

УДК 576.34: 574.55 (264.30)

**Петрук А. М., к.с.-г.н., доцент** (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

## **ОЦІНЮВАННЯ ТІСНОТИ КОРЕЛЯЦІЙНОГО ЗВ'ЯЗКУ МІЖ ПОКАЗНИКАМИ ЯКОСТІ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД ВОДОЙМИ-ОХОЛОДЖУВАЧА ХАЕС**

На підставі опрацьованих багаторічних даних динаміки показників якості води водойми-охолоджувача Хмельницької атомної електростанції проведено кореляційний аналіз, під час якого за величиною коефіцієнту кореляції ( $r$ ) визначено оптимальне сполучення взаємовпливаючих чинників водного об'єкту, ступінь та напрям зв'язку між ними.

**Ключові слова:** кореляція, кореляційна матриця, коефіцієнт кореляції, поліноміальне рівняння, кореляційний зв'язок, токсичність, водна екосистема, величина апроксимації.

**Вступ.** На сьогодні для України актуальним є розробка та впровадження превентивних водоохоронних заходів, які базуються на імовірносній екологічній інформації, що дозволить підвищити рівень природно-техногенної безпеки гідроекосистем. Під природною техногенною безпекою гідроекосистем розуміємо досягнення такого стану екологічної безпеки відношень людина – водне середовище, за якою темпи економічного зростання та рівень життя відповідають темпам відновлення гідроекосистем, в рамках збалансованого водокористування і стійкого розвитку. Кількісне описування процесу формування екологічного стану гідроекосистем різного цільового призначення стало нормою в екологічних дослідженнях, що не можна стверджувати стосовно кількісного описування механізму цього явища, тобто стосовно його математичного моделювання. Але, як вважають більшість науковців, без математичного опису закономірностей процесів, які відбуваються в межах водойм, та кількісної оцінки результатів антропогенного впливу неможливо забезпечити прогнозування тенденцій розвитку гідроекосистем та вирішити головну гідроекологічну проблему – визначення оптимального режиму експлуатації водної екосистеми, коли може бути отриманий найвищий позитивний ефект при найнижчих негативних наслідках. На сьогодні існують різні способи математичної формалізації та методи описування реальних процесів математичної моделі. Спектр запропонованих підходів досить широкий, починаючи від лі-

нійних алгебраїчних рівнянь до використання нелінійних багатоелементних алгоритмів. Вибір того чи іншого підходу до апроксимації досліджуваного процесу, що впливає на формування пошукової функції, визначається вимогами щодо точності кінцевих результатів і кількістю вихідних натуральних даних, які покладені в основу побудови математичної моделі [1].

**Аналіз попередніх досліджень.** Досвід екологічного моделювання гідроекосистем різного типу показує, що найбільшою прогностичною цінністю володіють моделі середнього ступеня складності, що зумовлено особливостями поведінки екосистем. При цьому, як вважають А. М. Догановський та О. В. Іванова (1991), математичне моделювання і прогнозування необхідно проводити тільки за обмеженим числом факторів, які є найбільш дослідженими. За дослідженнями Ю. В. Пилипенка (2007), Л. М. Архипової (2012) екологічне моделювання і оцінка просторових закономірностей розподілу кількісних і якісних характеристик гідроекосистем дає змогу теоретично виявити закономірності змін показників в часі і в просторі.

Для вирішення означеної проблеми особливу роль відіграють методи математичного імітаційного моделювання [2], що представляють собою комп'ютерні програми, побудовані на базі лінійних алгебраїчних рівнянь, які дозволяють не тільки аналізувати та прогнозувати стан або динаміку певного явища, а й здійснювати екологічне обґрунтування різних альтернативних варіантів водоохоронних заходів.

Визначені імітаційні моделі не можуть завжди детально описувати складні екологічні процеси і поступаються у точності апроксимації окремих елементів реальної гідроекосистеми. Але в багатьох випадках доцільність їх використання для вивчення гідроекосистем не викликає ніяких сумнівів, вони мають беззаперечні переваги у відношенні інформативності та практичності їх застосування, тим більше, що методи їх розв'язання освоєні значно краще, ніж методи розв'язання нелінійних диференціальних рівнянь [3].

До останнього часу створення навіть найпростіших модельних програм вимагало знання мов програмування, які досить важкодоступні і передбачають спеціальної підготовки. Ситуація знайшла позитивне вирішення з розповсюдження пакету прикладних програм Microsoft Excel, це доводить створені імітаційні моделі біологічних об'єктів, запропоновані рядом дослідників [4].

Незалежно від вибору ступеню складності апроксимаційної моделі, процесу математичного моделювання передують кореляційний аналіз, під час якого за величиною коефіцієнту кореляції ( $r$ ) та відповідного знаку

при ньому визначаються оптимальне сполучення взаємовпливаючих чинників, ступінь та напрям зв'язку між ними.

**Постановка завдання.** На підставі опрацьованих багаторічних даних динаміки показників якості води водойми-охолоджувача ХАЕС (ВО ХАЕС), провести кореляційний аналіз у вигляді кореляційної матриці головних екологічних параметрів визначеної гідроекосистеми, за величиною коефіцієнту кореляції ( $r$ ), а також визначити оптимальне сполучення взаємовпливаючих чинників водного об'єкту, ступінь та напрям зв'язку між ними.

**Характеристика об'єкту дослідження.** Водойма-охолоджувач ХАЕС знаходиться на території Хмельницької області, створена шляхом спорудження греблі на р. Гнилий Ріг і додатково заповнена водами р. Горинь. Водойма витягнута в північній частині з сходу на захід, а в південно-східному напрямку утворює велику затоку, в кутову частину котрої впадає р. Гнилий Ріг, крім цього створена шляхом обвалування ділянки долини р. Гнилий Ріг – притоку р. Вілія.

Поверхневі води водойми-охолоджувача ХАЕС характеризуються як середньомінералізовані, за класифікацією Алекіна, належить до гідрокарбонатного класу групи кальцію. Обмежуюча гребля – глуха, замикає північну частину водойми.

Об'єм водойми в даний час складає 109,5 млн м<sup>3</sup>, площа дзеркала – 19,37 км<sup>2</sup>, протяжність берегової лінії 20,4 км, середня глибина – 6 м, максимальна – 10 м. Південно-західна, західна і східна прибережні зони – мілководні, закорчовані та зарослі вищою водною рослинністю. Глибини становлять 0,5-1,5 м. Рельєф дна водойми однорідний з поступовим наростанням глибин. Ґрунти – піщані, супіщані, середньозамулені.

Дно глибоководних ділянок північного та західного районів покрите мулом значної товщини з рослинними залишками, з включенням торфу. Ґрунти мілководних ділянок західного, східного і південного районів представлені чистими пісками. Гравійні ґрунти у водоймі не займають значної площі і локалізовані переважно на дні технічних споруд (канали), а також на ділянці впадання р. Гнилий Ріг. Дно підвідного каналу представлене замуленим піском з гравієм, відвідного – 1/3 укріплено бетоном, далі – гравійно-піщане.

Вплив скидних теплих вод виявляється найбільш помітно в зоні циркуляції і зумовлений морфометрією даної водойми, розмірами та особливостями водообміну із живлячими її річками, що без сумніву, істотно впливає на основні життєво важливі функції живих організмів водойми-охолоджувача.

**Результати досліджень.** Кореляційною називають таку статистич-

ну залежність, при якій, якщо змінюється одна з величин, то змінюється середнє значення іншої. Лінія регресії показує, як залежить середнє значення одного емпіричного ряду від значень другого ряду. Якщо побудувати точки  $(x_i, y_i)$  в Декартовій системі координат, то за характером розміщення цих точок можна зробити припущення про форму лінії регресії та відповідну форму кореляційного зв'язку – лінійну, квадратичну, логарифмічну тощо.

Результати кореляційного аналізу представлені у вигляді кореляційної матриці головних екологічних параметрів водойми-охолоджувача ХАЕС (табл. 1, табл. 2) та рис. 1-6 у графіках кореляційної залежності між показниками якості води за трьома блоками показників. При цьому жирним шрифтом виділені коефіцієнти кореляції ( $r$ ), які здолали критичний поріг значимості і свідчать на користь наявності вираженого взаємозв'язку між певними екологічними параметрами достовірного на рівні 5%.

Проведений аналіз кореляційної матриці водойми-охолоджувача ХАЕС показав, що залежність між показниками заліза загального та цинку описується поліноміальним рівнянням,  $r=1$  – кореляційний зв'язок функціональний, так само, як і залежність між показниками цинку та біомасою зообентосу; показниками міді та біомасою зоопланктону та показниками біомаси фітопланктону та біомаси зообентосу характеризуються функціональним зв'язком ( $r=1$ ) в першому, другому і третьому випадках.

Кореляційна залежність між залізом загальним та міддю, БСК<sub>5</sub> та цезієм-137, БСК<sub>5</sub> та біомасою зообентосу також описується поліноміальним рівнянням, коефіцієнт кореляції  $r=0,98-0,99$  – кореляційний зв'язок дуже тісний, так само, як і кореляційна залежність між цезієм-137 і біомасою зоопланктону та біомасою зообентосу описується поліноміальним рівнянням, коефіцієнт кореляції  $r=0,96 - 0,99$  відповідно зв'язок дуже тісний.

Кореляційна залежність між показниками цезієм-137 та міді описується поліноміальним рівнянням, коефіцієнт кореляції  $r=0,51$  – кореляційний зв'язок помітний.

Рівняння залежності якісних параметрів водної екосистеми ВО ХАЕС за трьома блоками екологічних показників наведені в табл. 2. Отже, можна зробити висновок, що дуже тісна сила кореляційного зв'язку при коефіцієнті кореляції ( $r = 0,99$ ) спостерігається між показниками сольового блоку та показниками трофосапробіологічного блоку досліджуваної водойми.

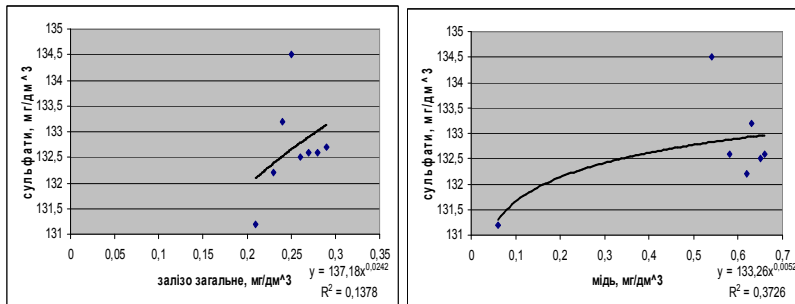


Рис. 1, 2. Графіки кореляційної залежності між показниками якості води (блоків сольового складу та специфічних показників ВО ХАЕС)

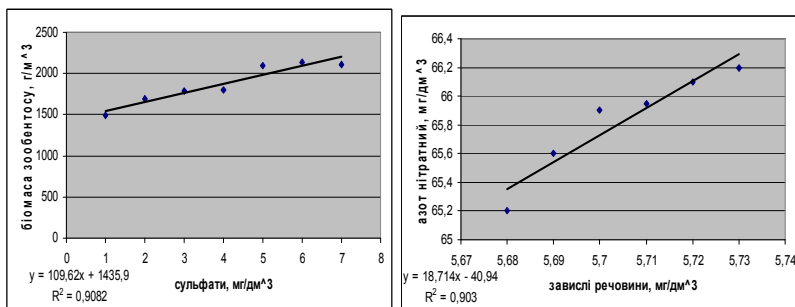


Рис. 3, 4. Графіки кореляційної залежності між показниками якості води (блоків сольового складу та трофо-сапробіологічного ВО ХАЕС)

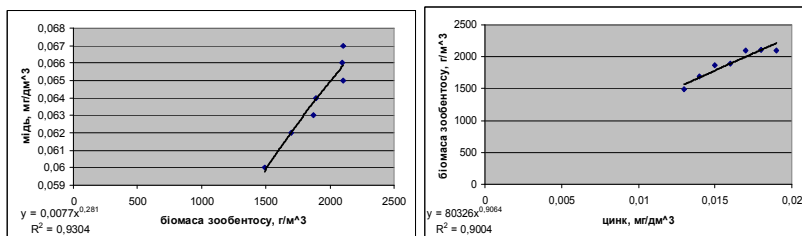


Рис. 5, 6. Графіки кореляційної залежності між показниками якості води (блоків трофо-сапробіологічного складу та специфічних показників ВО ХАЕС)

Таблиця 1

## Кореляційна матриця екологічних параметрів водойми-охолоджувача ХАЕС

Параметри	Сульфати, мг/дм <sup>3</sup>	Хлориди, мг/дм <sup>3</sup>	Завислі речовини, мг/дм <sup>3</sup>	Азот амонійний мг/дм <sup>3</sup>	Азот нітратний мг/дм <sup>3</sup>	БСК <sub>5</sub> , мгО/дм <sup>3</sup>	Мідь, мг/дм <sup>3</sup>	Цинк, мг/дм <sup>3</sup>	Залізо загальне, мг/дм <sup>3</sup>	Біомаса фітопланктону, г/м <sup>3</sup>	Біомаса зообентосу, г/м <sup>2</sup>
Сульфати, мг/дм <sup>3</sup>	-										
Хлориди, мг/дм <sup>3</sup>	-0,60	-									
Завислі речовини, мг/дм <sup>3</sup>	-0,83	0,30	-								
Азот амонійний мг/дм <sup>3</sup>	0,37	<b>0,52</b>	0,17	-							
Азот нітратний мг/дм <sup>3</sup>	0,24	<b>0,54</b>	<b>0,93</b>	0,23	-						
БСК <sub>5</sub> , мгО/дм <sup>3</sup>	0,28	0,46	-0,99	0,48	-0,72	-					
Мідь, мг/дм <sup>3</sup>	<b>0,89</b>	0,48	0,83	<b>0,85</b>	-0,65	-0,18	-				
Цинк, мг/дм <sup>3</sup>	0,15	0,39	0,84	<b>0,91</b>	<b>0,82</b>	<b>0,94</b>	-0,86	-			
Залізо загальне, мг/дм <sup>3</sup>	<b>0,89</b>	0,12	<b>0,89</b>	0,38	-0,50	0,19	0,33	0,54	-		
Біомаса фітопланктону, г/м <sup>3</sup>	<b>0,65</b>	<b>0,83</b>	<b>0,69</b>	0,14	0,32	-0,37	-0,48	0,39	<b>0,63</b>	-	
Біомаса зообентосу, г/м <sup>2</sup>	<b>0,99</b>	0,27	0,38	0,07	-0,67	0,16	0,12	<b>0,87</b>	<b>0,88</b>	<b>0,66</b>	-

(0,51) – достовірні коефіцієнти кореляції (r) на рівні 5%, (-0,21) – недостовірні коефіцієнти кореляції

Таблиця 2

Рівняння залежності якісних параметрів гідроекосистеми водойми-охолоджувача ХАЕС за трьома блоками екологічних показників

Параметри якості води	Рівняння залежності	Коефіцієнт кореляції (r)	Сила кореляційного зв'язку
Залізо загальне, мг/дм <sup>3</sup> та біомаса зообентосу, г/м <sup>2</sup>	$y=0,126x^{0,4489}$	0,88	тісний
Сульфати, мг/л та біомаса зообентосу, г/м <sup>2</sup>	$y=0,001x+0,0218$	0,99	дуже тісний
БСК <sub>5</sub> , мгО/дм <sup>3</sup> та цинк, мг/дм <sup>3</sup>	$y=25744x+1071$	0,94	тісний
Завислі речовини, мг/дм <sup>3</sup> та залізо загальне мг/дм <sup>3</sup>	$y=10,673x^{0,68}$	0,89	тісний
Біомаса зообентосу, г/м <sup>2</sup> і цезій-137, Бк/л	$y=1,7964x^{-0,8716}$	0,79	тісний
Хлориди, мг/л та біомаса фітопланктону, г/м <sup>3</sup>	$y=12,86x+158,75$	0,83	тісний

**Висновки.** Таким чином на підставі вищенаведеного математичного аналізу, можна зробити висновок, що процес формування якісних параметрів досліджуваної гідроекосистеми знаходиться під об'єктивним антропогенним впливом, який пов'язаний з діяльністю атомних електростанцій, про що свідчить тіснота зв'язків від “помітної” до “функціональної” між показниками трофо-сапробіологічного та блоку специфічних речовин токсичної дії, а саме у водоймі – охолоджувачі ХАЕС зв'язок групи нітратів, завислих речовин та показника БСК<sub>5</sub> із вмістом заліза, міді та цинку (r від 0,94 до 0,82) свідчить про негативний вплив термічного режиму водойми на рівень токсичності водного середовища. Як наслідок, чутливими виявляються показники біоти (r від 0,88 до 0,54), що відображує зв'язок між залізом загальним, вмістом іонів цинку і міді з загальною біомасою фітопланктону та зообентосу.

Виявлення екологічного ризику на рівні “кризовий” для величини БСК<sub>5</sub>, завислих речовин і сульфатів та “суттєвий” для азоту нітратного, вмісту заліза і міді у ВО ХАЕС та дає підстави стверджувати про перспективу розвитку токсобності середовища, що матиме негативні наслідки для функціонування даної гідроекосистеми.

Ці обставини, на мою думку, мають бути враховані при формуванні управлінських рішень, спрямованих на раціональну експлуатацію гідроекосистем різного цільового призначення, зони впливу атомних електростанцій, під кутом збереження і поліпшення їх якісних характеристик та можливості господарського використання їх біологічних ресурсів.

1. Гурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика. Учебн пособие для вузов / В. Е. Гурман. – Изд. 7. – М. : Высш.шк., 2001. – 479 с.
2. Айвазян С. А. Прикладная статистика: исследование зависимостей. Справочное издание / С. А. Айвазян и др. – М. : Финансы и статистика, 1985. – 487 с.
3. Лапач С. Н. Статистические методы в медико-биологических исследованиях с использованием Excel / С. Н. Лапач, А. В. Чубенко, П. Н. Бабич. – 2000. – 475 с.
4. Літопис природи Рівненського природного заповідника за 2000-2001 рр. – Сарни : РПЗ, 2000 та 2001 р.
5. Закон України «Про природно-заповідний фонд України» // Відомості Верховної Ради (ВВР). – 1992. – № 34. – С. 502.
6. Справочник гидрохимика / [А. И. Агапова, И. А. Налетова, В. Л. Зубаревич и др.]. – М. : Агропромиздат, 1991. – 224 с.
7. Алекин О. А. Основы гидрохимии / О. А. Алекин. – Л. : Гидрометиздат, 1970. – 442 с.
8. КНД – 211.14.010-94 „Екологічна оцінка якості поверхневих вод суші та естуаріїв України”.
9. Методика встановлення екологічних нормативів якості поверхневих вод для управління станом водних екосистем України / [В. М. Жукінський, О. П. Оксіюк, Г. А. Верніченко та ін.]. – К., 1997. – Т. 1. – С. 11–12.



- 10.** Гриб Й. В. Відновна гідроекологія порушених річкових та озерних систем (гідрохімія, гідробіологія, гідрологія, управління) / Й. В. Гриб, М. О. Клименко, В. В. Сондак. – Рівне : Волинські береги. – 1999. – Том 1. – 348 с. **11.** Метелев В. В. Водная токсикология / В. В. Метелев. – М. : Колос, 1971. – 247 с. **12.** Бедункова О. О. Оцінка стану водних екосистем за коефіцієнтами накопичення та акумуляції токсичних речовин / О. О. Бедункова, А. М. Петрук // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. – Рівне, 2012. – Вип. № 2 (58). С/г науки – С. 67–74. **13.** Клименко О. М. Використання рослиноїдних риб для покращення стану екосистеми водойми-охолоджувача ХАЕС / Клименко О. М., Петрук А. М. // Вісник НУВГП. – Вип. 2(50). – Рівне, 2010. – С. 24–32. **14.** Романенко В. Д. Основи гідро екології / В. Д. Романенко. – Київ : Береги, 2001. – 728 с. **15.** Никаноров А. М. Биомониторинг металлов в пресноводных экосистемах / А. М. Никаноров, А. В. Жулидов. – Л. : Гидрометеоиздат, 1991. – 312 с. **16.** Миловидова Н. Ю. Матеріали по екології брюхоногого моллюска *Tritia reticulata* / Н. Ю. Миловидова // Биология моря. – 1979. – Вип. 50. – С. 89–93. **17.** Гуменюк Г. Б. Вміст важких металів у раковині моллюска *Nassarius Reticulatus* (L.) з Севастопольської бухти (Чорне море) влітку 2007 року / Г. Б. Гуменюк, М. В. Макаров, Н. Г. Зінковська // Наук. зап. Терноп. нац. пед. ун-ту. Сер. Біол., 2011. – № 2 (47). – С. 95–99. **18.** Клименко М. О. Накопичення важких металів гідрофітами / Клименко М. О., Гроховська Ю. Р., Бедункова О. О. // Зб. наук. праць “Вісник національного університету водного господарства та природокористування”. – Вип. 1(33). – Рівне, 2006. – С. 159–164. **19.** Клименко М. О. Кругообіг важких металів у водних екосистемах. Монографія / М. О. Клименко, О. О. Бедункова. – Рівне : НУВГП, 2008. – 215 с. **20.** Пилипенко Ю. В. Екологічний проект компенсаційних водоохоронних заходів створення стабільних екосистем малих водосховищ різного цільового призначення / Ю. В. Пилипенко. – Херсон : РВВ “Колос”, 2007. – 26 с.

Рецензент: д.с.-г.н., професор Клименко М. О. (НУВГП)

---

**Petruk A. M., Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor**  
(National University of Water Management and Nature Resources Use,  
Rivne)

## **EVALUATION TIGHTNESS CORRELATION BETWEEN INDICATORS SURFACE WATER QUALITY KNPP COOLING PONDS**

**On the basis of the processed data on the dynamics of long-term water quality of the reservoir- cooler Khmelnsky nuclear power plant performed a correlation analysis , in which the largest correlation**

coefficient ( $r$ ) determine the optimal mix of factors influencing the water body, the degree and direction of the relationship between them.  
**Keywords:** correlation, correlation matrix, correlation coefficient, polynomial equations, correlation, toxicity, aquatic ecosystems, value approximation.

---

**Петрук А. М., к.с.-х.н., доцент** (Национальный университет водного хозяйства и природопользования г. Ровно)

### **ОЦЕНКА ТЕСНОТЫ КОРРЕЛЯЦИОННОЙ СВЯЗИ МЕЖДУ ПОКАЗАТЕЛЯМИ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД ВОДОЕМА-ОХЛАДИТЕЛЯ ХАЭС**

На основании обработанных многолетних данных динамики показателей качества воды водоема-охладителя Хмельницкой атомной электростанции проведено корреляционный анализ, в ходе которого по величине коэффициента корреляции ( $r$ ) определено оптимальное сочетание взаимовлияющие факторов водного объекта, степень и направление связи между ними.

**Ключевые слова:** корреляция, корреляционная матрица, коэффициент корреляции, полиномиальное уравнение, корреляционная связь, токсичность, водная экосистема, величина аппроксимации.

---