

ОЦІНКА ЯКОСТІ ВОДИ ВОДОСХОВИЩ МАЛИХ ГІДРОЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ (НА ПРИКЛАДІ РІЧКИ РОСЬ)

Зуб Л.М.¹, Прокопук М.С.¹, Томільцева А.І.²

¹Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління
вул. Митрополита Василя Липківського, 35, корпус 2, 03035, м. Київ
lesyazub2@gmail.com
wodai@i.ua

²ДУ «Інститут еволюційної екології НАН України»
вул. акад. Лебедєва, 37, 03143, м. Київ
maryanaprokopuk406@gmail.com

Наведено результати сучасної оцінки якості води та ретроспективного аналізу її змін для водосховищ малих гідроелектростанцій на річці Росі (Богуславське, Стеблівське та Корсунь-Шевченківське) шляхом порівняння основних показників соляного складу та трофо-сапробіологічних показників із даними для Білоцерківського верхнього водосховища. *Ключові слова:* якість води, біогени, малі ГЕС, річка Рось.

Оценка качества воды водохранилищ малых гидроэлектростанций (на примере реки Роси). Зуб Л.И., Томильцева А.И., Прокопук М.С. Приведены результаты современной оценки качества воды и ретроспективного анализа ее изменений для водохранилищ малых гидроэлектростанций на реке Роси (Богуславское, Стебловское и Корсунь-Шевченковское) путем сравнения основных показателей солевого состава и трофо-сапробических показателей с данными для Белоцерковского верхнего водохранилища. *Ключевые слова:* качество воды, биогены, малые ГЭС, река Рось.

Assessment of the quality of water of the reservoirs of small hydropower plants (on the example of the river Ros). Zub L., Prokopuk M., Tomiltseva A. The results of modern water quality assessment and retrospective analysis of its changes for small hydroelectric reservoirs on the river are given. Ros (Boguslavskoe, Steblovskoe and Korsun-Shevchenkovskoe) by comparing the main indicators of salt composition and tropho-saprobological indicators with data for the Belotserkovsky upper reservoir. *Key words:* water quality, nutrients, small hydroelectric power plants, river Ros.

В умовах глобальної зміни клімату за вимог Кіотського протоколу щодо зменшення шкідливого впливу на навколишнє природне середовище багато країн стимулюють виробництво електроенергії з відновлюваних джерел. Відповідно до Національного плану дій із відновлюваної енергетики (NREAP), завдяки модернізації наявних потужностей, будівництву, реконструкції та введенню в експлуатацію малих гідроелектростанцій (далі – МГЕС) в Україні заплановано до 2020 р. збільшити вдвічі виробництво електроенергії. Роль малої гідроенергетики у функціонуванні окремих регіонів України стає надзвичайно вагомою і потребує наукових досліджень для прогнозування впливу МГЕС на навколишнє природне середовище. Потребує відповіді питання щодо визначення гідроенергетики відновлювальним джерелом енергії, оскільки каскад МГЕС перешкоджає природному плину річки. Надмірне зарегулювання водотоку спричиняє суттєві екологічні зміни, що призводять до порушення природного гідрологічного режиму, втрати суцільності та поділу його на окремі екосистеми. Саме тому актуальне дослідження сучасного стану біотичного розмаїття водних екосистем водосховищ МГЕС та якості води в них.

Багаторічні дослідження, здійснені на річках лісостепу України [1; 2], засвідчили актуальність вивчення впливу зарегулювання стоку річок на їх біотичне розмаїття та структуру ландшафтів, що формуються на них. Обґрунтовується необхідність включення до системи екологічного моніторингу роботи МГЕС як одного із ключових елементів моніторингу якості води [3].

Матеріали та методи. На п'яти водосховищах, споруджених на р. Рось, працюють МГЕС, робота гідровузлів яких визначає водогосподарський, гідрохімічний і гідробіологічний режими річки. Богуславське, Стеблівське і Корсунь-Шевченківське, що формують безперервний каскад, обрано для досліджень. Головні морфометричні параметри водосховищ наведено в табл. 1.

Гідровузел Богуславської гідроелектростанції (далі – ГЕС) збудовано за дериваційною схемою. Потужність двох гідроагрегатів становить приблизно 1,1 тис. кВт за максимальною пропускною здатністю 1310 м³/с. Крім гідроенергетики, водосховище використовується для питного водопостачання. До головних проблем екосистеми водосховища віднесено значний відсоток замулення та заростання, зумовлені віком гідропоруди та пору-

шенням водоохоронного режиму на її прибережних ділянках.

Гребля Стеблівського водосховища має форму арки, вигнутої вниз за течією, сумарна потужність двох гідроагрегатів становить 2,7 тис. кВт, що забезпечується витратами води 12,5 м³/с. Крім значного замулення, проблемним питанням для водосховища є невисока якість води через скидання господарсько-побутових стоків м. Богуслава.

Корсунь-Шевченківське водосховище і гідровузол, споруджений на ньому, найстарші з досліджених, остання реконструкція яких відбулася нещодавно. На нижньому в каскаді водосховищі гідровузол споруджено за дериваційною схемою, працює два агрегати. Розрахункові витрати води становлять 1 660 м³/с, сумарна потужність агрегатів – 22,4 м³/с. Водосховище призначено для комплексного використання, на ньому споруджено водозабір м. Корсунь-Шевченківський. Основною екологічною проблемою водосховища є періодичне погіршення якості його води через численні джерела забруднення, розташовані вище за течією, господарсько-комунальних скидів м. Корсунь-Шевченківський та недотримання водоохоронного режиму на водозборі й замулення [4].

Білоцерківське верхнє водосховище, обране для порівняння, не має ГЕС. Режим його роботи, як найбільшого на Росі, у літньо-осінній та зимовий періоди визначається умовами забезпечення питною водою міст Умані та Біла Церква [4], санітарно-гігієнічними й екологічними вимогами під час експлуатації.

Оцінка якості води за наявними методиками [5] передбачає класифікацію якості води за мінералізацією, електропровідністю та хімічними трофо-сапробіологічними показниками. На верхніх, середніх, нижніх ділянках у репрезентативних точках здійснено комплексні дослідження. Загалом у вересні 2017 р. відібрано 12 комплексних гідрохімічних проб для визначення 9 основних параметрів (рН, температура води, електропровідність, завислі речовин, мінералізація та вміст основних міогенів – NO₂⁻, NO₃⁻, NH₄⁺, PO₄³⁻). Натурні дослідження здійснено на репрезентативних ділянках (витоки річки, верхні, середні та нижні ділянки) у двох повторях – літньому (липень – період максимального розвитку угруповань гідробіонтів) та осінньому (вересень) 2017 р.

Гідрохімічні вимірювання здійснено кондуктометром CTS-406 (температура води, електропровідність, вміст розчинених солей, загальна жорсткість і рН), ОВП-метром моделі 7011. Дослідження води на вміст біогенів здійснено колориметричним методом із використанням приладу DR/890 Colorimeter.

Результати досліджень. Водозбір р. Рось належить до найбільш зарегульованих річкових басейнів України: загальна кількість ставків та водосховищ, побудованих на річці та її притоках – 2 167 шт., 1% її водозбірних площ перебуває під водою [6]. На самій річці є 10 руслових водосховищ із сумарним об'ємом води 59,97 млн м³. Зарегулювання водотоку, особливо таке інтенсивне, що має місце на р. Рось, супроводжується руйнуванням природних ландшафтів або їхніх компонентів і всієї екосистеми річки.

За хімічним складом вода річки належить до гідрокарбонатного класу групи кальцію. Слабка течія р. Рось та значна кількість розташованих на ній ставків та водосховищ зумовлюють значне підвищення вмісту у воді річки фосфатів, сполук азотів та збільшення рН води вниз за течією. Ці показники визначають ступінь продуктивності (трофності) водних об'єктів. Збільшення біопродуктивності водойм внаслідок підвищення вмісту сполук азоту та фосфору призводить до погіршення якості води й евтрофікації, що є першою стадією заболочення водойми. Збільшення у воді завислих речовин (як мінеральних, так і органічних) за слабкої течії призводить до осадження й утворення значних донних відкладів у руслі р. Рось та у водосховищах.

Водозбору річки притаманна складна ландшафтно-геохімічна структура, значні площі агроландшафтів і надзвичайно малий відсоток природних комплексів: сьогодні корінна антропогенна трансформація відбулася на 80% водозбору р. Росі, а за останні 20–25 років вона збільшилася на 6% (понад 765 км²) [7].

За опублікованими даними [8–10], тенденції до забруднення русла річки останнім часом посилилися за течією майже по всій території Київської області. Найважливішим інником збільшення забруднення є низька якість стічних вод, що скидають водокористувачі в Рось та її притоки.

Обстежені водосховища характеризуються сформованими угрупованнями водних гідробіонтів, які за своєю видовою структурою та кількісними показниками подібні до таких, що є на

Таблиця 1

Основні морфометричні показники водосховищ, що досліджувалися

Водосховища	Рік створення	НПП	S, км ²	Об'єм, млн м ³	Довжина, км	Ширина макс., км
Білоцерківське верхнє	1967	157,5	5,46	16,96	19,3	0,65
Богуславське	1955	127,4	7,00	1,75	9,0	0,20
Стеблівське	1951	113,9	6,56	15,70	37,0	0,60
Корсунь-Шевченківське	1934, 1947, 2002	99,8	1,70	3,75	17,0	1,70

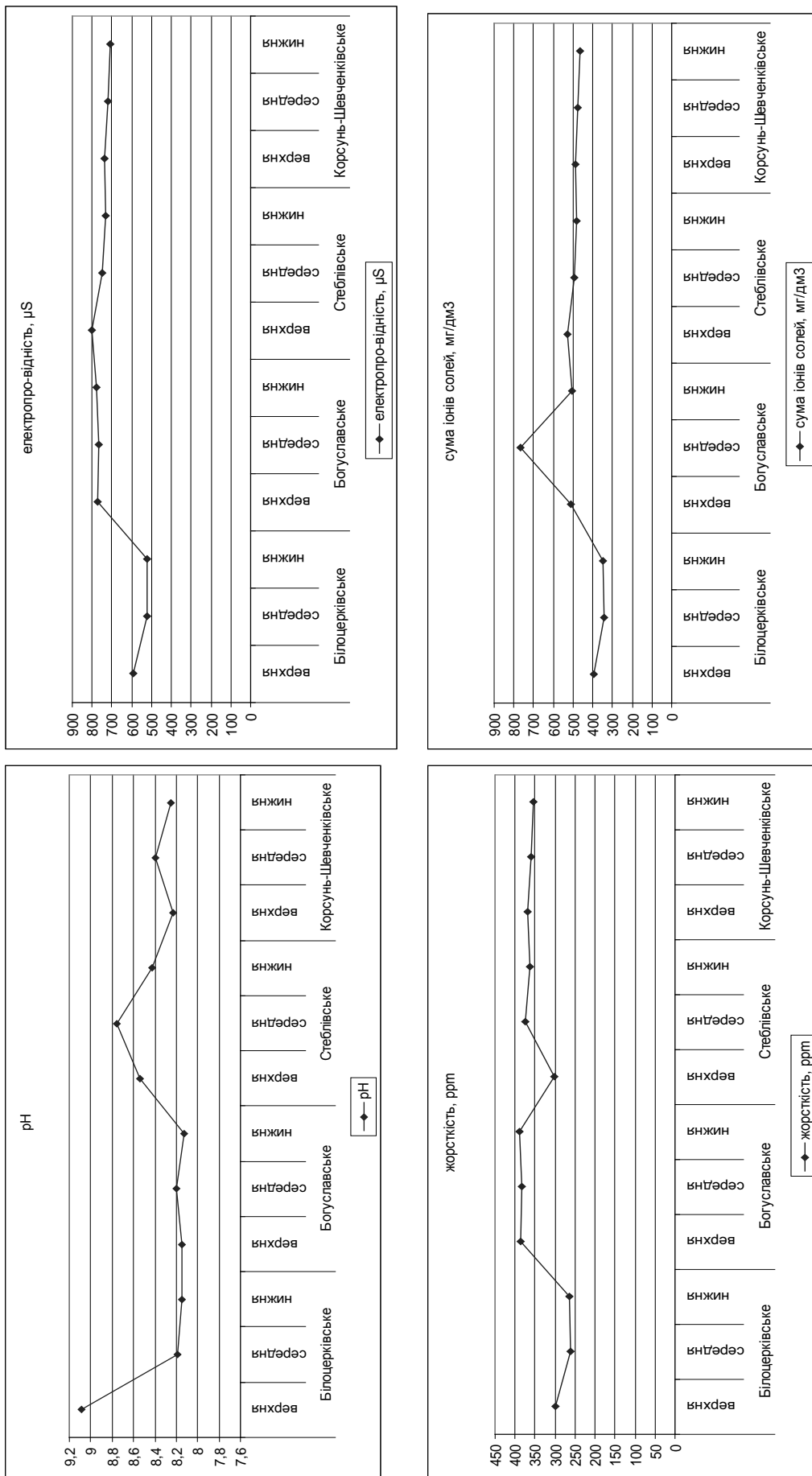


Рис. 1. Динаміка основних гідрохімічних показників водосховищ, що досліджувалися

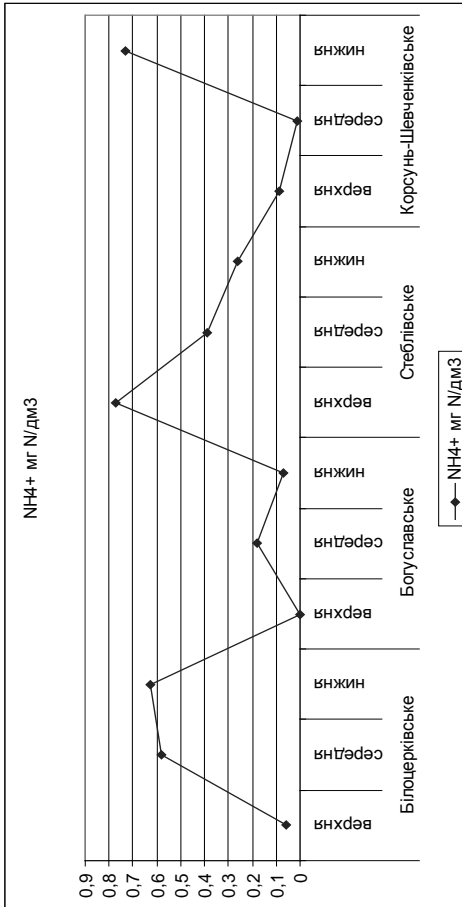
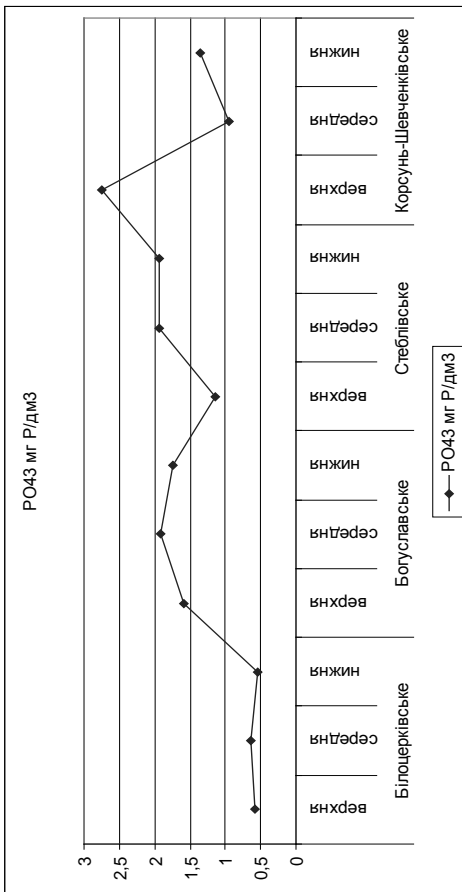
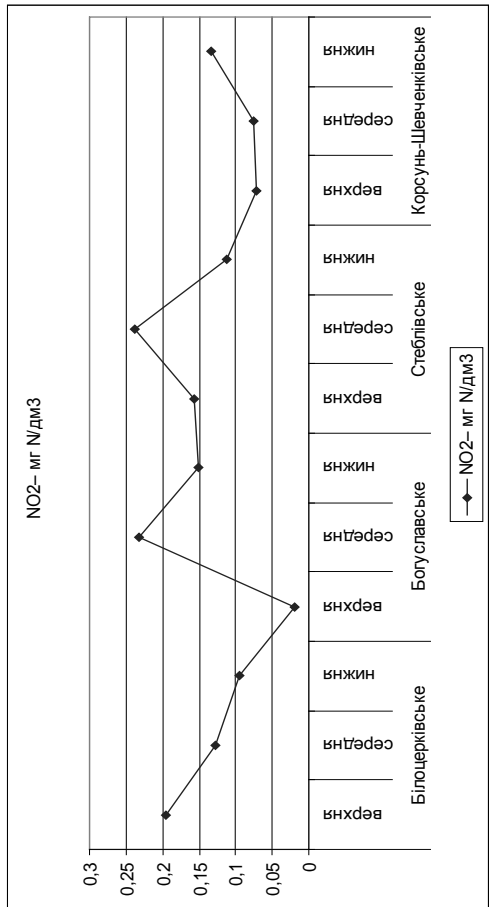
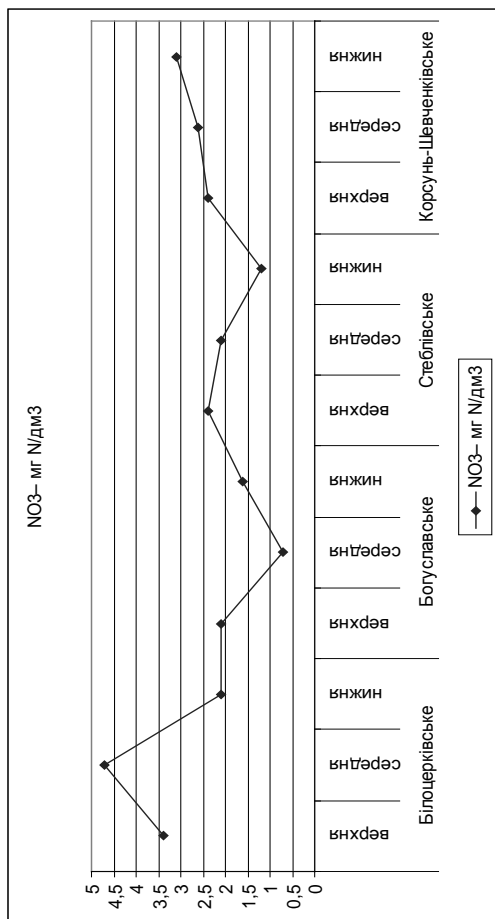


Рис. 2. Динаміка вмісту біогенів у воді водосховищ, що досліджувалися

Інтегральне оцінювання якості води модельних водосховищ

Показник	Білоцерківське верхнє			Богуславське			Стеблівське			Корсунь-Шевченківське		
	V*	H	C	V*	H	C	V*	H	C	V*	H	C
pH	7	3	3	4	3	4	6	5	6	4	5	5
питома електропровідність	4	3	3	4	4	4	5	4	4	4	4	4
сума іонів солей	3	2	2	4	3	4	4	3	3	3	3	3
$I_{ЗП}$	4,7	2,7	2,7	4	3,3	4	5	4,3	4	3,7	4	4
NO_2^-	7	6	7	4	7	7	7	7	7	6	6	6
NO_3^-	7	6	7	6	6	4	6	6	6	6	7	7
NH_4^+	1	5	5	1	2	2	5	4	4	2	1	5
N заг., мг N/л	4	4	4	4	3	2	4	4	4	4	4	4
PO_4^{3-}	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
$I_{БР}$	5,5	6,1	5,7	4,8	5,2	5,2	6,3	5,8	5,5	5,3	5,3	6,2
I	5,1	4,4	4,2	4,4	4,6	4,3	5,7	5,1	4,8	4,5	4,7	5,1
Клас якості	Задовільні			Задовільні			Задовільні			Задовільні		
Категорія якості вод	Посередні			Задовільні			Посередні			Задовільні		
Сапробність	α^2 -мезосапробні			$\beta^{2,2}$ -мезосапробні			α^2 -мезосапробні			$\beta^{2,2}$ -мезосапробні		
Трофність	евтрофні			евтрофні			евтрофні			α^2 -мезосапробні		

* Де: V – верхні ділянки водосховищ, C – середні, H – нижні;

$I_{ЗП}$ – індекс середніх значень загальних показників ($= (KpH + Kcond + Kds)/3$, де: KpH , $Kcond$, Kds – категорії за показниками рН, електропровідності та суми іонів солей відповідно);

$I_{БР}$ – індекс середніх значень вмісту біогенів ($= (K_{NH_4} + K_{NO_2} + K_{NO_3} + K_N + 2K_{PO_4})/6$, де K_{NH_4} , K_{NO_2} , K_{NO_3} , K_N , K_{PO_4} , K_P – категорії за показниками вмісту, відповідно, амонійного, нітритного, нітратного і загального азоту, фосфору фосфатів);

I – інтегральна оцінка $= (I_{ЗП} + I_{БР})/2$.

Таблиця 3

Якість води водосховищ за середніми інтегральними показниками

Водосховища	2011 р.			2017 р.		
	$I_{ЗП}$	$I_{БР}$	Інтегральна оцінка	$I_{ЗП}$	$I_{БР}$	Інтегральна оцінка
Білоцерківське верхнє	1,3	3,5	добра/чиста	3,4	5,8	задовільна/задовільна
Богуславське	1,7	4	добра/чиста	3,8	5,1	задовільна/задовільна
Стеблівське	1,3	4,3	добра/чиста	4,4	5,9	задовільна/посередня
Корсунь-Шевченківське	1,7	4,4	задовільна/забруднена	3,9	5,6	задовільна/задовільна

середніх і нижніх ділянках р. Рось, проте мають специфічні риси в кожній із досліджених водойм [8; 10]. Їм притаманна дуже збіднена флора вищих водних рослин, більшість видів належить до лімnofільного й евтрофно-болотного комплексів. Кількість реофільних вкрай обмежена внаслідок зарегулювання водотоку [11]. Головними ценозоутворювачами є дуже невелика кількість видів, що належать до індикаторів високотрофних вод. Рослинний покрив досить одноманітний, просторовий розподіл має поясний характер, притаманний річкам, але значний розвиток поясу високотравних гелофітів свідчить про процеси заболочення внаслідок відсутності промивного режиму. Характерний значний розвиток нитчастих водоростей в угрупованнях усіх екологічних груп макрофітів. Оскільки ступінь їхнього розвитку є показником масштабів антропогенного евтрофування водойми, то можна вважати критичним рівень останнього для водосховищ, а також незбалансованість продукційно-деструкційних процесів внаслідок значного забруднення.

Усі водойми характеризуються високим рівнем забруднення та трофності вод, якість води за трофо-сапробіологічними індексами характеризується як перехідна від помірно забрудненої, еволітрофної, α' -мезосапробної до брудної, політрофної, α'' -мезосапробної [12].

Дослідженнями виявлено зміни, що відбуваються в гідрохімічному режимі водосховищ згори вниз за течією річки (рис. 1, 2). Поступово зменшується лужність середовища, що наближається до нейтральних показників згори вниз: від верхніх ділянок Білоцерківського водосховища (9,09) до середніх та нижніх Корсунь-Шевченківського (8,39–8,25). Стеблівське та Корсунь-Шевченківське водосховища характеризуються зростанням водневого показника на середніх ділянках. Водосховища, на яких споруджено МГЕС, також вирізнялися дещо більшими показниками рН, ніж Білоцерківське верхнє водосховище, проте меншими, ніж верхні ділянки водотоку р. Росі.

Водосховища МГЕС характеризуються також більшими показниками жорсткості води, електропровідності та вмісту розчинених у ній солей.

Показники вмісту біогенів належать до переліку найважливіших гідрохімічних характеристик якості води та стану водної екосистеми, оскільки вони є провідними чинниками процесів антропогенного евтрофування. Це явище створює низку серйозних негативних наслідків, зокрема, зменшення прозорості води, інтенсивний розвиток водоростей (також «цвітіння» синьо-зелених), дефіцит кисню в придонних шарах тощо.

Білоцерківське верхнє водосховище характеризується найбільшими показниками вмісту нітратів (середні значення NO_3^- становлять 3,4 мг N/дм³), Богуславське та Стеблівське – нітритів (середні

значення у водоймі $\text{NO}_2^- = 0,134$ та 0,169 мг N/дм³ відповідно). Верхні ділянки Стеблівського та нижні Корсунь-Шевченківського водосховищ характеризуються найбільшими показниками вмісту азоту амонійного ($\text{NH}_4^+ = 0,77$ та 0,73 мг N/дм³). У пригреблевих ділянках Богуславського та Стеблівського водосховищ спостерігається найвища концентрація азотовмісних сполук. У Корсунь-Шевченківському водосховищі ці показники максимальні на нижніх ділянках, що, вочевидь, пояснюється значним впливом міських стоків.

Верхні ділянки Корсунь-Шевченківського водосховища характеризуються найбільшим вмістом фосфатів ($\text{PO}_4^{3-} = 2,75$ мг P/дм³).

Головною проблемою погіршення якості води всіх досліджених водосховищ є підвищений вміст фосфору фосфатів.

Особливістю всіх досліджених водосховищ є перевищення нормативів екологічної безпеки (наказ Міністерства аграрної політики та продовольства України № 471 від 30 липня 2012 р.) для пізньолітнього періоду за показниками вмісту фосфат-іонів – майже у 2,5 рази для Богуславського водосховища, у 2,4 – для Стеблівського та Корсунь-Шевченківського. Одержані дані зіставні з офіційними даними Басейнового управління р. Росі [13], що пояснює значне збільшення вмісту фосфатів наприкінці літа порівняно з попередніми місяцями.

Інтегральна оцінка якості води досліджених водосховищ (табл. 2) показала значну антропогенну евтрофікацію як водосховищ МГЕС (Богуславське, Стеблівське та Корсунь-Шевченківське), так і Білоцерківського верхнього водосховища без МГЕС. Якість води тут можна оцінити як «задовільну» (III клас), 4–5 категорій – «задовільні та посередні (слабко забруднені та помірно забруднені) води».

На всіх водосховищах спостерігали спрацювання самоочисних механізмів екосистеми: якість води поступово покращувалася згори донизу – за течією від пригреблевих ділянок до нижніх (винятком стало лише Корсунь-Шевченківське водосховище). Водосховища, гідровузол яких побудовано за дериваційною схемою (Богуславське та Корсунь-Шевченківське), характеризувалися кращими показниками якості води.

Ретроспективне порівняння даних із такими для р. Росі за 2011 р. (табл. 3) показало значне погіршення якості води, насамперед за трофо-сапробіологічними показниками (вміст біогенів).

Висновки. Екологічний аналіз загальних (рН води, жорсткість, електропровідність, вміст іонів солей) та трофо-сапробіологічних (вміст основних біогенів) показників гідрохімічного режиму здійснено на трьох водосховищах МГЕС на р. Росі, (Богуславське, Стеблівське та Корсунь-Шевченківське). Результати аналізу засвідчили, що

якість води в них можна оцінити як «задовільну» (III клас), 4–5 категорій – «задовільні та посередні (слабко забруднені та помірно забруднені) води». Сапробність води поступово змінюється від β^{III} -мезосапробної (Богуславське) до α^{I} -мезосапробної (Корсунь-Шевченківське) зон, що відповідає водам високої трофності (евтрофні води). Спостерігається значне погіршення якості води (з переходом із II в III клас якості) протягом останніх 5–6 років.

Наявність гідровузла МГЕС не впливає на якість води у водосховищах. Визначальним чинником якості є збільшення вмісту фосфат-іонів, за показниками яких в усіх досліджених водосховищах наприкінці літа спостерігали перевищення нормативів екологічної безпеки у 2,4–2,5 рази. Водосховища, гідровузол яких побудований за дериваційною схемою, характеризувалися кращими показниками якості води.

Література

1. Методика упорядкування водоохоронних зон річок степу і лісостепу. К.: Держводгосп України; УНДІВЕП, 1997. 80 с.
2. Томільцева А.І., Зуб Л.М. Вплив водосховищ малих ГЕС на гідроекологічні особливості річок лісостепової зони України. Гідроенергетика України. 2017. № № 1–2. С. 60–63.
3. Зуб Л.Н., Томільцева А.И. Система экологического мониторинга работы малых ГЭС в свете концепции сохранения биоразнообразия. Мониторинг окружающей среды: сб. мат. II Международной научно-практической конференции, г. Брест, Беларусь, 2013. С. 102–104.
4. Бабій П.О., Вишневський В.І., Шевчук С.А. Річка Рось та її використання. К.: Інтерпрес Лтд, 2016. 128 с.
5. Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними критеріями / В.Д. Романенко, В.М. Жукінський, О.П. Оксіюк, А.В. Яцик та ін. К.: Символ-Т, 1998. 28 с.
6. Водне господарство в Україні / за ред. А.В. Яцика, В.М. Хорева. К.: Генеза, 2000. 640 с.
7. Зуб Л.М., Томільцева А.І., Томченко О.В. Сучасна трансформація водозбірних басейнів лісостепових річок Екологічна безпека та природокористування. 2015. № 3 (19). С. 65–72.
8. Гамалій І.П. Особливості гідробіологічного режиму водних ландшафтно-інженерних систем басейну р. Рось. Географія і геологія. URL: www.rusnauka.com/3_SND_2010/Geographia/58037.doc.htm.
9. Національна доповідь про якість питної води та стан питного водопостачання в Україні у 2004 р. URL: www.irbis-nbu.gov.ua/cgi-bin/irbis64r_81/cgiirbis_64.exe?
10. Хільчевський В.К. та ін. Гідроекологічний стан басейну р. Рось. К.: Ніка-центр, 2009. 116 с.
11. Зуб Л.М., Карпова Г.О. Особливості заростання макрофітами водосховищ малих ГЕС (на прикладі Стеблівського та Корсунь-Шевченківського водосховищ на р. Рось). Наукові записки Тернопільського пед. ун-ту ім. М. Гнатюка. Сер «Біологія». 2015. № № 3–4 (64). С. 259–263.
12. Яцик А.В., Гопчак І.В., Басюк Т.О. Екологічна оцінка якості поверхневих вод річки Рось. Вісник НУВГП. 2013. Вип. 2 (62). Серія «Сільськогосп. науки». С. 79–86.
13. Характеристика якісного стану вод річки Рось протягом серпня 2017 р. Мат. Басейнового управління водних ресурсів р. Рось. URL: <http://buvrrosi.com.ua>.
14. Яцик А.В. Екологічна оцінка якості поверхневих вод р. Рось. Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. 2013. Вип 2 (62). Серія «Сільськогосподарські науки». С. 79–86.