

ОСОБЛИВОСТІ ТЕМПЕРАТУРНОГО І КИСНЕВОГО РЕЖИМІВ ВОДОЙМ В УМОВАХ ТЕПЛОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ

За матеріалами експериментальних і експедиційних досліджень на водоймі-охолоджувачі Запорізької АЕС і прилеглий акваторії Каховського водосховища досліджено особливості формування температурного і кисневого режимів водойм в умовах теплового навантаження та виявлено умови і чинники, що їх визначають.

Вступ

Температура води належить до найбільш універсальних екологічних чинників, які, в першу чергу, визначають перебіг гідробіологічних і фізико-хімічних процесів у водоймах. Відмінності гідрохімічного й гідробіологічного режимів водойм-охолоджувачів (ВО) від аналогічних водойм із природними умовами обумовлюються, насамперед, особливостями їхнього термічного режиму.

У природних умовах температурний режим водойм визначається їхнім географічним положенням (кількість сонячної радіації, кліматичні умови), морфометричними характеристиками водойми, особливостями циркуляції водних мас та ін. У межах водойми, зазвичай, спостерігається зміна температури води з глибиною, а поверхневі шари зазнають впливу не тільки сезонних, а й добових змін інтенсивності сонячної радіації, особливо влітку.

Водойми-охолоджувачі атомних і теплових електричних станцій належать до водних об'єктів особливого типу, екосистеми яких зазнають постійного теплового навантаження. Температурний режим водойми-охолоджувача, крім природних чинників, визначається об'ємом і температурою скидових вод, тобто кількістю і потужністю працюючих енергоблоків.

Мета нашого дослідження – оцінити вплив підігрітих скидових вод на термічний режим водойми-охолоджувача Запорізької АЕС і прилеглу акваторію Каховського водосховища при різних режимах експлуатації ВО та дослідити характер і особливості режиму розчиненого кисню в умовах значного теплового навантаження.

Постановка проблеми

Дослідження впливу підігрітих скидових вод на екосистеми водоймоохолоджувачів об'єктів атомної і теплової енергетики успішно проводилися протягом 70-80-х років XX століття за різними напрямками. Варто відзначити, що вченими досягнуто значних успіхів у дослідженні особливостей гідрохімічного та гідробіологічного режимів ВО теплових і атомних електростанцій [1-5].

Установлено, що постійне надходження підігрітих вод до водоймоохолоджувача може призвести до виникнення загрози теплового забруднення водойми, за якого порушується екологічна рівновага і погіршується санітарний стан. Дослідження вчених-гідробіологів виявили, що при температурі води до 26°C шкідливого впливу на фіто- і зоопланктон не спостерігається. Але при температурі води 33-35°C слабшає фотосинтез, а при 40-45°C – припиняється зовсім. При 28°C гине або знаходиться в пригніченому стані зоопланктон і бентос, що є кормовою базою риб. Процеси життєдіяльності більшості риб пригнічуються вже при температурі води 26-30°C [4]. Проводились також дослідження щодо кількісної оцінки теплового впливу об'єктів енергетики на водне середовище [6-8]. Проте й досі не в повному обсязі вивчені особливості й умови формування гідрохімічного режиму, особливо режиму розчиненого кисню, у водних об'єктах атомних і теплових електростанцій, які зазнають постійного значного теплового навантаження.

У статті представлено результати дослідження умов і чинників, що визначають особливості температурного і кисневого режимів водоймоохолоджувача Запорізької АЕС, та впливу теплового забруднення на навколишнє середовище при експлуатації ВО у режимі періодичного водообміну з Каховським водосховищем.

Матеріали й об'єкт дослідження

Запорізька атомна електростанція – найбільша АЕС в Україні та в Європі – нині нараховує 6 енергоблоків сумарною потужністю 6000 Мвт. АЕС розташована на лівому березі Каховського водосховища за 70 км нижче м. Запоріжжя і 160 км вище греблі Каховської ГЕС. Для охолодження конденсаторів турбін працюючих енергоблоків на АЕС використовується комбінована система охолодження, що включає 2 градирні і водойму-охолоджувач з комплексом бризкальних басейнів. Об'єм води у ВО складає 43 млн. м³, площа водного дзеркала – 9,5 км², середня глибина 4-5 м, максимальна – 16 м. Від Каховського водосховища

ВО відокремлена піщаною наливною дамбою. Для поповнення витрат води внаслідок випаровування до водойми-охолоджувача постійно подається вода з Каховського водосховища. Починаючи з 1994 року здійснюється періодичний водообмін водойми-охолоджувача з Каховським водосховищем – так звана “продувка”.

Для виявлення особливостей температурного і кисневого режимів водойм в умовах постійного підігріву опрацьовано матеріали багаторічних експериментальних робіт відділу гідрохімії УкрНДГМІ під час експедиційних досліджень на водоймі-охолоджувачі Запорізької АЕС і Каховському водосховищі та результати хімічного контролю води гідротехнічних споруд служби екологічного моніторингу Запорізької АЕС.

Результати та їх обговорення

Особливості температурного режиму водойми-охолоджувача Запорізької АЕС

Температурний режим водойми-охолоджувача Запорізької АЕС крім природних чинників визначається потужністю працюючих енергоблоків АЕС, а також використанням комбінованої системи охолодження води (градирні й бризкальні басейни).

Унаслідок постійного штучного підігріву у водоймі-охолоджувачі складаються умови для формування особливого температурного режиму. Так, порівнюючи за 1996-2005 рр. температуру води у найбільш холодній зоні водойми-охолоджувача АЕС і прилеглий акваторії Каховського водосховища (рис. 1), видно, що у ВО температура води на 5-18 градусів вище порівняно з природними умовами протягом усього року. Температура води у водоймі-охолоджувачі протягом цього періоду змінювалась у межах 12,0 – 36,1 °С, тоді як у природних умовах (Каховське водосховище) – від 0 °С до 27,6 °С.

Про значне підвищення температури води у водоймі-охолоджувачі ЗАЕС свідчать не лише фактичні, а й усереднені дані. Так, середня багаторічна (1996-2005 рр.) температура води у найбільш холодній зоні ВО вдвічі вища порівняно з природним фоном. У водоймі-охолоджувачі її багаторічне значення становить 23,1 °С, а у Каховському водосховищі – 12,2 °С.

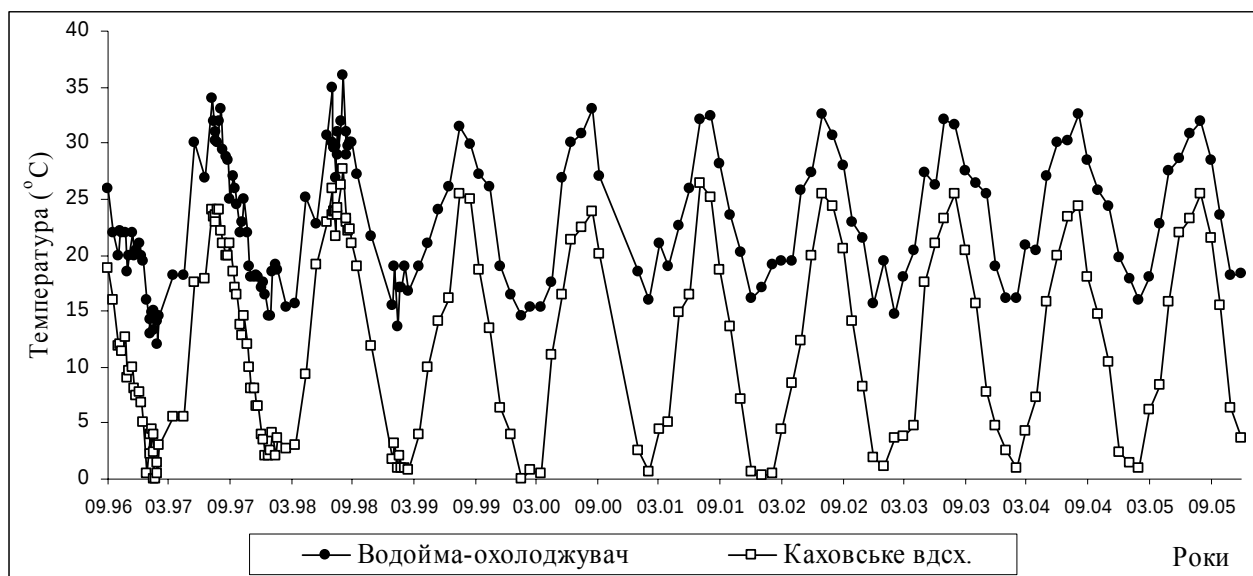


Рис. 1. Динаміка температури води водойми-охолоджувача Запорізької АЕС і Каховського водосховища (1996-2005 рр.)

Порівнюючи середні місячні значення температури води у досліджуваних водних об'єктах, видно, що в природних умовах температура води в середньому менша на 6-16 градусів (табл. 1). Найбільша різниця температур відзначалась у холодну пору року ($\Delta t = 16,3^{\circ}\text{C}$), а найменша – влітку ($\Delta t = 6,4^{\circ}\text{C}$).

Таблиця 1

Середня місячна температура води водойми-охолоджувача Запорізької АЕС і Каховського водосховища (2005 р.)

Місяць	Температура води, $^{\circ}\text{C}$		Різниця температур (Δt), $^{\circ}\text{C}$
	Водойма-охолоджувач	Каховське водосховище	
Січень	17,8	1,5	16,3
Лютий	15,9	1,0	14,9
Березень	18,1	6,2	11,9
Квітень	22,7	8,4	14,3
Травень	27,5	15,8	11,7
Червень	28,6	22,0	6,6
Липень	30,9	23,3	7,6
Серпень	31,9	25,5	6,4
Вересень	28,5	21,5	7,0
Жовтень	23,6	15,5	8,1
Листопад	18,2	6,4	7,4
Грудень	18,3	3,7	14,6

Досліджуючи добовий хід температури води ВО відзначаємо, що в літній період при високій температурі повітря (28-32°C) максимальне нагрівання поверхневих шарів водойми спостерігається близько 20 години. Температура поверхневого шару води з 6 годин ранку до 20 годин вечора може збільшитися на 4°C, у той час як у Каховському водосховищі ця величина змінюється максимум на 1,8-2,0°C.

Особливості режиму розчиненого кисню у водоймі-охолоджувачі Запорізької АЕС

Вміст розчиненого у воді кисню є одним із найважливіших гідрохімічних показників, що визначає фізико-хімічні умови природних вод, інтенсивність відновлювальних і окиснювальних біологічних процесів у водних об'єктах.

Кисневий режим водойм і окремих їхніх ділянок визначається впливом безлічі факторів. У поверхневому шарі, де відбувається інвазія кисню з атмосфери й знаходиться зона фотосинтезу, ступінь насичення киснем звичайно найбільша. При перевищенні відносних концентрацій кисню над нормальними (для даної температури води й атмосферного тиску) відбувається евазія кисню в атмосферу. Пересичення води киснем пов'язане, зазвичай, з активізацією процесів фотосинтезу фітопланктоном ("цвітіння води") і зануреною водною рослинністю. Витрачається кисень у товщі води і в донних відкладах при біохімічних процесах деструкції органічних речовин, при процесах перетворення амонійного азоту, на окислення солей закисненого заліза й т. ін. При слабкому перемішуванні водних мас і накопиченні органічних речовин у придонних шарах води, у зв'язку із зазначеними вище процесами, може спостерігатись значна недонасиченість води киснем (аж до зникнення) й виникнення анаеробних умов.

У водоймі-охолоджувачі ЗАЕС внаслідок постійного штучного підігріву і надходження води з очисних споруд м. Енергодара та промислово-зливоної каналізації проммайданчика АЕС і баків хімводоочистки складаються особливі умови формування гідрохімічного і гідробіологічного режиму.

Режим розчиненого кисню у водоймі-охолоджувачі, як і в природних водоймах, формується, перш за все, відповідно до температурного режиму, характеру внутрішньоводоймових гідробіологічних, фізико-хімічних і гідродинамічних процесів.

Для ВО характерним є те, що після проходження води через теплообмінники її температура підвищується на 8-10°C [6], унаслідок чого

розчинність кисню зменшується і у скидових каналах спостерігається перенасичення води киснем і його евазія в атмосферу [1].

Унаслідок постійного штучного підігріву у ВО інтенсифікуються фізико-хімічні й гідробіологічні процеси різного спрямування. При аерації води і посиленні фотосинтезу фітопланктоном і зануреною водною рослинністю вода ВО збагачується киснем, а при інтенсифікації біохімічних процесів деструкції органічних речовин і окисно-відновних процесів його вміст зменшується. Підвищення температури води також сприяє виділенню кисню в атмосферу внаслідок зменшення його розчинності. Саме співвідношенням і направленістю цих процесів і визначається кількість і динаміка розчиненого у воді ВО кисню, розподіл його по акваторії і за глибиною.

Порівнюючи динаміку розчиненого кисню у воді водойми-охолоджувача і прилеглої акваторії Каховського водосховища протягом 1995-2005 рр. простежується практично однорідний хід концентрацій цього показника в досліджуваних водних об'єктах (рис. 2.).

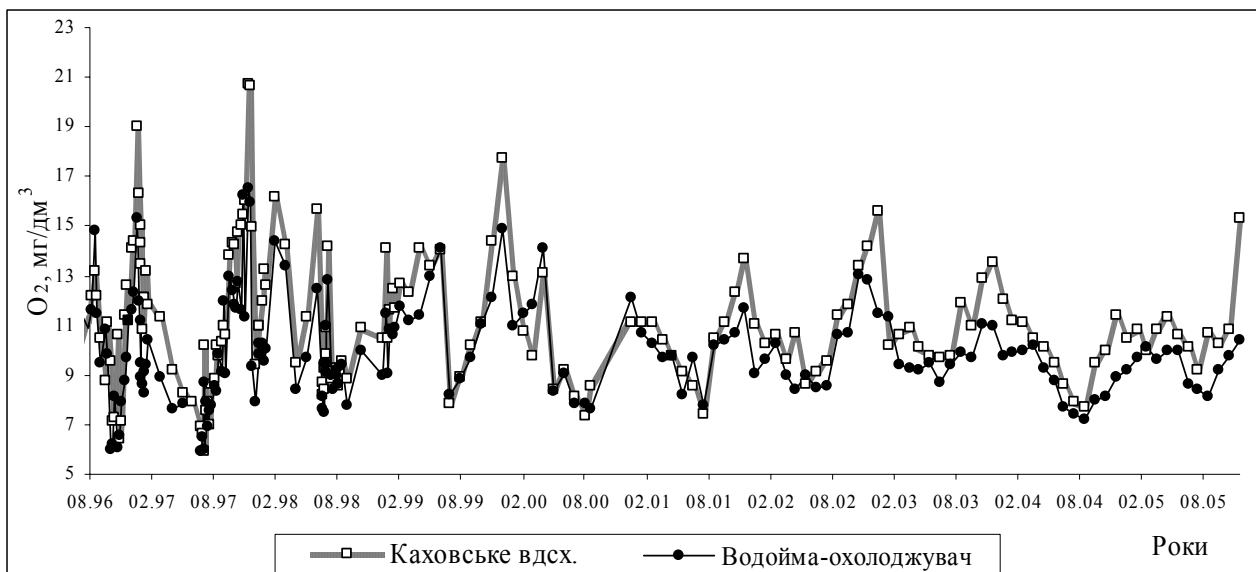


Рис. 2. Динаміка розчиненого кисню (мг/дм³) у поверхневому шарі води ВО ЗАЕС і Каховського водосховища

Максимальний вміст розчиненого у воді кисню відзначався в зимовий період, що пов'язане зі збільшенням його розчинності при більш низьких температурах. Окремі піки концентрацій розчиненого кисню в літню пору пов'язані з продукцією його фітопланктоном. Загалом варто зазначити про сприятливий кисневий режим як для водойми-охолоджувача, так і для прилеглої акваторії Каховського водосховища. Вміст розчиненого кисню у поверхневому шарі води водойми-

охолоджувача протягом зазначеного періоду змінювався в межах 5,95-16,5 мг/дм³ при середньому значенні – 9,9 мг/дм³. У Каховському водосховищі ці ж показники відповідно становили – 5,90-20,7 мг/дм³ і 11,1 мг/дм³.

Погодні умови також є визначальним чинником формування кисневого режиму ВО. Дослідження показали, що в період високих температур повітря і води (29-32 °С), за штильової, безвітряної погоди і як наслідок – відсутності вітро-хвильового перемішування водних мас – у водоймі-охолоджувачі спостерігається чітка вертикальна стратифікація вмісту кисню при відсутності стратифікації температурної. При пересиченні верхнього шару води киснем (до 220%), тобто при концентрації розчиненого кисню до 17 мг/дм³, починаючи з 4-метрової глибини, простежується різке зменшення його вмісту до 1,5 мг/дм³ (20% насичення) і повна (або майже повна) його відсутність починаючи з 6-метрової глибини (табл. 2).

Таблиця 2

Динаміка температури води і вмісту розчиненого кисню з глибиною у водоймі-охолоджувачі Запорізької АЕС (липень 1997 р.)

Глибина, м	Температура води, °С	O ₂ , мг/дм ³	O ₂ , % насич.
0	30,5	17,1	219
1	30,0	16,8	210
2	29,5	13,2	172
3	29,5	8,1	106
4	29,5	1,5	20
5	29,5	0,8	9
6	29,0	0,3	4
7	29,0	0,1	1
8	29,0	0,1	1
9	28,5	0,1	1
10	28,5	0,0	0
11	28,5	0,0	0
12	28,3	0,0	0
13	28,0	0,0	0
14	28,0	0,0	0

Аномальне перенасичення киснем поверхневого шару води пояснюється активними процесами фотосинтезу у результаті бурхливого розвитку фітопланктону при високих значеннях температури води.

Відсутність кисню з глибиною спричинена витрачанням його у нижніх шарах на окиснення великої кількості органічної речовини, яка продукується як у самій водоймі, так і надходить з очисних споруд м. Енергодара. Така ситуація характерна практично для всієї акваторії водойми-охолоджувача, чому сприяють як погодні, так і гідродинамічні умови, оскільки продувка ВО влітку не здійснюється.

В осінньо-зимовий період таких явищ не спостерігалось, що, на наш погляд, пояснюється зниженням температури води й значним збільшенням при цьому розчинності кисню.

Отже, у весняно-літній період у водоймі-охолоджувачі формується значної потужності придонний шар води, що не змішується з поверхневим циркуляційним потоком. По температурному градієнту цього не помітно, оскільки термоклин у звичайному розумінні відсутній.

Оцінка теплового забруднення прилеглої акваторії Каховського водосховища

Дослідження, проведені на водних об'єктах поблизу розташування енергокомплексу Запорізька АЕС показали, що при використанні на АЕС комбінованої системи охолодження енергоблоків, впливу АЕС на теплове забруднення прилеглої акваторії Каховського водосховища не виявлено. Підігріті води, що надходять зі скидного каналу, повністю локалізуються у водоймі-охолоджувачі.

Починаючи з 1994 року здійснюється періодичний водообмін водойми-охолоджувача з Каховським водосховищем, так звана “продувка”.

Результати експериментальної оцінки впливу “продувних” вод ВО на прилеглу акваторію Каховського водосховища дозволили виявити, що при експлуатації ВО в режимі планових продувок ореол температурного забруднення акваторії Каховського водосховища з незначно підвищеною температурою (близько 2°C), порівняно з природним фоном, становить менше $1,0 \text{ км}^2$. Залежно від швидкості й напрямку вітру він може змінювати конфігурацію, проте загальна площа Каховського водосховища з незначно підвищеною температурою за різних умов залишається незмінною і близькою до $1,0 \text{ км}^2$ (рис. 3).

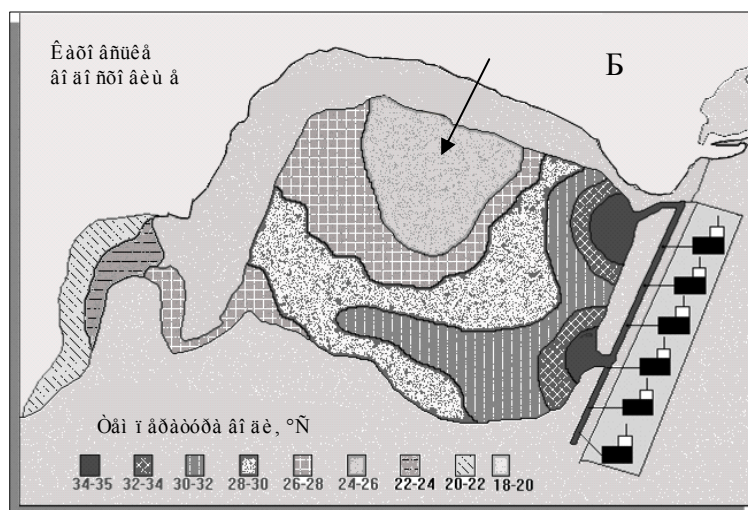
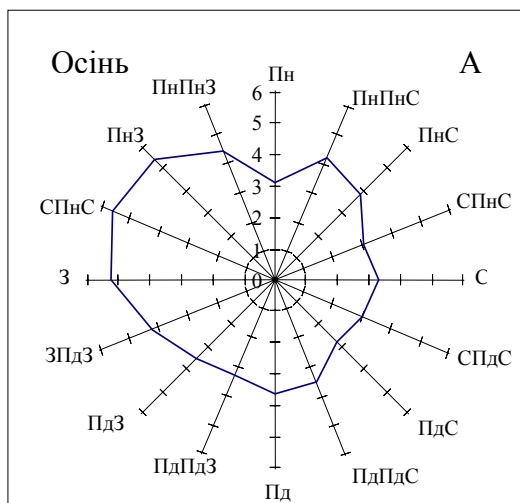
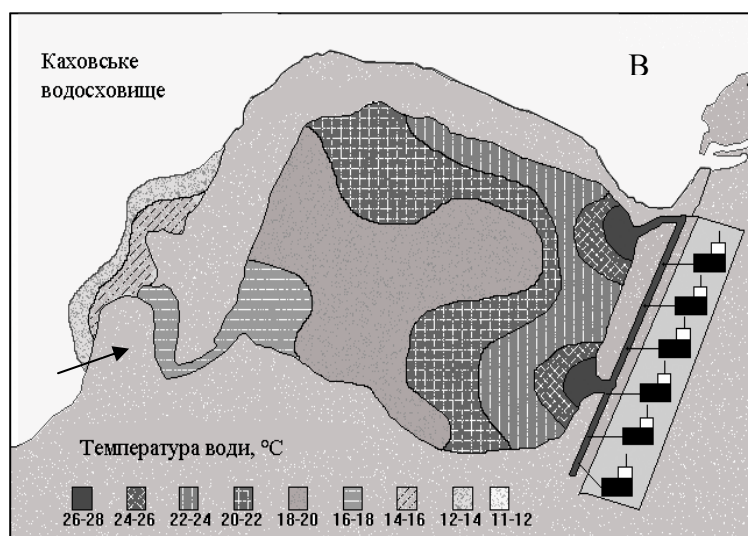


Рис. 3. Швидкість і напрям вітру (А) та розподіл температурних полів у водоймі-охолоджувачі і прилеглий акваторії Каховського водосховища залежно від напрямку вітру у вересні (Б) і жовтні (В) 1997р.



Висновки

Проведені дослідження свідчать про значне теплове навантаження на екосистеми водойм-охолоджувачів, що визначає перебіг гідробіологічних і фізико-хімічних процесів у них.

Відмінності гідрохімічного режиму водойм-охолоджувачів від аналогічних водойм з природними умовами обумовлюються, насамперед, особливостями їхнього термічного режиму.

Унаслідок постійного штучного підігріву, характеру внутрішньоводоймових гідробіологічних, фізико-хімічних і гідродинамічних процесів у водоймах-охолоджувачах складаються особливі умови формування режиму розчиненого кисню.

У весняно-літній період у водоймі-охолоджувачі Запорізької АЕС спостерігається аномально високе перенасичення киснем поверхневого шару води, що спричинене активними процесами фотосинтезу фітопланктоном при високій температурі води.

У період високих температур повітря і води, при відсутності вітровихвильового перемішування водних мас у водоймі-охолоджувачі формується потужний придонний шар води недонасичений киснем, що не змішується з поверхневим циркуляційним потоком, й виникають анаеробні умови.

* *

По материалам экспериментальных и экспедиционных исследований на водоеме-охладителе Запорожской АЭС и прилегающей акватории Каховского водохранилища исследованы особенности формирования температурного и кислородного режимов водоемов в условиях тепловой нагрузки, изучены условия и факторы, которые их определяют.

* *

1. Ромась М.І. Гідрохімія водних об'єктів атомної і теплової енергетики: Монографія – К.: ВПЦ “Київський ун-т”, 2002. – 532 с.
2. Осадчий В.І., Мостова Н.М. Математичне моделювання стану гідрохімічних систем у водоймі-охолоджувачі Запорізької АЕС // Наук. праці УкрНДГМІ. – Вип. 251. – 2003. – С. 95-111.
3. Сергеева О.А., Калиниченко Р.А., Кошелева С.И., Ленчина Л.Г. Химический состав воды и планктон водоема-охладителя Южно-Украинской АЭС // Гидробиол. журн. – 1988. – Т. 24, № 6. – С. 8-14.
4. Гидробиология водоемов-охладителей тепловых и атомных электростанций Украины / Протасов А.А., Сергеева О.А., Кошелева С.И. и др. – К.: Наук. думка, 1991. – 192 с.
5. Кошелева С.И. Гидрохимический режим р. Днепр в районе Трипольской ГРЭС // Гидробиол. журн. – 1976. – Т. XII, № 1. – С. 20-24.
6. Браславский А.П., Кумарина М.Н., Смирнова М.Е. Тепловое влияние объектов энергетики на водную среду. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 252с.
7. Никитин И.К., Костин А.Г., Доманов В.Н. Тепловой расчет водоема-охладителя с учетом трансформации и плотностной стратификации воздушного потока над его поверхностью // Тр. координационных совещаний по гидротехнике. – Вып. 115. – Л.: Энергия, 1977. – С. 79-85.
8. Костин А.Г. Приближенный тепловой расчет подогреваемых водоемов, работающих в нестационарных условиях // Турбулентные и стратифицированные течения. – К.: Наук. думка, 1979. – С. 137-147.

*Український науково-дослідний
гідрометеорологічний інститут, Київ*