // A test battery for ecotoxicological evaluation of pentachlorophenol // *Toxicol In Vitro*. – 2001, №15 (4-5). – P.503-509.
22. Smith A.D., Bharath A., Mallard C., Orr D., Smith K., Sutton J.A., Vukmanich J., McCarty L.S., Ozburn G.W. The acute and chronic toxicity of ten chlorinated organic compounds to the American flagfish (*Jordanella floridae*) // *Arch Environ Contam Toxicol*. – 1991, №20(1). – P.94-102.
23. Scott, G.R., Sloman, K.A. The effects of environmental pollutants on complex fish behavior: integrating behavioural and physiological indicators of toxicity // *Aquat. Toxicol*. – 2004. – T.68. - P.369–392.
24. Sumpter J.P., Jobling S. Vitellogenesis as a bio-marker for estrogenic contamination of the aquatic environment // *Environmental Health Perspectives*. – 1995 – V.103. P. 173– 176.

References

1. Arkhipchuk V.V. (2005) Ispol'zovanie metodov biotestirovaniya dlya kompleksnoy otsenki kachestva vody [Use of biotesting methods for integrated water quality assessment]. Ecological aspects of modern technologies of water protection. 322-347.
2. Brestkina M.D., Tushmalova N.A., Danil'chenko O.P. (1983) Ekspress-metod opredeleniya toksichnosti vodnoy sredy po regeneratsii presnovodnoy gidry *Hydra attenuate* [Ekspress-metod opredeleniya toksichnosti vodnoy sredy po regeneratsii presnovodnoy gidry *Hydra attenuate*]. Theoretical questions of biotesting.133-136.
3. Vorob'yeva T.V., Terletskaya A.V., Kushchevskaya N.F.(2007) Standartnye i unifikirovannyye metody opredeleniya fenolov v prirodnykh i pit'yevykh vodakh i osnovnye napravleniya ikh sovershenstvovaniya [Standard and unified methods for the determination of phenols in natural and drinking waters and the main directions for their improvement]. *Water chemistry and technology*. 370-390.
4. DSTU 4173-2003. How is water Determination of acute lethal toxicity on *Daphnia magna* and *Ceriodaphnia affinis* (Cladocera, Crustacea) (ISO 6341:1996, MOD).
5. Elin E.S.(2001) Fenol'nye soedineniya v biosfere.[Phenolic compounds in the biosphere]. 234.
6. DSTU 4174:2003 Water quality. Determination of chronic toxicity of chemicals and water on *Daphnia magna* i *Ceriodaphnia affinis* (Cladocera, Crustacea).
7. Klubova L.I., Morozov S.V.(1993) Organicheskie zagryazniteli pit'yevoy vody [Organic Pollutants of Drinking Water]. 167.
8. KDI 211.1.4.057-97. Method of determination of acute lethal toxicity of water in fish *Poecilia reticulata* Peters. Shuttle Order of the Ministry of Nature of Ukraine dated 21.05.97 # 68.
9. Lakin G. F.(1990) Biometriya: Uchebnoe posobie dlya biol. spets. vuzov- 4-e izd., pererab. i dop.[Biometrics]. 352.
10. Malkov P.Yu.(2005) Kolichestvennyy analiz biologicheskikh dannykh: Uchebnoe posobie [Quantitative analysis of biological data]. 282.
11. Fedorov L.A.(1993) Dioksiny kak ekologicheskaya opasnost': retrospektiva i perspektivy [Dioxins as an environmental hazard: a retrospective and perspective]. 267.
12. Filenko O.F., Mikheeva I.V.(2007) Osnovy vodnoy toksikologii [Fundamentals of aquatic toxicology]. 144.
13. Adrian J.Hill, Hiroki Teraoka, Warren Heideman. Zebrafishasa Model Vertebrate for Investigating Chemical Toxicity // *TOXICOLOGICAL SCIENCES*. - 2005. – V.86, №1. P. 6–19.

14. Davoren M., Fogarty A.M. Ecotoxicological evaluation of biocidal agents sodium o-phenilphenol, sodium o-benzyl-p-chlorophenol, and sodium p-tertiary aqmylphenol // . Ecotoxicol Environ Saf., 2005, №60 (2). – P.203-212.
15. Dorsey W.C., Tchounwou P.B. Pentachlorophenol-induced cytotoxic, mitogenic and endocrine-disrupting activities in channel catfish, *Ictalurus punctatus* // Int J Res Public Health. – 2004, №1 (2). – P.90-99.
16. Fiskesju G. The Allium test as a standard in environmental monitoring // Hereditas, 1985, - №102. – P.99-112.
17. Goncharuk V.V., Syroeshkin A.V., Kovalenko V.F., Zlatskiy I.A. Formation of a test systems and selection of test criteria in natural waters bioassay // J. of Water Chem. and Technol. – 2016 – vol.38, No 6. – P. 349-352.
18. Yalkowsky S.H., Yan H., Jain P. Handbook of aqueous solubility data. – 2nd ed. - CRC Press, 2010. - P. 188-189.
19. Yen J.H., Lin K.H., Wang Y.S. // Acute lethal toxicity of environmental pollutants to aquatic organism // Ecotoxicol Environ Saf., 2002, №52 (2). – P.113-116.
20. Naturally Produced Organohalogens. – Kluwer Acad. Publ. Dordrecht Hardbound, 1995. - 325 p.
21. Repetto G., Jos A., et all // A test battery for ecotoxicological evaluation of pentachlorophenol // Toxicol In Vitro. – 2001, №15 (4-5). – P.503-509.
22. Smith A.D., Bharath A., Mallard C., Orr D., Smith K., Sutton J.A., Vukmanich J., McCarty L.S., Ozburn G.W. The acute and chronic toxicity of ten chlorinated organic compounds to the American flagfish (*Jordanella floridae*) //Arch Environ Contam Toxicol. – 1991, №20(1). – P.94-102.
23. Scott, G.R., Sloman, K.A. The effects of environmental pollutants on complex fish behavior: integrating behavioural and physiological indicators of toxicity // Aquat. Toxicol. – 2004. – T.68. - P.369–392.
24. Sumpter J.P., Jobling S. Vitellogenesis as a bio-marker for estrogenic contamination of the aquatic environment // Environmental Health Perspectives. – 1995 – V.103. P. 173– 176.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОКСИЧНОСТИ ХЛОРФЕНОЛОВ В ВОДНОЙ СРЕДЕ С ПОМОЩЬЮ КОМПЛЕКСНОГО БИОТЕСТИРОВАНИЯ НА ЖИВОТНЫХ И РАСТИТЕЛЬНЫХ ТЕСТ-ОРГАНИЗМАХ

**В. Ф. Коваленко, И. А. Злацкий, Е. В. Дацкевич, А. В. Наниева,
А. Н. Головков**

Аннотация. *С помощью комплексного биотестирования исследована степень токсичности производных соединений хлорирования фенола. По результатам биотестирования установлено, что хлорирование природных поверхностных вод увеличивает их токсичность и ухудшает качество. Определена чувствительность животных и растительных тест-организмов на воздействие трихлорфенола и пентахлорфенола. Исследовано токсическое действие хлорфенолов на развитие эмбрионов рыб *Brachidanio rerio*, которая приводила к нарушению эмбриогенеза и гибели зародыша.*

Ключевые слова: *методы биотестирования воды, хлорфенолы, токсичность, чувствительность тест-организмов.*

DETERMINATION OF THE CHLORPHENOLS TOXICITY IN THE WATER

ENVIRONMENT BY THE INTEGRATED BIOTESTING ON ANIMAL AND VEGETABLE TEST-ORGANISMS

V. Kovalenko, I. Zlatskiy, E. Datskevich, A. Nanieva, A. Golovkov

Abstract. *With the help of complex biotesting, the degree of toxicity of derivatives of phenol chlorination compounds was studied. According to the results of biotesting, it was found that chlorination of natural surface waters exposes them to toxicity and impairs quality. The sensitivity of animals and plant test organisms to the toxic effects of trichlorophenols and pentachlorophenol has been determined. The toxic effect of chlorophenols on the development of Brachidanio rerio fish embryos was studied, which led to a violation of embryogenesis and death of the embryo.*

Keywords: *water biotesting methods, chlorophenols, toxicity, sensitivity of test-organisms.*