

УДК 556.114:556.5(28)

П.М. ЛИННИК, д. х. н., проф., зав. відділу,
Інститут гідробіології НАН України,
просп. Героїв Сталінграда, 12, Київ, 04210, Україна
e-mail: peter-linnik@ukr.net
ORCID 0000-0002-2144-4052

В.А. ЖЕЖЕРЯ, к. геогр. н., ст. наук. співроб.,
Інститут гідробіології НАН України,
просп. Героїв Сталінграда, 12, Київ, 04210, Україна
e-mail: zhezheryava1981@gmail.com
ORCID 0000-0002-1128-5270

ОСОБЛИВОСТІ ДИНАМІКИ ОКРЕМИХ ЕЛЕМЕНТІВ ГІДРОХІМІЧНОГО РЕЖИМУ МАЛИХ ВОДОЙМ УРБАНІЗОВАНОЇ ТЕРИТОРІЇ: КИСНЕВИЙ РЕЖИМ ТА МІНЕРАЛІЗАЦІЯ ВОДИ

Обговорено результати досліджень динаміки окремих елементів гідрохімічного режиму малих водойм урбанізованої території, зокрема кисневого режиму, мінералізації води та головних йонів. Дослідження проводили на озерах системи Опечень (м. Київ) у різні пори року. Зазначені озера зазнають значного антропогенного навантаження, яке істотним чином впливає на їхній гідрохімічний режим. Для них характерна температурна стратифікація, яка триває від весни до осені. У літньо-осінню пору року різниця температури води у поверхневому і придонному горизонтах складає 8—12 °С. Починаючи з весни і до осені, у досліджуваних озерах триває киснева стратифікація. Завдяки фотосинтезу, у поверхневому шарі вода перенасичена киснем: 109—146, 105—175 і 120—152 % відповідно навесні, влітку і восени. На противагу цьому, для придонного горизонту води характерний дефіцит кисню, який триває майже протягом усього року. Насичення води киснем не перевищує 34,0—53,5 % навесні, 26,5—36,2 % — влітку і 0,0—30,8 % — восени. Показники рН води поверхневого і придонного горизонтів також знаходяться в широкому інтервалі величин — від 9,55 до 6,94. В результаті вимірювань окисно-відновного потенціалу (Еh) було встановлено його зниження до від'ємних величин у воді придонного горизонту, що свідчить про домінування відновлювальних умов. Мінералізація води досліджуваних озер значно більша, ніж у розташованому неподалік Канівському водосховищі (верхня ділянка). Причому у поверхневому шарі води вона набагато нижча, ніж у придонному. Виявлено доволі високі концентрації йонів Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-} і Mg^{2+} , що зумовлено їхнім антропогенним походженням — надходженням солей з поверхневим стоком через широке їхнє використання для боротьби з обледенінням доріг. Погіршення стану гідрохімічного режиму озер слід очікувати і в майбутньому, у взаємозв'язку з кліматичними змінами.

Ц и т у в а н н я: Линник П.М., Жежеря В.А. Особливості динаміки окремих елементів гідрохімічного режиму малих водойм урбанізованої території: кисневий режим та мінералізація води. *Гідробіол. журн.* 2022. Т. 58. № 2. С. 99—116.

Ключові слова: водойми урбанізованої території, озера системи Опечень, гідрохімічний режим, температурна і киснева стратифікація, окисно-відновний потенціал, мінералізація води, головні йони.

Яружно-балковий тип рельєфу правобережжя Києва зумовив можливість існування сучасних малих водойм, головним чином, у ложі колишніх річкових або струмкових долин. Переважну частину таких водойм складають озера і ставки, які утворились внаслідок природного чи штучного загачування струмкових долин. Деяка частина з них і в теперішній час зберегла природну проточність, інколи озера або ставки сполучені між собою струмками або системою водопропускних труб — колекторів [18]. Типовий приклад подібного сполучення — система озер Опечень, яка включає в себе озера Мінське, Лугове, Пташине (Лугове-2), Андріївське (Богатирське або Пожежне), Кирилівське (Опечень Верхнє) та Йорданське (Опечень Нижнє). Мала водопроникність ґрунтів на водозбірних площах, а також значні похили їхніх територій посилюють залежність таких водойм від якості води поверхневого стоку, який на урбанізованих територіях часто виступає як деструктивний чинник [2, 18]. Зумовлено це тим, що саме поверхневий стік є основним джерелом забруднення малих водойм урбанізованої території різноманітними хімічними речовинами, оскільки вода цього стоку, зазвичай, не зазнає навіть мінімального очищення від забруднювальних речовин.

Передусім це стосується і зазначених вище озер системи Опечень. Вони не мають прямого гідравлічного зв'язку з Дніпром (верхня ділянка Канівського водосховища в межах м. Києва). Однак сезонні коливання водності на цій ділянці внаслідок зміни рівня ґрунтових вод на всій заплавної терасі можуть впливати на гідрологічний режим зазначених озер. Тривале антропогенне навантаження на них призвело до значного погіршення їхнього екологічного стану в цілому і гідрохімічного режиму зокрема [7, 10, 16, 23]. Для них характерна висока чисельність бактеріопланктону як наслідок забруднення органічними сполуками [31], підвищені концентрації біогенних і органічних речовин [10, 14, 23], вони значною мірою забруднені металами та нафтопродуктами [7, 16, 23, 24, 27]. Вміст нафтопродуктів часто буває критичним щодо якості води. За період з 1990 по 2003 рр. концентрація нафтопродуктів у воді оз. Лугового зросла в 23 рази, оз. Мінського — в 15 разів. Вміст органічних речовин за показником БСК_n збільшився у воді оз. Лугового в 2,2 рази, оз. Мінського — в 3,1 рази [6]. Зазначені озера належать до евтрофних водойм. Водночас, на прикладі оз. Кирилівського показано, що видове різноманіття водоростей у ньому знизилось майже вдвічі за більш ніж десятирічний період [9]. Подібна картина характерна і для видового складу іхтіофауни, який помітно збіднів за останні 20 років [8]. Існує тенденція значного погіршення екологічного стану озер системи Опечень через забудову прибережної зони. Раніше повідомлялось, що об'єм зливових і стічних вод, які надходять до озер системи Опечень, значно перевищує їхній загальний об'єм [1]. За даними [6, 14], щорічно до озер Мінського та Лугового

сумарно надходить 3,83 млн. м³/рік неочищених стічних вод, що майже в 3 рази перевищує об'єм самих водойм. Вже тепер слід визнати, що забруднення системи озер Опечень стає критичним, а окремі з них являють небезпеку з епідеміологічної точки зору.

Метою наших досліджень стало вивчення стану кисневого режиму озер системи Опечень у різні пори року, кисневої стратифікації і її тривалості, а також мінералізації води і співвідношення головних йонів та потенційних чинників, які впливають на динаміку зазначених параметрів гідрохімічного режиму.

Матеріал і методика досліджень

Дослідження проводили на озерах системи Опечень (рис. 1) протягом 2021 р. Відбір проб здійснювали під час зворотної температурної стратифікації (лютий), на початку формування прямої температурної стратифікації (кінець квітня), під час стійкої прямої температурної стратифікації (червень) і напередодні періоду осінньої гомотермії (перша половина вересня). Проби води відбирали за допомогою модифікованого батометра-склянки у поверхневому і придонному шарах, а також на різних глибинах через кожні 1—2 м [15]. Для транспортування і зберігання проб використовували поліпропіленові ємності. Завислі речовини вилучали шляхом мембранної фільтрації, пропускаючи пробу води об'ємом 1,0—1,5 дм³ через нітроцелюлозний мембранний фільтр Fioroni (КНР) з діаметром пор 0,45 мкм. На місці відбору проб визначали температуру води, величину рН і вміст розчиненого кисню за допомогою мультифункціонального приладу AZ-86031 (КНР). Коректність результатів вимірювання концентрації розчиненого кисню вищезазначеним приладом контролювали методом Вінклера [12]. Величини Eh-потенціалу вимірювали за допомогою мультифункціонального приладу Ezodo 7200 (Тайвань). Твердість води і вміст головних йонів визначали у фільтрах води. Концентрацію йонів Na⁺, K⁺, Ca²⁺ і Cl⁻ визначали за допомогою йономіра AI-125 (Україна) з використанням відповідно скляного натрій-селективного електрода ЕЛІС-112Na (Росія), калій-селективного електрода ЕЛІС-121К з ПВХ мембраною (Росія), кальцій-селективного електрода ЕЛІС-121Ca з ПВХ мембраною (Росія) і хлорид-селективного електрода ЭМ-СІ-01 (Білорусь). Вміст йонів Mg²⁺ розраховували, беручи до уваги величини твердості води і концентрацію йонів Ca²⁺. Твердість води визначали титриметричним методом з використанням етилендіамінтетраоцтової кислоти і індикатора еріохрому чорного [12]. Концентрацію CO₃²⁻ і HCO₃⁻ йонів встановлювали шляхом прямого титрування проб води розчином HCl (0,02 або 0,05 моль/дм³) до величини рН 4,0 [12]. Вміст йонів SO₄²⁻ визначали турбідиметричним методом у вигляді сірчаноокислого барію у солянокислому середовищі з використанням гліколевого реагенту [3].

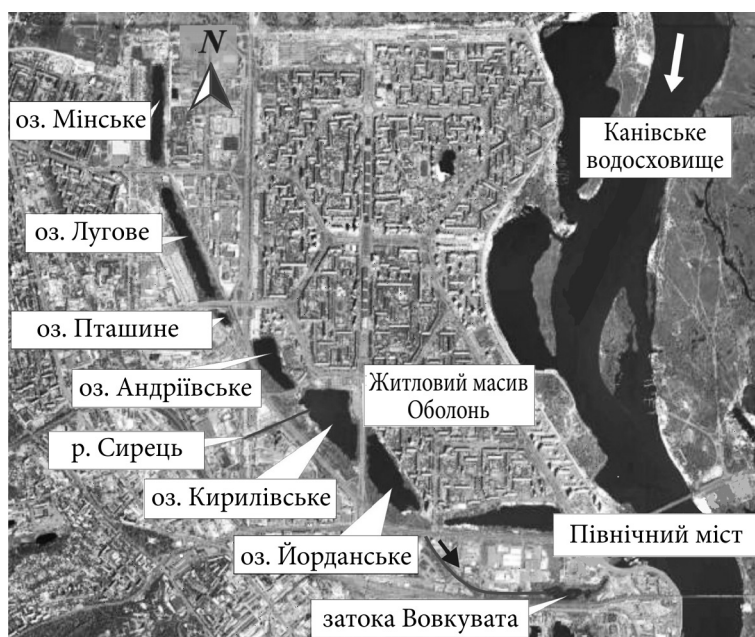


Рис. 1. Карта-схема озер системи Опечень в межах житлового масиву Оболонь, м. Київ

Результати досліджень та їх обговорення

Температурний та кисневий режими і рН води. Температура води в озерах системи Опечень як у малих водоймах знаходиться у широкому інтервалі величин залежно від пори року та глибини. Взимку вона дещо нижча, ніж у неподалік розташованому Канівському водосховищі, а навесні і влітку перевищує температуру води останнього в середньому на 2—4 °С, восени вона майже однакова (рис. 2).

Доволі інтенсивне прогрівання води поверхневого шару починається вже навесні і триває до осені. Водночас, у придонному горизонті температура води у всі пори року, за винятком зими, набагато нижча. Практично для всіх озер системи Опечень характерна температурна стратифікація — зворотна взимку і пряма у всі інші пори року (рис. 3).

Влітку і восени різниця між температурою води поверхневого і придонного шарів досягає 8—12 °С. Активне прогрівання поверхневого шару води створює сприятливі умови для розвитку фітопланктону, завдяки чому відбувається його збагачення киснем. Про це свідчать відповідні дані стосовно абсолютного і відносного вмісту кисню у воді досліджуваних озер на різних глибинах (рис. 4, 5). У придонному горизонті вміст O_2 у воді значно нижчий, що свідчить про його витрати на окиснення речовин та дихання організмів. Різниця між концентрацією кисню у воді поверхневого і придонного горизонтів досягає в середньому навесні майже 9,0 мг/дм³, влітку — 6,5 мг/дм³ і восени — 7,7 мг/дм³.

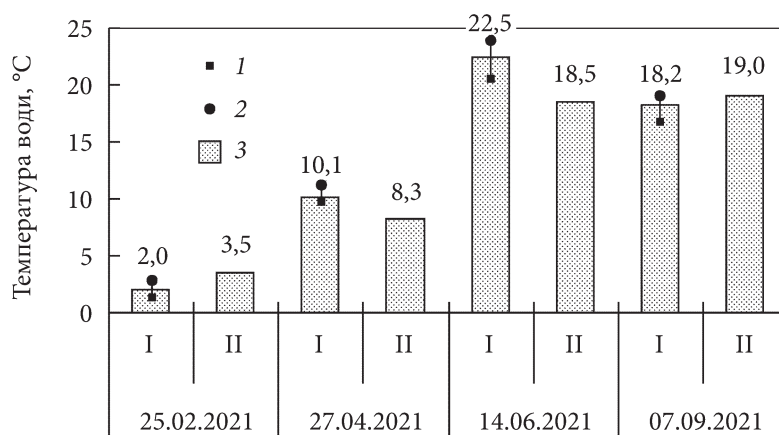


Рис. 2. Температура води поверхневого шару озер Опечень (I) і Канівського водосховища (II)¹, м. Київ, у відповідні дати відбору проб води: 1, 2 — граничні; 3 — усереднені величини. Цифри над стовпчиками — усереднені показники температури

Відповідно, насичення води киснем у придонному горизонті озер знижується в середньому навесні до 42 %, влітку — до 32 %, а восени — до 14 %. Це свідчить про те, що у придонному шарі води формуються анаеробні умови, які можуть посилювати деякі негативні явища, пов'язані зі вторинним забрудненням водного середовища.

Взимку 2021 р. концентрація O_2 у воді досліджуваних озер була порівняно низькою через тривалий льодостав (див. рис. 4, *a*). Відповідно і насичення води киснем було низьким (див. рис. 5, *a*) через відсутність атмосферної аерації. У придонному шарі води концентрація O_2 була ще нижчою.

Таким чином, результати досліджень кисневого режиму озер свідчать про незадовільний його стан, передусім, у придонному горизонті води, який проявляється фактично протягом усього року. Можна констатувати про тривалу кисневу стратифікацію в досліджуваних озерах, яка, очевидно, може бути пов'язана певною мірою і з кліматичними змінами сьогодення [25]. У сучасній науковій літературі наголошується про те, що фізико-хімічні параметри озер і водосховищ зазнають помітних змін у взаємозв'язку з проявом змін клімату. Зазначається, зокрема, що період термічної і кисневої стратифікації істотно подовжується (на 2—3 тижні) внаслідок підвищення температури води. Це, в свою чергу, супроводжується відповідними негативними наслідками для екосистем водойм, передусім дефіцитом розчиненого кисню у воді гіполімініону [19, 22, 26, 29]. Водночас, навесні, влітку і восени у поверхневому шарі води озер системи Опечень концентрація кисню доволі висока й

¹ Величини температури води у Канівському водосховищі (м. Київ) використано з сайту Центральної геофізичної обсерваторії ім. Бориса Срезневського (<http://cgo-sreznevskyi.kyiv.ua>).

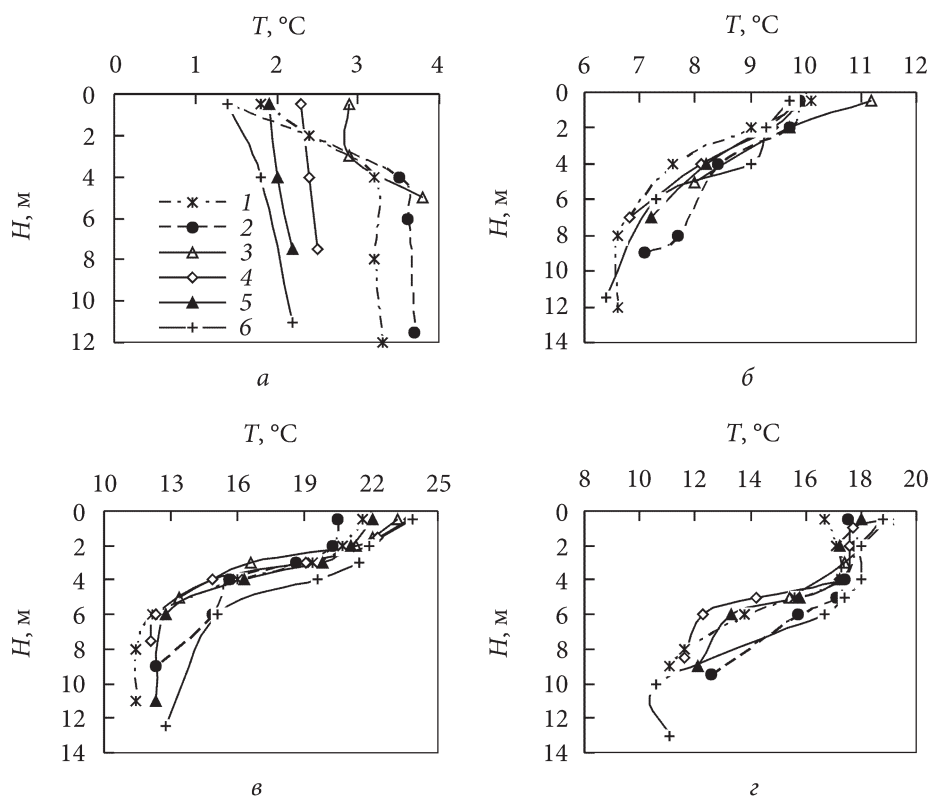


Рис. 3. Температура води в озерах системи Опечень залежно від їхньої глибини у різні пори року. Тут і на рис. 4—7, 9—11: 1, 2, 3, 4, 5, 6 — озера відповідно Мінське, Лугове, Пташине, Андріївське, Кирилівське і Йорданське. Тут і на рис. 4, 5: а — зима; б — весна; в — літо; г — осінь

істотно перевищує його розчинність за наявних величин температури і атмосферного тиску в цей період, що свідчить про фотосинтетичну активність фітопланктону.

Як показують результати досліджень, рН води озер системи Опечень змінюється в доволі широких межах — від 6,94 до 9,55. Мінімальні величини характерні для води придонного горизонту, а максимальні — для поверхневого шару. Це підтверджується відповідними даними, які характеризують мінливість рН води на різних глибинах досліджуваних озер (рис. 6). Різниця у значеннях рН досягає 2—2,5 одиниць, що досить суттєво.

Отже, можна стверджувати, що у поверхневому шарі води, де високі показники вмісту розчиненого кисню, активізуються процеси фотосинтезу, які зумовлюють її лужну реакцію. Для придонного горизонту характерний тривалий дефіцит O_2 , тобто кисень витрачається на окиснення різноманітних речовин, передусім органічних, і це зумовлює зниження рН води.

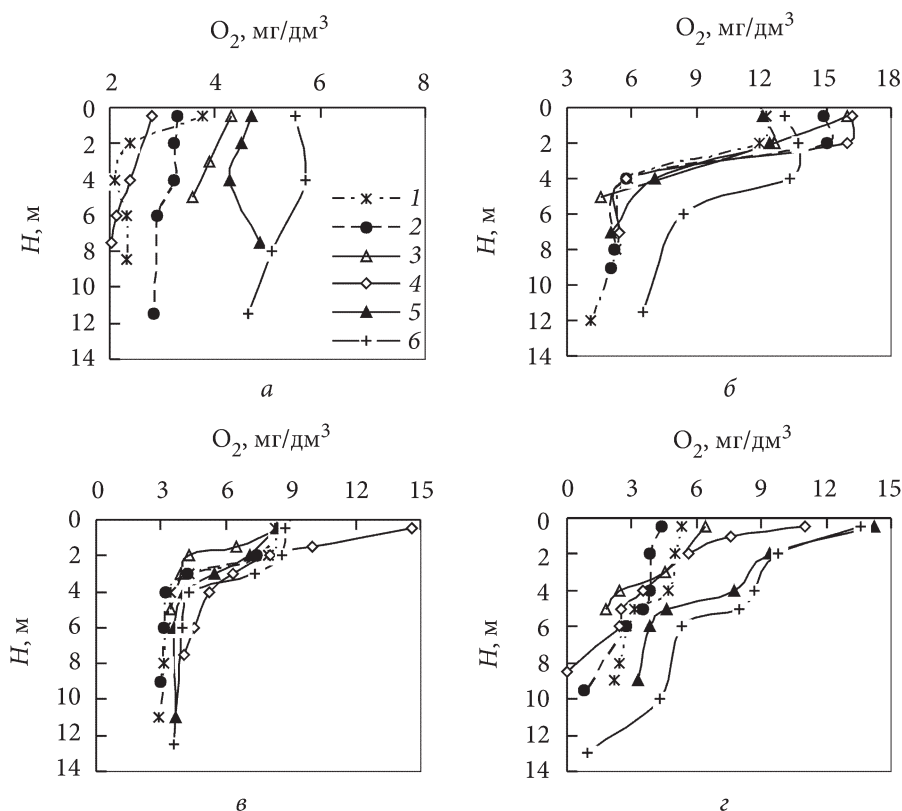


Рис. 4. Киснева стратифікація в озерах системи Опечень у різні пори року

Окисно-відновний потенціал (Eh). Недонасичення води киснем та істотне зниження величини її рН у придонному горизонті істотним чином впливають на такий важливий показник стану водної екосистеми, як окисно-відновний потенціал. Саме на підставі величин Eh можна оцінити, наскільки ефективно у поверхневому водному об'єкті відбуваються процеси самоочищення або вторинного забруднення його водного середовища. За високих значень Eh у водоймі домінують окиснювальні процеси, які сприяють самоочищенню водного середовища. Істотне ж зниження Eh , навпаки, свідчить про превалування відновлювальних процесів. Це означає, що за таких умов відбувається відновлення хімічних елементів та їхнє існування у нижчих ступенях окиснення. Часто це сприяє розчиненню речовин, наприклад оксидів металів, вивільненню останніх з їхнього складу та перехід у розчинений стан. Змінюється також токсичність тих чи інших хімічних елементів, відбувається накопичення амонійної форми азоту тощо. Вважається, що речовини у нижчому ступені окиснення, тобто у відновленому стані, можуть проявляти більшу токсичність для живих організмів, ніж у вищому ступені окиснення, хоча до цього слід підходити диференційовано, оскільки така ситуація не зав-

ISSN 0375-8990. Гідробіологічний журнал. 2022. 58(2) 105

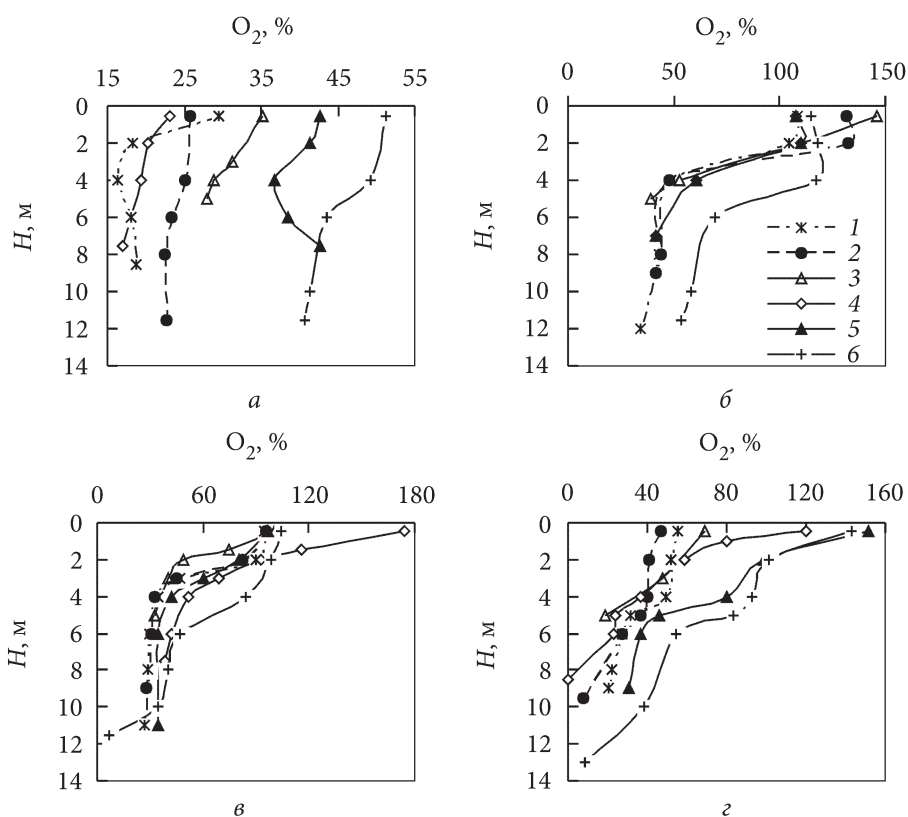


Рис. 5. Насичення води киснем в озерах системи Опечень залежно від їхньої глибини у різні пори року

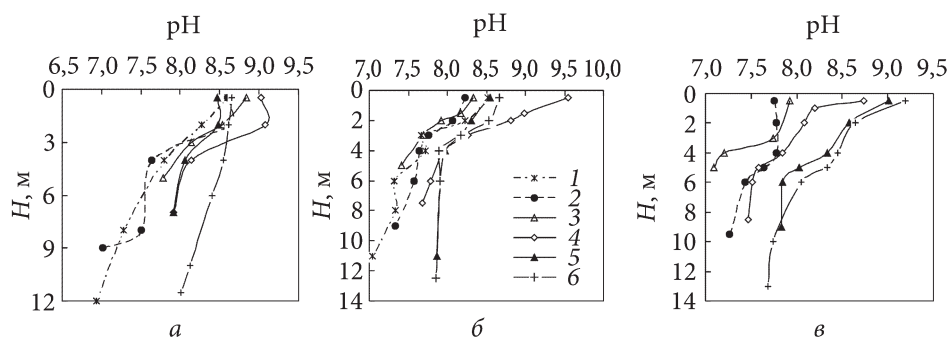


Рис. 6. Зміна рН води озер системи Опечень залежно від їхньої глибини у різні пори року: а, б, в — відповідно весна, літо, осінь

жди справджується. Наприклад, Cr(III) не проявляє такої високої токсичності, як Cr(VI).

Виявилось, що взимку і навесні показники Eh води у придонному горизонті досліджуваних озер є найнижчими (рис. 7). Це слугує підтверд-

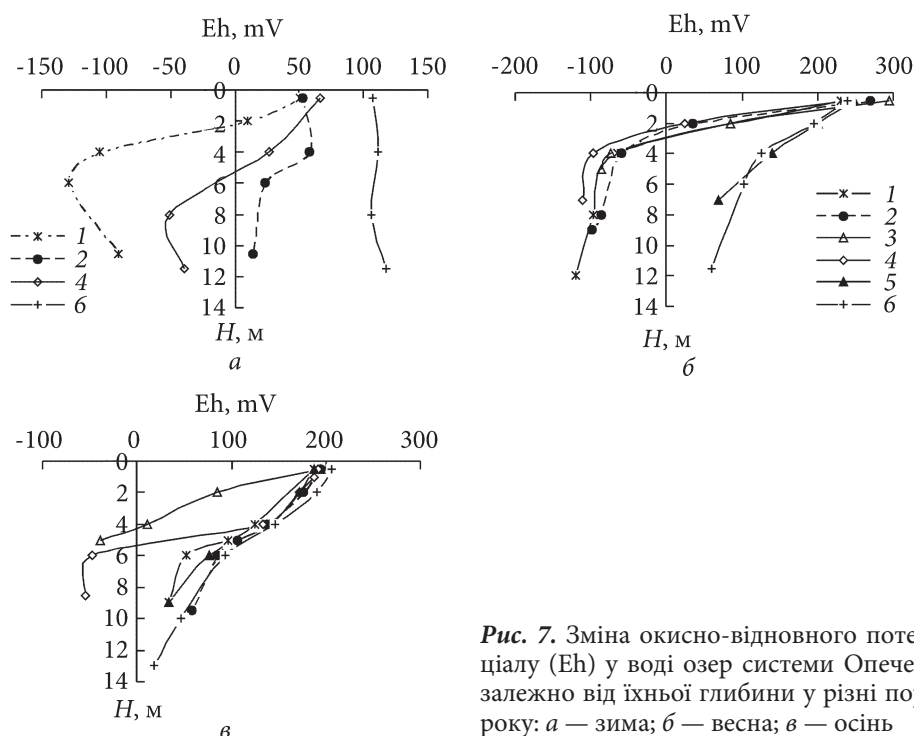


Рис. 7. Зміна окисно-відновного потенціалу (Eh) у воді озер системи Опечень залежно від їхньої глибини у різні пори року: а — зима; б — весна; в — осінь

женням того, що в них домінують відновлювальні процеси, а самоочищення водного середовища, передусім від органічних забруднювальних речовин, істотно уповільнюється або зовсім гальмується.

Варто зазначити, що гідрохімічний режим малих водойм стає найбільш уразливим до кліматичних змін, які відбуваються в умовах сьогодення. Оскільки зазначені зміни продовжуватимуться і в майбутньому, то слід очікувати, що гідрохімічний режим досліджуваних озер також зазнаватиме змін, причому не в кращий бік. Передусім це стосуватиметься стану їхнього кисневого режиму, рН та Eh води, про що вже тепер свідчать результати проведених нами досліджень, які вище обговорювались.

Мінералізація води. Не менш важливий елемент гідрохімічного режиму будь-якого поверхневого водного об'єкта — мінералізація води та співвідношення головних іонів. В умовах змін клімату ці характеристики також можуть змінюватись. Збільшення мінералізації води внаслідок антропогенного впливу стає глобальною і зростаючою загрозою для водних екосистем, оскільки негативно впливає, передусім, на гідробіоту [20, 21, 30].

Мінералізація природної води — одна з важливих характеристик, на підставі кількісних показників якої можна оцінити її придатність для використання в тих чи інших цілях, зокрема для питного водопостачання, зрошування сільськогосподарських земель та, зрештою, як середовища функціонування різноманітних водних організмів. Наприклад, вода систем централізованого питного водопостачання має відповідати певним

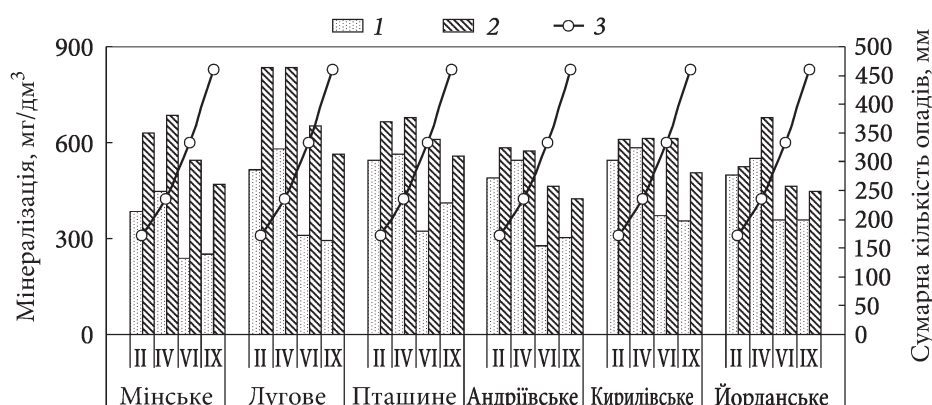


Рис. 8. Зміна мінералізації води озер системи Опечень у поверхневому (1) і придонному (2) горизонтах залежно від сумарної кількості опадів (3)² на кожну дату відбору проб протягом 2021 р. Римськими цифрами позначено місяці відбору проб

критеріям, зокрема її мінералізація не повинна перевищувати 1000 мг/дм³, а концентрація в ній іонів SO₄²⁻, Cl⁻ і Na⁺ становити відповідно не більше, ніж 250, 250 і 200 мг/дм³ [5].

Мінералізація води досліджуваних озер знаходиться в широкому діапазоні величин — від 238 до 834,6 мг/дм³ (рис. 8, таблиця). За середніми показниками вона протягом 2021 р. становила 330—464 мг/дм³ у поверхневому шарі і 511—720 мг/дм³ — у придонному горизонті. Ці показники значно більші за ті, що характерні для Канівського водосховища, яке знаходиться поруч [4, 13, 14]. У цьому водосховищі мінералізація води знаходиться в межах 248—424 мг/дм³, складаючи в середньому 323 мг/дм³ [13]. Про підвищений вміст солей у воді озер системи Опечень йдеться також у публікаціях [16, 23], в яких наведено дані про сухий залишок.

Найбільші величини мінералізації характерні для перших трьох озер, тобто для Мінського (238—684 мг/дм³), Лугового (295—835 мг/дм³) і Пташиного (324—680 мг/дм³). Характерно, що мінералізація води у поверхневому шарі, зазвичай, нижча, ніж у придонному. Вона змінюється також посезонно, знижуючись в літньо-осінню пору року. З одного боку, це може бути пов'язано з сумарною кількістю опадів, які випали протягом року на водозбірну площу, а з іншого — зі зниженням надходження солей з поверхневим стоком влітку і восени. Саме навесні відбувається змив солей, які в зимовий період широко використовуються для боротьби з обледенінням доріг та тротуарів. Тому взимку і навесні мінералізація води більша, ніж влітку і восени. На походження солей вказують результати дослідження йонного складу води досліджуваних озер (рис. 9). Доволі ви-

² Для розрахунку сумарної кількості опадів використано результати вимірювань кількості опадів, надані ЦГО ім. Бориса Срезневського (<http://cgo-sreznevskiy.kyiv.ua>), починаючи від початку льодоставу у грудні 2020 р.

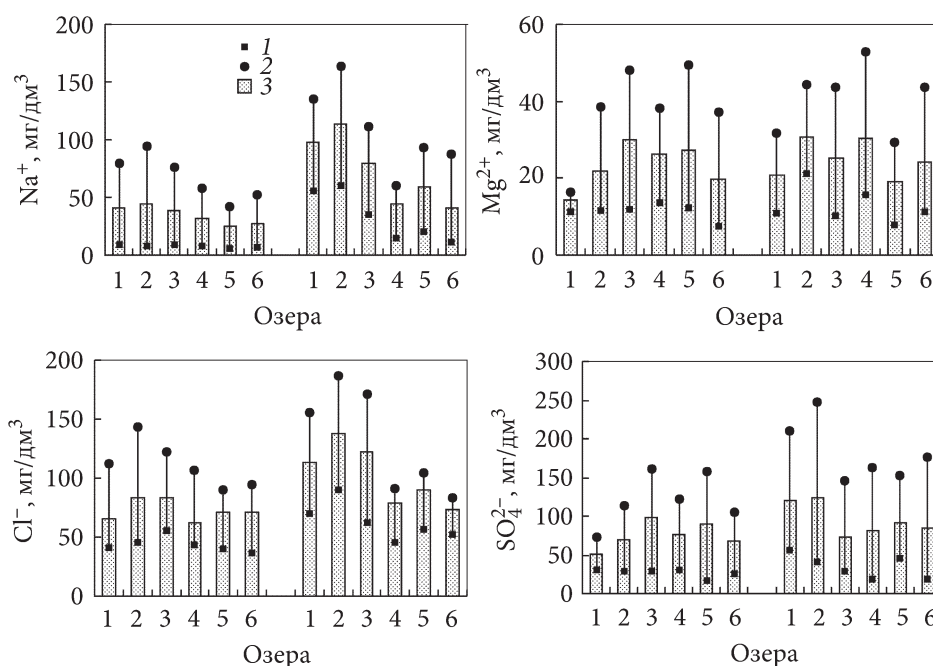


Рис. 9. Граничні (1, 2) та усереднені (3) значення концентрації йонів Na⁺, Mg²⁺, Cl⁻ і SO₄²⁻ у поверхневому і придонному горизонтах води озер системи Опечень

сокі концентрації йонів Na⁺ і Cl⁻, а також Mg²⁺ і SO₄²⁻ якраз і підтверджують їхнє антропогенне походження.

Про підвищений вміст хлоридних і сульфатних йонів повідомлялось і раніше [14, 16, 17, 23, 28]. Зокрема зазначалось, що концентрація хлорид-йонів досягала 111,0—133,5 мг/дм³, а вміст сульфат-йонів удвічі перевищував природний. Концентрація зазначених йонів залишається доволі високою і за результатами наших досліджень (див. рис. 9). Так, концентрація йонів Cl⁻ у воді озер системи Опечень навіть за середніх показників становить 65,4—138,2 мг/дм³, йонів SO₄²⁻ — 51,2—123,2 мг/дм³ (див. таблицю). Вона значно більша, ніж вміст зазначених йонів у воді Канівського водосховища за період 2011—2015 рр. (усереднені величини відповідно 24,07 та 36,76 мг/дм³) [11]. Це ж саме можна стверджувати і стосовно йонів Na⁺ та Mg²⁺. У воді досліджуваних озер усереднені значення їхнього вмісту становлять відповідно 24,7—113,8 і 14,4—30,8 мг/дм³ (див. таблицю), а у воді Канівського водосховища (2011—2015 рр.) — 14,8 і 14,4 мг/дм³. Підвищені концентрації йонів Na⁺, Mg²⁺, Cl⁻ і SO₄²⁻ у воді досліджуваних озер можуть спричинювати зміни її класу, групи і типу, передусім взимку та навесні. Особливо зазнає трансформації йонний склад верхніх чотирьох озер (Мінське, Лугове, Пташине і Андріївське). Якщо взимку і навесні вода в них належала до хлоридного, гідрокарбонатно-хлоридного або сульфатно-хлоридного класу, групи натрію, натрію і магнію або кальцію і натрію, II типу, то влітку і восени — до гідро-

Таблиця 1

Вміст головних йонів у воді поверхнього (п) і придонного (л) шарів озер системи Опечень протягом 2021 р.

Озера	K ⁺ , мг/дм ³	Na ⁺ , мг/дм ³	Ca ²⁺ , мг/дм ³	Mg ²⁺ , мг/дм ³	HCO ₃ ⁻ , мг/дм ³	Cl ⁻ , мг/дм ³	SO ₄ ²⁻ , мг/дм ³	Σ _{йонів} , мг/дм ³
Мінське (п)	5,8–9,9	9,0–90,0	31,4–35,1	11,3–16,5	104,4–134,2	37,0–112,0	30,9–73,2	238,0–445,3
	8,0	40,7	33,4	14,4	116,9	65,4	51,2	330,0
Мінське (л)	9,8–16,6	55,2–135,2	27,8–60,3	10,8–31,7	106,8–224,0	70,5–156,0	56,4–209,4	468,6–684,2
	13,5	97,5	44,2	20,9	172,3	112,8	120,3	581,5
Лугове (п)	6,6–10,7	8,5–94,3	33,3–66,0	11,7–38,5	145,0–166,4	45,6–143,0	28,0–113,9	294,7–580,2
	8,4	43,8	47,2	21,8	152,4	82,5	69,5	425,6
Лугове (л)	8,7–15,0	60,4–163,6	35,1–79,8	18,5–44,4	146,2–305,1	90,5–186,4	40,2–247,0	563,1–834,6
	10,9	113,8	55,5	30,8	248,1	138,2	123,2	720,5
Пташине (п)	7,0–9,6	9,5–75,6	33,2–76,4	12,0–48,0	138,7–167,8	55,9–122,0	29,6–161,4	324,4–562,7
	8,4	38,8	50,5	29,9	151,5	83,1	98,6	460,8
Пташине (л)	6,9–17,6	35,2–111,3	34,4–89,2	10,3–43,5	152,6–320,0	62,1–171,0	28,3–145,3	557,7–679,7
	10,4	79,4	66,1	25,3	251,6	122,5	73,0	628,3
Андріївське (п)	7,0–9,4	7,7–58,2	35,5–61,9	13,7–38,2	109,8–168,0	43,8–107,0	30,9–121,9	277,3–543,8
	8,1	31,6	44,5	26,2	147,7	69,5	75,8	403,4
Андріївське (л)	7,4–13,6	15,3–60,3	37,0–68,0	15,8–52,9	176,3–244,0	45,6–91,6	17,8–163,0	423,1–585,0
	9,8	44,0	55,0	30,2	211,9	79,0	81,1	511,0
Кирилівське (п)	6,9–9,2	6,1–42,6	44,4–78,2	12,2–49,6	160,2–193,2	39,5–89,8	16,5–157,3	354,3–585,1
	8,1	24,7	65,4	27,2	177,9	70,9	89,8	464,0
Кирилівське (л)	6,9–9,9	20,0–92,7	45,7–101,0	8,0–29,4	179,5–267,0	56,5–104,0	45,9–151,9	505,4–613,7
	8,5	58,6	80,3	19,1	236,6	90,2	92,2	585,5
Йорданське (п)	7,0–9,0	6,5–25,3	52,8–79,0	7,4–37,3	155,6–214,0	36,6–94,4	25,7–104,7	357,7–551,4
	8,0	26,9	67,7	19,7	180,4	71,4	67,7	441,8
Йорданське (л)	6,7–10,2	11,2–87,7	42,2–93,5	11,4–43,8	199,3–244,0	51,9–83,4	19,4–175,7	446,3–677,8
	8,8	40,8	70,7	24,3	225,2	73,2	85,2	528,2

Примітка. Над рискою — граничні показники, під рискою — усереднені значення.

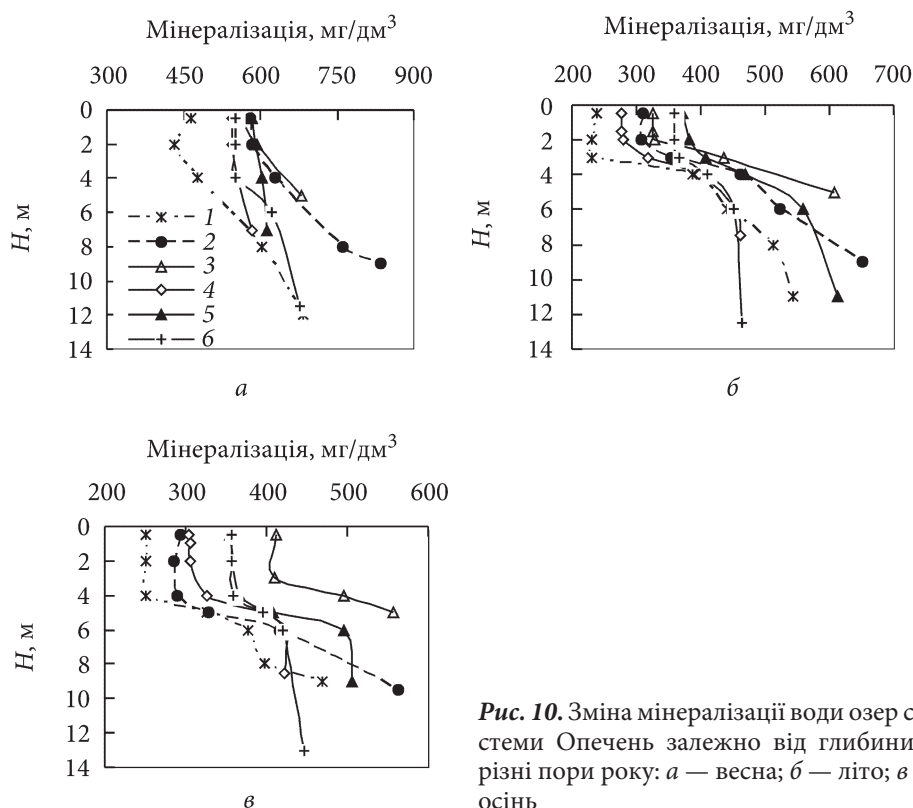


Рис. 10. Зміна мінералізації води озер системи Опечень залежно від глибини у різні пори року: а — весна; б — літо; в — осінь

карбонатно-хлоридного, гідрокарбонатного класу, групи кальцію, кальцію і натрію чи кальцію і магнію, II або III типу. Взимку і навесні вода у Кирилівському і Йорданському озерах характеризувалась як вода гідрокарбонатного і сульфатно-гідрокарбонатного класу, групи кальцію, магнію і кальцію чи магнію і натрію, II або III типу. Влітку і восени вода в них вже належала до гідрокарбонатного класу, групи кальцію, III типу. У Канівському водосховищі вода відноситься до гідрокарбонатного класу, групи кальцію, II типу (C_{II}^{Ca}).

Вище (рис. 10) наведено дані стосовно мінералізації води озер на різних глибинах. Видно, що у придонному горизонті мінералізація води більша, ніж у поверхневому. Напевно, це пов'язано з тим, що в період прямої температурної стратифікації нижче температурного стрибка (3,5—4 м) відсутнє конвективне перемішування водних мас, що знаходяться вище і нижче термоклину. Тому у процесі випадання опадів відбувається розбавлення водної маси, головним чином тієї, яка знаходиться над термоклином. Не слід забувати й про те, що збільшення концентрації солей у придонному горизонті може відбуватись за рахунок їхнього надходження з ґрунтових вод, які, зазвичай, більш мінералізовані.

Роль ґрунтового живлення зростає влітку та восени, коли знижується обсяг поверхневого стоку. Цілком очевидно, що в цей період відбувається зниження рівня води у верхній ділянці Канівського водосховища, що

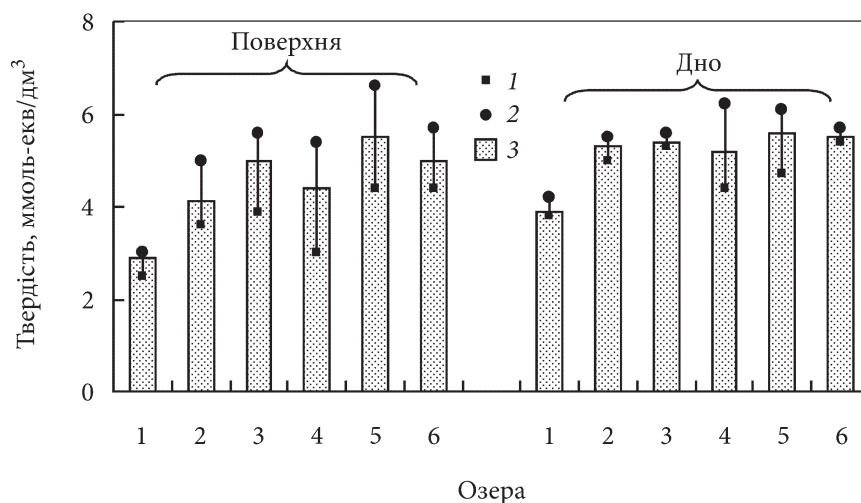


Рис. 11. Граничні (1, 2) та усереднені (3) показники твердості води у поверхневому і придонному горизонтах озер системи Опечень

призводить до зростання ролі згаданого ґрунтового живлення. Незважаючи на те, що досліджувані озера не мають гідравлічного зв'язку із зазначеною ділянкою водосховища, про що вже йшлося вище, у них також подібне явище цілком можливе. Тим більше, що їхній гідрологічний режим зазнає змін залежно від коливань водності у верхній ділянці Канівського водосховища та рівня ґрунтових вод по всій заплавної терасі.

Твердість води озер системи Опечень як характеристика, пов'язана з її йонним складом (зокрема з йонами Ca^{2+} і Mg^{2+}), знаходиться в широких межах (рис. 11) та змінюється посезонно і з глибиною.

Можна пересвідчитись, що твердість води у придонному горизонті дещо більша, ніж у поверхневому, що значною мірою узгоджується з відповідними даними стосовно загальної мінералізації води. Однак ця різниця не така помітна, як у випадку з мінералізацією води. Це свідчить, про те, що концентрації йонів Ca^{2+} і Mg^{2+} залишались більш-менш стабільними і мало змінювались з глибиною.

ВИСНОВКИ

Озера системи Опечень як малі водойми урбанізованої території зазнають постійного антропогенного впливу з боку мегаполісу — м. Києва, що істотним чином позначається на їхньому гідрохімічному режимі. Серед важливих його елементів слід зазначити кисневий режим та мінералізацію води, які змінюються як у сезонному, так і у просторовому аспекті.

Оскільки досліджувані озера розглядаються певною мірою як глибоководні, для них характерна температурна стратифікація, яка триває з весни до осені. Різниця між температурою води поверхневого і придон-

ного горизонтів влітку і восени досягає 8—12 °С. Прогрівання поверхневого шару призводить до активного розвитку фітопланктону, завдяки чому відбувається перенасичення води киснем, максимальні показники якого вже навесні становлять 109—146 %, влітку — 105—175 % і восени — 120—152 %. У придонному горизонті насичення води киснем набагато нижче: весною — 34,0—53,5 %, влітку — 26,5—36,2 % і восени — 0,0—30,8 %. Це свідчить про те, що кисень витрачається на окиснювання речовин, передусім органічних, та на дихання біоти. Практично в усіх озерах спостерігається киснева стратифікація і на глибині 3,5—4 м вміст розчиненого кисню різко знижується. Низький рівень кисню свідчить про формування анаеробних умов у придонному горизонті, які негативним чином впливають на стан водного середовища та функціонування озерних екосистем у цілому. Взимку через встановлення льодоставу на озерах істотно знижується атмосферна аерація, тому концентрація O_2 , зазвичай, низька — 2,8—5,5 мг/дм³ у воді поверхневого горизонту і 2,0—4,9 мг/дм³ — у воді придонного горизонту.

Величини рН води також істотно відрізняються у поверхневому і придонному горизонтах. Так, рН води у поверхневому шарі змінюється в межах 8,47—9,02 навесні, 8,22—9,55 — влітку і 7,75—9,19 одиниць восени. Відповідно, у придонному горизонті ці показники такі: 6,94—8,00 навесні, 7,04—7,87 влітку і 7,09—7,83 восени.

Дефіцит розчиненого кисню та порівняно низькі показники рН води у придонному горизонті істотним чином впливають на окисно-відновний потенціал, який знижується до від'ємних значень. Це свідчить про те, що у придонному шарі води домінують відновлювальні умови. А це означає, що самоочищення водного середовища істотно уповільнюється або ж зовсім припиняється. Натомість відбувається вторинне його забруднення за рахунок міграції речовин з донних відкладів.

Мінералізація води озер характеризується підвищеними показниками порівняно з верхньою ділянкою неподалік розташованого Канівського водосховища, що пояснюється багаторічним забрудненням озер солями, які взимку широко використовуються для боротьби з обледенінням доріг і тротуарів, а потім навесні потрапляють до них з поверхневим стоком. Найбільше це проявляється у перших трьох озерах системи Опечень (Мінське, Лугове і Пташине). Характерно, що мінералізація води у придонному горизонті набагато більша, ніж у поверхневому. Серед головних йонів порівняно високими концентраціями характеризуються хлоридні і сульфатні йони, а також йони Na^+ і Mg^{2+} , що служить підтвердженням їхнього антропогенного походження. Не виключено, що тут може проявляти свій вплив також ґрунтове живлення озер, а ґрунтові води, як відомо, відрізняються від поверхневих вищими показниками мінералізації в цілому і вмісту окремих йонів зокрема.

Погіршення гідрохімічного режиму озер системи Опечень в цілому і окремих його елементів зокрема слід очікувати і в подальшому, якщо не вживати заходів з їхнього оздоровлення. Зазначеному погіршенню можуть також сприяти кліматичні зміни, які відбуваються тепер і відбува-

тимуться у майбутньому, оскільки малі водойми — найбільш уразливі до таких змін. Передусім, це стосуватиметься кисневого режиму та мінералізації води, які несприятливі вже тепер для нормального функціонування озерних екосистем. Для поліпшення їхнього стану необхідно, з одного боку, істотно знизити рівень антропогенного навантаження, а з іншого — передбачити збагачення води киснем за допомогою, наприклад, установок штучної аерації, як це запроваджено на оз. Тельбін (м. Київ). Не менш важливим може стати використання альтернативних солевим сумішам засобів у боротьбі проти обледеніння доріг.

Список використаної літератури

1. Афанасьев С.А. Характеристика гидробиологического состояния разнотипных водоемов г. Киева. *Вестн. экологии*. 1996. № 1—2. С. 112—118.
2. Бондар О.І., Шевченко Р.Ю., Машков О.А., Пашков Д.П. Екологічна безпека довкілля в акваторії каскаду озер Опечень міста Києва. *Екологічні науки*. 2018. № 2 (21). С. 6—11.
3. ГОСТ 4389-72 Вода питьевая. Методы определения содержания сульфатов. Москва, 1972. 8 с.
4. Денисова А.И., Тимченко В.М., Нахшина Е.П. и др. Гидрология и гидрохимия Днепра и его водохранилищ. Киев: Наук. думка, 1989. 216 с.
5. ДСТУ 7525:2014. Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості. Київ: Мінекономрозвитку України, 2014. 36 с.
6. Дьомін М.М., Ніщук В.С., Сінгаєвська О.І. та ін. Екологічний стан водозбору озер Мінське та Лугове в системі озер Опечень Оболонського району м. Києва. *Містобудування та терит. планування*. 2004. Вип. 19. С. 89—95.
7. Жежеря В.А., Линник П.М., Зубенко І.Б. Уміст та форми знаходження металів у озерах системи Опечень (м. Київ). *Наук. праці УкрНДДГМІ*. 2016. Вип. 269. С. 70—86.
8. Заїченко Н.В. Симбіотичні угруповання риб-вселенців в різнотипних водоймах: автореф. дис. ... канд. біол. наук. Київ, 2016. 23 с.
9. Кравцова О.В., Семенюк Н.Є. Багаторічна динаміка структурно-функціональних характеристик фітопланктону різнотипних водойм мегаполісу. *Вісн. Запорізь. нац. ун-ту. Біол. науки*. 2017. № 1. С. 140—153.
10. Линник П.М., Жежеря В.А., Жежеря Т.П. та ін. Гідрохімічний режим озер системи Опечень (м. Київ). *Наук. праці УкрНДДГМІ*. 2016. Вип. 269. С. 59—69.
11. Лозовіцький П.С. Моніторинг мінералізації та хімічного складу води Дніпра в межах Канівського природного заповідника. *Часопис картографії*. 2016. Вип. 15 (2). С. 73—101.
12. Набиванець Б.Й., Осадчий В.І., Осадча Н.М., Набиванець Ю.Б. Аналітична хімія поверхневих вод. Київ: Наук. думка, 2007. 456 с.
13. Осадчий В.І., Набиванець Б.Й., Осадча Н.М., Набиванець Ю.Б. Гідрохімічний довідник: Поверхневі води України. Гідрохімічні розрахунки. Методи аналізу. Київ: Ніка-Центр, 2008. 656 с.
14. Панасюк І.В., Томільцева А.І., Зуб Л.М., Погорелова Ю.В. Якість води у міських водоймах та характер освоєння водоохоронних зон (на прикладі озер системи «Опечень», м. Київ). *Екологічна безпека та природокористування*. 2015. № 4 (20). С. 63—69.
15. Пат. 75995 Україна, МПК⁵¹ (2012.01) G 01 N 1/00 Модифікований батометр-склянка: винахідник Жежеря В.А., власник Інститут гідробіології НАН України. № u 2012 05246; заяв. 27.04.12; опубл. 25.12.12, Бюл. № 24. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ktvsh_2016_15%282%29_10.
16. Романенко О.В., Арсан О.М., Кіпніс Л.С., Ситник Ю.М. Екологічні проблеми Київських водойм і прилеглих територій. Київ: Наук. думка, 2015. 178 с.

17. Ситник Ю.М., Івашкевич К.О., Князева Є.С., Лапшова С.О. Гідрохімічний режим деяких водойм міської зони Києва взимку та навесні 2002 р. Екологічний стан водойм м. Києва: Київ: Фітосоціоцентр, 2005. С. 13—29.
18. Хільчевський В.К., Бойко О.В. Гідролого-гідрохімічна характеристика озер і ставків території м. Києва. *Гідрологія, гідрохімія, гідроекологія*. 2001. Т. 2. С. 529—535.
19. Arvola L., George G., Livingstone D.M. et al. The impact of the changing climate on the thermal characteristics of lakes. Ed. by D.G. George. *The impact of climate change on European Lakes*. Aquatic Ecology Series 4. Dordrecht (Netherlands): Springer, 2010. Chapter 6. P. 85—101.
20. Cañedo-Argüelles M. A review of recent advances and future challenges in freshwater salinization. *Limnetica*. 2020. Vol. 39, N 1. P. 185—211.
21. Cañedo-Argüelles M., Kefford B.J., Piscart C. et al. Salinisation of rivers: an urgent ecological issue. *Environ. Pollution*. 2013. Vol. 173. P. 157—167.
22. George D.G., Hurley M., Hewitt D. The impact of climate change on the physical characteristics of the larger lakes in the English Lake District. *Freshwater Biology*. 2007. Vol. 52. P. 1647—1666.
23. Goncharova M.T., Kipnis L.S., Konovets I.M. et al. Ecological assessment of water and sediments quality of the Opechen lakes system (Kyiv). *Hydrobiol. J.* 2020. Vol. 56, N 4. P. 71—83.
24. Gorbatiuk L.O., Pasichna O.O., Platonov M.O. et al. Assessment of the current level of pollution of the lakes of Kyiv by petroleum hydrocarbons. *Ibid.* 2021. Vol. 57, N 3. P. 95—101.
25. Linnik P.M. Climate changes as an important factor of the formation of the chemical composition of surface waters at the present time (a review). *Ibid.* 2021. Vol. 57, N 1. P. 78—94.
26. Livingstone D.M. Impact of secular climate change on the thermal structure of a large temperate Central European lake. *Climatic Change*. 2003. Vol. 57. P. 205—225.
27. Pasichna O.O., Gorbatiuk L.O., Platonov M.O. et al. Peculiarities of accumulation of heavy metals by aquatic macrophytes of the lakes of Kyiv and assessment of their bioremediation capacity. *Hydrobiol. J.* 2021. Vol. 57, N 4. P. 64—74.
28. Shevchenko T.F., Klochenko P.D., Kharchenko G.V., Gorbunova Z.N. Phytoplankton of megalopolis lakes under conditions of anthropogenic influence. *Ibid.* 2021. Vol. 57, N 4. P. 48—63.
29. Vincent W.F. Effects of climate change on lakes. Ed. by Likens G.E. *Encyclopedia of inland waters*. Amsterdam: Elsevier, 2009. P. 55—60.
30. Williams D.D., Williams N.E., Cao Y. Road salt contamination of groundwater in a major metropolitan area and development of a biological index to monitor its impact. *Water Res.* 2000. Vol. 34. P. 127—138.
31. Yakushin V.M., Potrokhov A.S., Zinkovskiy O.G. et al. Bacteria numbers and proteolytic activity in the water of the lake located within the urban territory. *Hydrobiol. J.* 2015. Vol. 51, N 3. P. 77—86.

Надійшла 18.02.2022

P.M. Linnik, Dr. Sci. (Chem.), Prof., Head of Department,
Institute of Hydrobiology of the NAS of Ukraine,
Geroyiv Stalingrada prosp., 12, Kyiv, 04210, Ukraine
e-mail: peter-linnik@ukr.net
ORCID 0000-0002-2144-4052

V.A. Zhezherya, PhD (Geogr.), Senior Researcher
Institute of Hydrobiology of the NAS of Ukraine,
Geroyiv Stalingrada prosp., 12, Kyiv, 04210, Ukraine
e-mail: zhezheryava1981@gmail.com
ORCID 0000-0002-1128-5270

PECULIARITIES OF DYNAMICS OF CERTAIN ELEMENTS OF THE
HYDROCHEMICAL REGIME OF SMALL WATERBODIES OF URBANIZED
TERRITORY: OXYGEN REGIME AND WATER SALINIZATION

The results of researches of dynamics of separate elements of a hydrochemical regime of small waterbodies of the urbanized area, in particular an oxygen regime, water salinization and the main ions are discussed. The research was conducted on the lakes of the Opechen' system (Kyiv city) at different times of the year. These lakes are subject to significant anthropogenic pressure, which significantly affects their hydrochemical regime. They are characterized by temperature stratification, which lasts from spring to autumn. In the summer-autumn season, the difference in water temperature in the surface and bottom horizons is 8—12 °C. From spring to autumn, oxygen stratification continues in the studied lakes. Due to photosynthesis, the water in the surface layer is supersaturated with oxygen: 109—146, 105—175 and 120—152 %, respectively, in spring, summer and autumn. In contrast, the bottom water horizon is characterized by oxygen deficiency, which lasts almost all year round. Oxygen saturation does not exceed 34,0—53,5 % in spring, 26,5—36,2 % in summer and 0,0—30,8 % in autumn. The pH of the water of the surface and bottom horizons are also in a wide range of values — from 9,55 to 6,94. As a result of measurements of the redox potential (Eh), it was found to decrease to negative units in the water of the bottom horizon, which indicates the dominance of the reduction conditions. The water salinization of the studied lakes is much higher than in the nearby Kaniv Reservoir (upper section). And in the surface layer of water it is much lower than in the bottom. Quite high concentrations of Na⁺, Cl⁻, SO₄²⁻ and Mg²⁺ ions were found, which is due to their anthropogenic origin — the inflow of salts with surface runoff due to their widespread use to combat road icing. Deterioration of the hydrochemical regime of lakes should be expected in the future in connection with climate change.

Keywords: *waterbodies of urbanized territory, lakes of the Opechen' system, hydrochemical regime, temperature and oxygen stratification, redox potential, water salinization, main ions.*