

УДК 581.526.3(574.63:581.133.5)

Л.О. ГОРБАТЮК<sup>1</sup>, О.О. ПАСІЧНА<sup>1</sup>, О.М. АРСАН<sup>1</sup>, Ю.М. СИТНИК<sup>1</sup>,  
М.О. САВЛУЧИНСЬКА<sup>1</sup>, І.Г. КУКЛЯ<sup>1</sup>, Г.Б. ГУМЕНЮК<sup>2</sup>, Н.М. КАГЛЯН<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Інститут гідробіології НАН України  
пр. Героїв Сталінграду, 12, м. Київ, 04210

<sup>2</sup>Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка  
вул. М. Кривоноса, 2, Тернопіль, 46027, Україна

## **ОСОБЛИВОСТІ АКУМУЛЯЦІЇ ФОСФОРУ ГІДРОФІТАМИ ВОДОЙМ В РАЙОНІ БОРТНИЦЬКОЇ СТАНЦІЇ АЕРАЦІЇ (М. КИЇВ)**

Було проведено визначення концентрації  $PO_4^{3-}$  на різних ділянках водойм поблизу скиду очищених стоків Бортницькою станцією аерації. Встановлено вміст загального і неорганічного фосфору в макрофітах досліджуваних ділянок водойм. Показано залежність кількості акумульованого макрофітами фосфору як від ступеня забруднення води, так і від приналежності виду рослин до певної екологічної групи, а також від часу відбору проб.

*Ключові слова: фосфор, фосфати, акумуляція, стічні води, гідрофіти*

Внаслідок природних і антропогенних процесів у водойми України надходить значна кількість фосфоровмісних сполук. За офіційними даними в басейн Дніпра у 2009 р. потрапило 3307 т фосфатів, у 2010 р. – 3054 т, у 2011р. – 2850 т [10, 11]. За інформацією [7] тільки в Кременчуцьке водосховище протягом року надходить біля 1,8-2,4 тис. т мінерального і 4,6-17,5 тис. т органічного фосфору переважно зі стічними водами м. Києва.

Згідно результатів досліджень [3], в розрахунку на кожного мешканця України щодобово у стічні води поступає 1,5-1,8 г фосфору, ефективність вилучення якого на очисних станціях складає лише 10-20%.

Єдиною системою біологічної очистки стічних вод м. Києва є Бортницька станція аерації (БСА). Але, побудована ще в 50-60-х роках ХХ ст., на теперішній час вона технічно застаріла і не спроможна ефективно очищати стічні води від фосфатів [9].

Фосфоровмісні сполуки, надходячи у водні об'єкти, можуть накопичуватись у різних компонентах водних екосистем, зокрема, у донних відкладах та гідробіонтах. Оскільки фотосинтезуючі організми є продукційною основою водної екосистеми і первинною ланкою її трофічного ланцюга, метою роботи було з'ясування особливостей акумуляції фосфору представниками вищих водяних рослин у водоймах, які зазнають значного фосфатного навантаження (на прикладі водних об'єктів району БСА).

### **Матеріал і методи досліджень**

Відбір проб води і водяних рослин проводили у р. Дніпро в районі БСА та у скидному каналі БСА у червні і вересні 2013 р. згідно схеми (рис. 1).

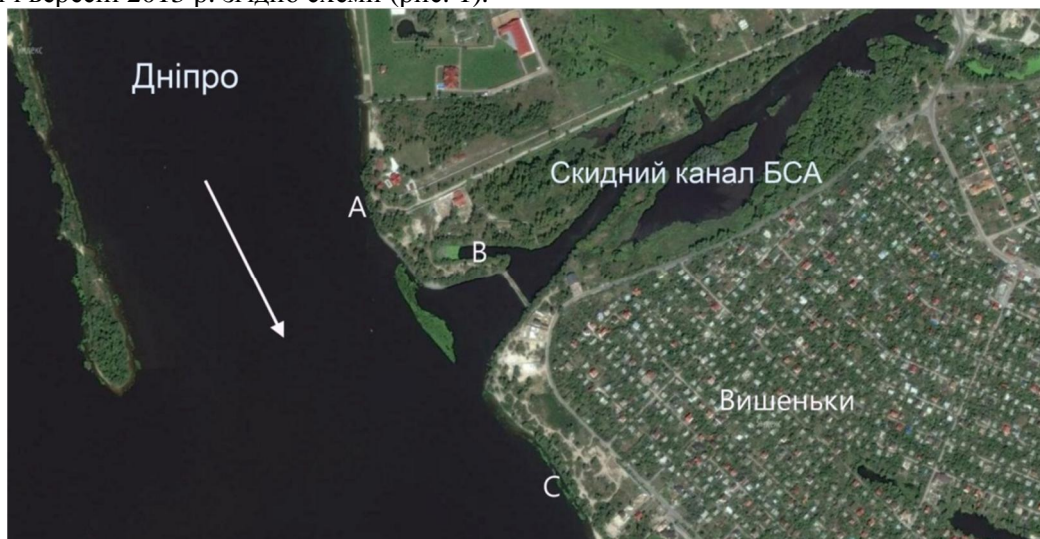


Рис. 1. Карта-схема відбору проб води і макрофітів водойм в районі Бортницької станції аерації (червень-вересень 2013 р.): А – вище скиду у Дніпро 200 м; В – скидний канал БСА; С – нижче скиду у Дніпро 250 м.

Для дослідження використовували воду і водяні рослини, відібрані у скидному каналі, а також на відстані 200 м вище та 250 м нижче скиду води з каналу у Дніпро.

Об'єктами дослідження були такі макрофіти: кушир темно-зелений *Ceratophyllum demersum* L. (стебла і листки), різуха морська *Najas marina* L. (стебла і листки), рдесник пронизанolistий *Potamogeton perfoliatus* L. (листки), водяний горіх *Trapa natans* L. (плаваючі листки), стрілолист *Sagittaria sagittifolia* L. (підводні листки), сусак *Butomus umbellatus* L. листки), латаття жовте *Nuphar lutea* (L.) Smith. (плаваюче надводне листя), їжача голівка *Sparganium sp.* (листки), ряска мала *Lemna minor* L.

Визначення загального фосфору у водяних рослинах проводили фотометрично за методом Деніже в модифікації А. Левицького [1]. Метод ґрунтується на здатності фосфорної кислоти при взаємодії з молібдатом амонію в присутності відновника утворювати забарвлені сполуки.

Вміст неорганічного фосфору у водяних рослинах визначали шляхом екстракції зі свіжого рослинного матеріалу розчином оцтової кислоти з наступним осадженням неорганічних фосфатів з одержаної кислоторозчинної фракції, переведенням їх у розчинну форму і подальшим визначенням колориметричним методом [6].

Визначення концентрації йонів ортофосфату  $PO_4^{3-}$  у воді проводили за гідрохімічною методикою [5].

Отримані результати оброблено статистично.

### Результати досліджень та їх обговорення

В результаті проведених досліджень рівня забруднення фосфором водойм поблизу БСА було встановлено, що, як влітку, так і восени 2013 р., концентрація йонів  $PO_4^{3-}$  у воді р. Дніпро вище скиду з каналу БСА була найменшою, а у воді самого скидного каналу БСА – найвищою і досягала значних величин (рис. 2). Концентрація  $PO_4^{3-}$  у воді Дніпра нижче від місця скиду з каналу БСА була меншою у 2,2 рази влітку і в 2,7 р. восени порівняно з концентрацією у самому каналі, що, очевидно, пов'язано з її розбавленням дніпровською водою. Однак, при цьому вміст фосфатів залишався більшим у 1,64-2,86 рази порівняно з їх концентрацією у воді р. Дніпро вище скиду (див. рис. 2).

Отримані результати свідчать про те, що БСА не повністю очищає стічні води м. Києва від фосфоровмісних сполук. Надійшовши у воду, ці сполуки включаються в біохімічні цикли внутрішньоводоймних процесів і вже практично не полишають водойму. Головний біохімічний шлях засвоєння мінеральних фосфатів водяними рослинами йде через АТФ з включенням їх в реакції вуглеводного обміну і біосинтезу фосфоліпідів [4].

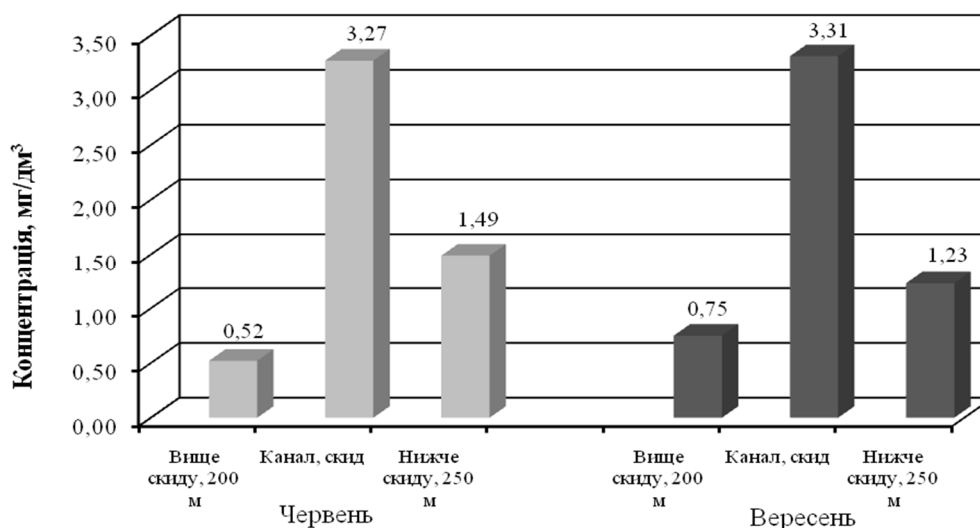


Рис. 2. Концентрація фосфатів у воді водойм в районі Бортницької станції аерації у червні та вересні 2013 р., мг/дм<sup>3</sup>

Встановлено, що вміст загального фосфору у досліджуваних рослинах в червні 2013 р. коливався в межах 3,23-11,09 мг/г сухої маси (таблиця). Найвищим його рівнем відрізнялися рослини скидного каналу БСА: ряска мала та їжача голівка. Це пов'язано зі значним вмістом ортофосфат-йонів у воді (в середньому 3,27 мг PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>/дм<sup>3</sup>) та відсутністю проточності.

Серед рослин, зібраних нижче скиду води БСА влітку 2013 р., більш високим вмістом загального фосфору відрізнялися земноводні рослини (стрілолист і сусак), а також занурені макрофіти (рдесник, кушир, різуха). Менша кількість загального фосфору виявилась у рослин з плаваючим на поверхні води листям (латаття і водяний горіх).

Таблиця

Вміст загального та неорганічного фосфору у водяних рослинах водойм в районі Бортницької станції аерації (БСА) в 2013 р.

№	Назва рослин, дата та місце відбору	Вміст загального фосфору P <sub>з</sub> , мг/г сухої маси	Вміст неорганічного фосфору P <sub>н</sub> , мг/г сухої маси	P <sub>н</sub> / P <sub>з</sub>
	Червень			
	<u>Дніпро вище скиду БСА(200 м)</u>			
1	Латаття жовте (плаваюче надводне листя)	3,23±0,47	0,95±0,18	0,294
2	Водяний горіх (плаваючі листки)	5,02±0,56	0,69±0,13	0,137
	<u>Скидний канал БСА</u>			
3	Ряска мала	11,09±1,34	2,47±0,26	0,220
4	Їжача голівка (листки)	9,74±1,15	2,51±0,31	0,256
	<u>Дніпро нижче скиду БСА (250 м)</u>			
5	Рдесник пронизанолистий (листки)	6,29±0,82	1,84±0,28	0,293
6	Стрілолист (підводні листки)	7,99±0,84	2,25±0,25	0,282
7	Водяний горіх (плаваючі листки)	5,94±0,58	0,86±0,11	0,145
8	Кушир темно-зелений (стебла і листки)	7,51±0,80	1,81±0,23	0,240
9	Різуха морська (стебла і листки)	6,85±0,63	1,93±0,19	0,277
10	Сусак (листки)	8,82±0,89	2,31±0,22	0,262
	Вересень			
	<u>Скидний канал БСА</u>			
11	Латаття жовте (плаваюче надводне листя)	2,97±0,31	0,82±0,09	0,276
	<u>Дніпро нижче скиду БСА (250 м)</u>			
12	Рдесник пронизанолистий (листки)	4,76±0,52	1,20±0,16	0,252
13	Кушир темно-зелений (стебла і листки)	4,91±0,63	1,05±0,11	0,214

У зв'язку з тим, що найбільш біодоступним для рослин є розчинний фосфор у формі йону ортофосфату (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>) [8], також було проведено визначення концентрації неорганічного фосфору в тканинах вищих водяних рослин і аналіз величини співвідношення P неорг./P заг., яка є показником інтенсивності включення неорганічного фосфату у біосинтез фосфорорганічних сполук.

Виявлено, що концентрація неорганічного фосфору у досліджуваних видах рослин досягала максимальних величин у рясці та їжачій голівці зі скидного каналу БСА (див. табл.).

У земноводних та занурених макрофітах Дніпра нижче скиду води БСА кількість неорганічного фосфору, як і загального, була вищою, ніж у рослинах з плаваючим на поверхні води листям.

Слід зазначити, що вміст загального та неорганічного фосфору у плаваючих листках водяного горіха дніпровської ділянки нижче скиду БСА був більшим, ніж у рослинах, зібраних вище скиду, що добре узгоджується з величиною концентрації фосфору у воді (див. рис. 2).

Вміст неорганічного фосфору у макрофітах, зібраних нижче скиду води з БСА у вересні 2013 р., зменшився порівняно з червнем: у куширі темно-зеленому – на 42%, у рдеснику пронизанолистому – на 34%, у лататті жовтому – на 14% (див. табл.).

Встановлено, що величина Р неорг./Р заг. змінювалась у межах від 0,14 до 0,29 (див. табл.). Така частка неорганічного фосфору у рослинах порівняно з загальним пов'язана, очевидно, з тим, що більшість засвоєних рослинами неорганічних фосфатів включається в процеси біосинтезу фосфорорганічних сполук (фосфатидів, фосфопротеїдів, нуклеотидів, фосфорних ефірів цукрів, коферментів вуглеводного, білкового і ліпідного обміну) [2].

### Висновки

У воді р. Дніпро в районі скиду стоків з БСА, як і в самому скидному каналі, міститься значна кількість йонів  $PO_4^{3-}$ , що свідчить про недостатнє очищення стічних вод від фосфатів.

Кількість акумульованого рослинами фосфору залежить як від ступеня забруднення водойми фосфатами, так і від приналежності виду рослин до певної екологічної групи. Зокрема, вміст як загального, так і неорганічного фосфору досягав максимальних величин у рослинах в скидному каналі БСА. Високим вмістом загального та неорганічного фосфору відрізнялися земноводні рослини, а також занурені макрофіти. Менша кількість фосфору виявилась у рослинах з плаваючим на поверхні води листям.

Одержані результати показали, що до кінця літнього сезону вміст як загального так і неорганічного фосфору у водяних макрофітах знижується. Також спостерігається зменшення величини співвідношення неорганічного фосфору до загального, що може бути пов'язано зі зниженням інтенсивності засвоєння неорганічного фосфору рослинними організмами порівняно з початком вегетації.

1. *Агрохімічний аналіз* / М. М. Городній, А. П. Лісовал, А. В. Бикін та ін. / За ред. М. М. Городнього. — К.: Арістей, 2005. — 468 с.
2. *Гродзинский А. М.* Краткий справочник по физиологии растений / А.М. Гродзинский, Д. М. Гродзинский. — Киев: Наукова думка, 1973. — 591 с.
3. *Лузовицька Ю.А.* Винос біогенних елементів із водозбору річки Десни / Ю.А. Лузовицька, Н.М. Осадча, В.І. Осадчий // Наук. праці УкрНДГМ. — 2011. — Вип. 261. — С. 117.
4. *Лукина Л.Ф.* Физиология высших водных растений / Л. Ф. Лукина, Н. Н. Смирнова. — К.: Наукова думка, 1988. — 188 с.
5. *Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод* / О.М. Арсан, О.А. Давидов, Т. М. Дьяченко та ін.; За ред. В. Д. Романенка. НАН України. Ін-т гідробіології. — К.: ЛОГОС, 2006. — 408 с.
6. *Починюк Х. Н.* Методы биохимического анализа растений. — К.: Наукова думка, 1976. — 334 с.
7. *Романенко В.Д.* Основы гидроэкологии. — Киев: Генеза, 2004. — 664 с.
8. *Reynolds C. S.* Sources and bioavailability of phosphorus fractions in freshwaters: a British perspective / C. S. Reynolds, P. S. Davies // *Biological Reviews*. — 2001. — Vol. 76, № 1. — P. 27—64.
9. [http://www.vodokanal.kiev.ua/index.php?option=com\\_content&view=article&id=1725&Itemid=93](http://www.vodokanal.kiev.ua/index.php?option=com_content&view=article&id=1725&Itemid=93)
10. [http://search.ligazakon.ua/1\\_doc2.nsf/link1/NT0333.html](http://search.ligazakon.ua/1_doc2.nsf/link1/NT0333.html)
11. [http://me.kmu.gov.ua/control/uk/publish/printable\\_article?art\\_id=198500](http://me.kmu.gov.ua/control/uk/publish/printable_article?art_id=198500)

*Л. О. Горбатюк, Е. А. Пасичная, О. М. Арсан, Ю. М. Сьтник, М. А. Савлущинская, И.Г. Кукля, Г.Б. Гуменюк, Н.Н. Каглян*

Институт гидробиологии НАН Украины, Киев, Украина

Тернопольский национальный педагогический университет имени Владимира Гнатюка, Украина

### ОСОБЕННОСТИ АККУМУЛЯЦИИ ФОСФОРА ГИДРОФИТАМИ ВОДОЁМОВ В РАЙОНЕ БОРТНИЦКОЙ СТАНЦИИ АЭРАЦИИ (г. КИЕВ)

Определены концентрации ионов  $PO_4^{3-}$  в различных участках водоемов вблизи сброса очищенных стоков Бортницкой станцией аэрации (БСА). Результаты исследований свидетельствуют о недостаточном извлечении фосфатов из сточных вод БСА и попадании значительного их количества в прилегающие водоемы.

Установлено содержание общего и неорганического фосфора в макрофитах исследованных участков водоемов возле БСА. Показана зависимость количества аккумулированного водными макрофитами фосфора как от степени загрязнения воды, так и от принадлежности вида растений к определенной экологической группе, а также от времени отбора проб.

*Ключевые слова: фосфор, фосфаты, аккумуляция, сточные воды, гидрофиты*

*L. O. Gorbatyuk, O. O. Pasichna, O. M. Arsan, Y. M. Sytnik, M. O. Savluchinska, I. G. Kuklya, H.B. Humenuyk, N. M. Kaglyan*

Institute of Hydrobiology National Academy of Science of Ukraine, Kyiv  
Volodymyr Gnatyuk Ternopil National Pedagogical University, Ukraine

#### PECULIARITIES OF PHOSPHORUS ACCUMULATION BY HYDROPHYTES OF WATER RESERVES NEAR BORTNICHY STATION OF AERATION (KYIV)

Concentrations of  $\text{PO}_4^{3-}$  ions in different parts of water reserves near discharge of treated wastewater by Bortnichy station of aeration have been explored. The results of researches have shown insufficient extraction of phosphates from wastewaters and getting their significant amount into adjacent water reserves.

Content of total and inorganic phosphorus in macrophytes of investigated parts of water reserves near BSA has been discovered. Dependence of quantity of accumulated phosphorus by aquatic macrophytes both from degree of contamination of water and from an accessory of a kind of plants to certain ecological bunch, and also from time of samples assembly has been shown.

*Keywords: phosphorus, phosphates, accumulation, wastewater, hydrophytes*

Рекомендує до друку

В.В. Грубінко

Надійшла 18.01.2014