

УДК 581.526.3(574.63:581.133.5)

О. О. Пасічна¹, Л. О. Горбатюк¹, І. Г. Кукля¹,
О. О. Годлевська²

ВПЛИВ ПІДВИЩЕНОЇ КОНЦЕНТРАЦІЇ ФОСФОРУ У ВОДНОМУ СЕРЕДОВИЩІ НА ВМІСТ ХЛОРОФІЛІВ У ЗАНУРЕНИХ МАКРОФІТАХ

Встановлено динаміку вмісту хлорофілів у занурених макрофітах *Najas guadalupensis* (Spreng.) Magnus, *Ceratophyllum demersum* L. і *Myriophyllum spicatum* L. при підвищеній концентрації фосфору у модельному водному середовищі. Показано, що у хронічних дослідах (14 днів) вміст хлорофілів *a* і *b* у *N. guadalupensis* змінюється при менших концентраціях фосфору, ніж у *C. demersum* і *M. spicatum*. Встановлено видову специфіку поглинання фосфору дослідженими вищими водними рослинами залежно від його концентрації у воді.

Ключові слова: фосфор, водне середовище, макрофіти, хлорофіл, поглинання.

Відомо, що вміст фотосинтетичних пігментів у рослинах та його зміни у процесі вегетації залежать від співвідношення багатьох чинників. Ці показники характеризують фізіологічний стан і адаптивні можливості рослин і пов'язані з продукційним процесом і накопиченням біологічно активних речовин [9]. Низкою досліджень (переважно на наземних рослинах) встановлено, що синтез пігментів залежить від умов мінерального живлення, значну роль у якому відіграють сполуки фосфору [11, 15].

У природних умовах було виявлено взаємозв'язок концентрації хлорофілу *a* фітопланктону, вмісту фосфору у воді і співвідношення N/P [2, 5, 6, 14]. Встановлено, що нестача фосфору призводить до пригнічення росту рослин [15]. З іншого боку його надмірне надходження, зокрема внаслідок використання фосфоровмісних мийних засобів, зумовлює евтрофікацію водойм.

Метою роботи було дослідити зміни вмісту хлорофілів *a* і *b* у водних рослинах за підвищеної концентрації фосфору у водному середовищі і встановити особливості його поглинання рослинами залежно від вмісту у воді.

Матеріал і методика досліджень. Об'єктами дослідження були занурені вищі водні рослини *Ceratophyllum demersum* L. — кушир темно-зелений, *Myriophyllum spicatum* L. — водопериця колосиста і *Najas guadalupensis* (Spreng.) Magnus — різуха гваделупська. Перші два види були відібрані з

© О. О. Пасічна, Л. О. Горбатюк, І. Г. Кукля, О. О. Годлевська, 2016

природних водойм (р. Дніпро, 250 м нижче скиду Бортницької станції аерації) і адаптовані у лабораторних умовах протягом 14 діб. Наяда культивувалась в лабораторії, оскільки в Україні цей вид у природі не зустрічається.

Перед початком досліду в акваріуми була залита відстояна протягом п'яти діб водопровідна вода наступного складу: вміст неорганічних фосфатів — 0,04—0,07 мг Р/дм³, нітратів — 0,8—1,0 мг N/дм³, розчиненого кисню — 10,1—12,4 мг/дм³, кальцію — 48,1—60,1 мг/дм³, твердість — 3,9—4,2 мг екв/дм³. Об'єм води в акваріумі становив 3 дм³, маса рослин — 14 г. Впродовж експерименту акваріуми перебували в умовах природного освітлення (10000—15000 лк), середньодобова температура води становила 23—25°C, рН — 8,8—9,3. Втрати води на транспірацію та випаровування компенсовувались.

Досліджували вплив фосфору у концентрації 0,35, 0,70, 1,0, 2,0, 5,0 і 10 мг Р/дм³, що відповідає реальним показникам на виході з очисних споруд, зокрема Бортницької станції аерації (м. Київ) [13]. Задані концентрації створювали розчиненням у воді дослідних акваріумів безводної солі Na₂HPO₄. Тривалість експериментів з *N. guadalupensis* становила 4 і 14 діб (тобто проводили як гострі, так і хронічні досліди), в з *C. demersum* і *M. spicatum* — 14 діб. Контролем слугували макрофіти, витримані в ідентичних умовах без додавання фосфатів.

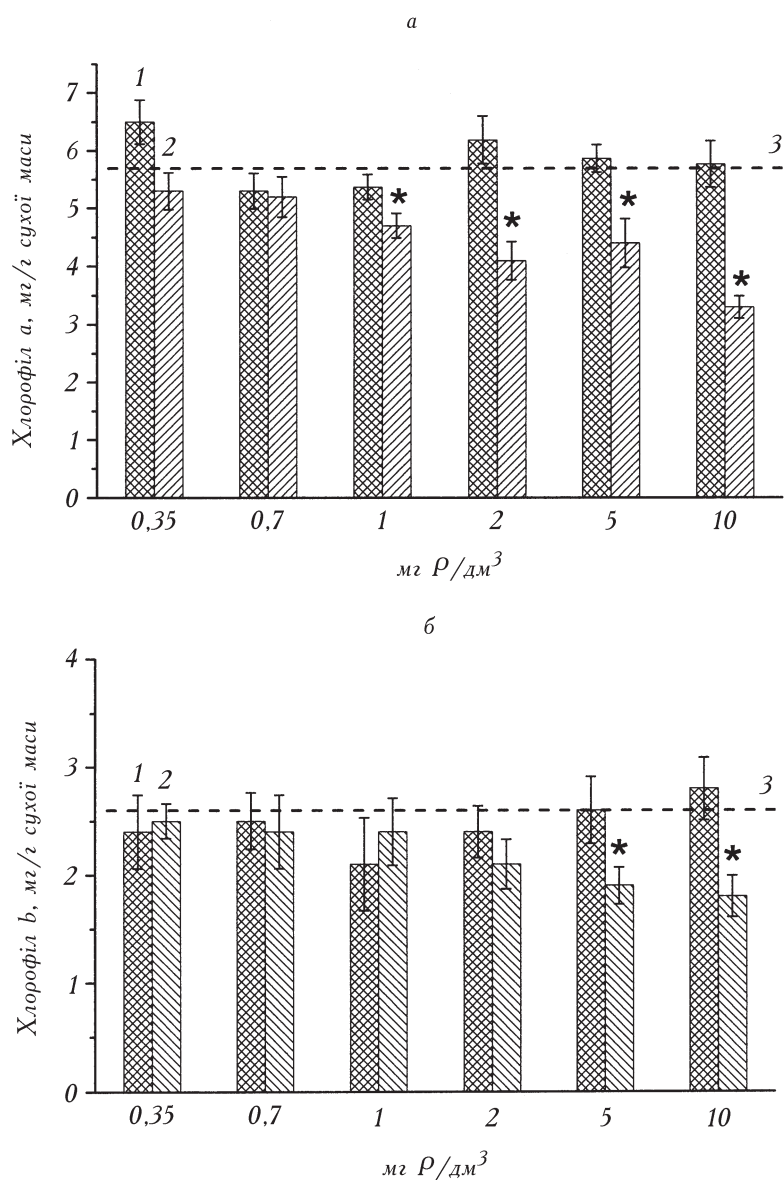
Хлорофіли екстрагували 96%-ним етиловим спиртом з наступним визначенням оптичної густини одержаних екстрактів спектрофотометричним методом і розраховували в мг на 1 г сухої маси [8]. Суху масу визначали після висушування рослинного матеріалу до сталого значення при температурі 105°C.

Для встановлення вмісту загального фосфору (Р_{ЗАГ}) після закінчення експозиції проводили мокре озолення рослинного матеріалу сумішшю концентрованих азотної та сірчаної кислот при нагріванні. Вимірювання проводили за методом Деніже в модифікації А. Левицького [1] і розраховували в мг на 1 г сухої маси. Концентрацію PO₄³⁻ у воді у процесі експерименту визначали відповідно до методики [7]. Досліди проведено у трьох — чотирьох повторностях. Одержані дані оброблено статистично з використанням спеціальних комп'ютерних програм.

Результати досліджень та їх обговорення

Результати досліджень показали, що через чотири доби за концентрації фосфору у воді від 0,35 до 10 мг Р/дм³ вміст хлорофілів *a* і *b* у *N. guadalupensis* порівняно з контрольним варіантом вірогідно не змінився (рис. 1).

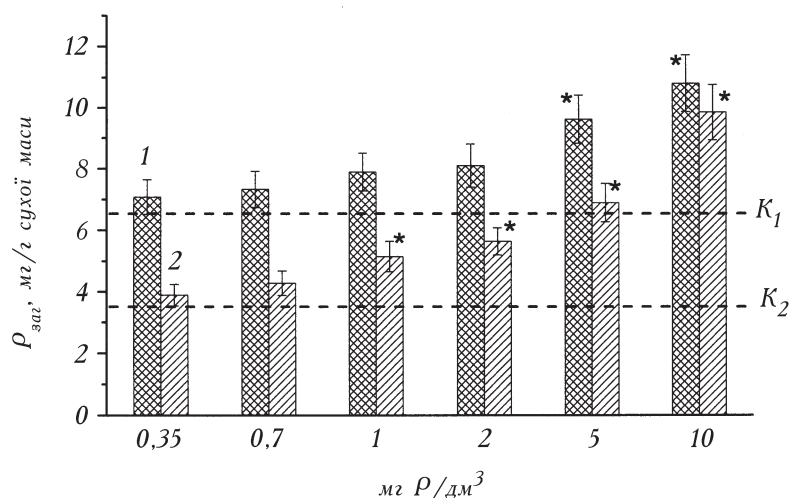
Вплив фосфору у концентрації від 1 до 10 мг Р/дм³ протягом 14 діб призвів у цього виду до зменшення вмісту хлорофілу *a* порівняно з контролем (на 18% при 1 мг Р/дм³ і 42% при 10 мг Р/дм³) і четвертою добою досліджень. Вміст хлорофілу *b* за цей час вірогідно знизився на 28—31% порівняно з контролем за дії концентрації 5 і 10 мг Р/дм³ (див. рис. 1).



1. Вміст хлорофілу *a* (а) і *b* (б) у *Najas guadalupensis* за дії підвищеної концентрації фосфору. 1 — 4-а доба, 2 — 14-а доба; 3 — контроль. Тут і на рис. 2—4: $M \pm m$; * $p \geq 0,95$.

За впливу 0,35—10 мг Р/дм³ вміст загального фосфору в тканинах *N. guadalupensis* за перші чотири доби зріс у 1,1—1,6 разу порівняно з контролем, очевидно, внаслідок його активного поглинання, а на 14-у добу помітно знизився (рис. 2). Виділення рослинами фосфору в оточуюче середовище пов'язують з виникненням у ньому несприятливих умов [3].

Таким чином, зменшення вмісту хлорофілів у *N. guadalupensis* через 14 діб зумовлено, очевидно, зміною умов навколишнього середовища, а саме порушенням балансу біогенних елементів, зокрема азоту і фосфору, які



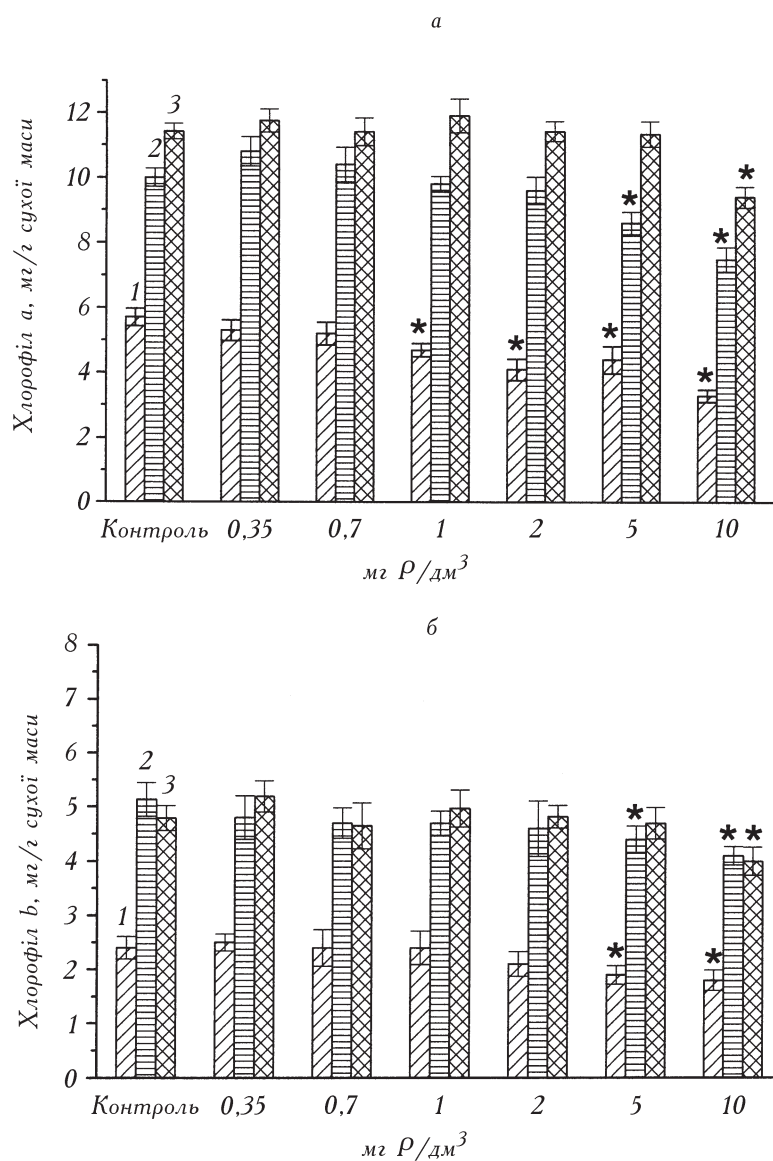
2. Вміст загального фосфору у *Najas guadalupensis* при його різних концентраціях у водному середовищі. 1 — 4-а доба; 2 — 14-а доба; K_1 — контроль на 4-у добу; K_2 — контроль на 14-у добу.

відіграють важливу роль у синтезі пігментів і функціонуванні фотосинтетичної системи рослин [10, 11]. Так, концентрація фосфору у водному середовищі була підвищеною (до 10 мг P/дм³), водночас концентрація азоту залишалась незмінною, що призвело до значного зменшення відношення N/P порівняно з контрольним варіантом. Такий висновок співпадає з результатами робіт, в яких показано, що нестача азоту при високій концентрації фосфатів може обмежувати розвиток фітопланктону в евтрофованих водах [6, 12]. Встановлено також [4], що вміст розчиненого неорганічного фосфору у воді евтрофних дніпровських водосховищ понад 0,4 мг/дм³ пригнічує розвиток фітопланктону і знижує інтенсивність його фотосинтезу внаслідок дефіциту азоту.

Зі значним пониженням відношення N/P, очевидно, пов'язано і зменшення вмісту хлорофілів *a* (на 14—25% порівняно з контролем) і *b* (на 12—21%) у *S. demersum* через 14 діб за дії 5—10 мг P/дм³ (рис. 3). Слід зазначити, що у *M. spicatum* зменшення вмісту хлорофілів відмічено лише за впливу концентрації 10 мг P/дм³. Очевидно, що серед досліджуваних рослин пігментна система *M. spicatum* є найбільш стійкою до дії високих концентрацій фосфору.

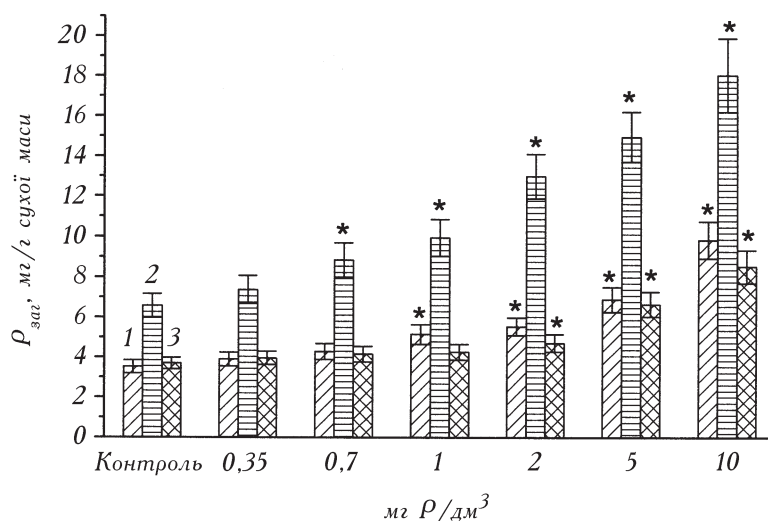
Видова специфіка поглинання фосфору макрофітами зумовлена, очевидно, як фізіологічними, так і морфологічними особливостями рослин (площею питомої поверхні, товщиною клітинних стінок тощо). Так, за максимальної дослідженої концентрації (10 мг P/дм³) вміст загального фосфору зріс у *S. demersum* у 2,7 разу, *M. spicatum* — у 2,3 разу, *N. guadalupensis* — у 2,8 разу порівняно з контрольним (рис. 4).

Таким чином, серед досліджених рослин *N. guadalupensis* виявилась найбільш чутливою до підвищення концентрації фосфору у водному середовищі, що підтверджується зниженням вмісту хлорофілів *a* і *b* у хронічних дослідках (14 діб) при нижчих концентраціях фосфору (від 1 мг P/дм³), ніж у



3. Вміст хлорофілу а (а) і б (б) у *Najas guadalupensis* (1), *Ceratophyllum demersum* (2) і *Myriophyllum spicatum* (3) на 14-у добу експерименту за підвищеної концентрації фосфору.

C. demersum (від 5 мг P/дм³) і *M. spicatum* (10 мг P/дм³). Очевидно, це пов'язано з тим, що *N. guadalupensis* в Україні вегетує лише в лабораторних умовах при відносно стабільному хімічному складі водного середовища. Інші досліджені види (*C. demersum* і *M. spicatum*) були відібрані з природних водойм (р. Дніпро, 250 м нижче скиду Бортницької станції аерації), де вже підлягали впливу несприятливих чинників, зокрема коливання вмісту біогенних елементів, і тому, незважаючи на акламацію в лабораторних умовах, зберегли адаптивні механізми щодо змін концентрації азоту і фосфору.



4. Вміст загального фосфору у *Najas guadalupensis* (1), *Ceratophyllum demersum* (2) і *Myriophyllum spicatum* (3) на 14-у добу експерименту за підвищеної концентрації фосфору.

Заклучення

Вплив підвищених концентрацій фосфору у водному середовищі на водні рослини є видоспецифічним. Так, серед досліджених видів пігментна система *Myriophyllum spicatum* виявилась найбільш стійкою до цього чинника, а *Najas guadalupensis* — найбільш чутливою. Це підтверджується зниженням вмісту хлорофілів *a* і *b* у *Najas guadalupensis* при концентрації від 1 мг Р/дм³, у *Ceratophyllum demersum* — від 5 мг Р/дм³, а у *Myriophyllum spicatum* — лише за 10 мг Р/дм³.

Видова специфіка поглинання фосфору, очевидно, зумовлена як фізіологічними і морфологічними особливостями рослин, так і початковим вмістом фосфору у їх тканинах. Серед досліджених видів найбільшу кількість фосфору накопичував *Ceratophyllum demersum*.

**

Установлена динаміка содержания хлорофиллов у погруженных макрофитов *Najas guadalupensis*, *Ceratophyllum demersum* и *Myriophyllum spicatum* при повышенной концентрации фосфора в модельной водной среде. В хронических опытах (14 сут) показано, что содержание хлорофиллов *a* и *b* у *N. guadalupensis* изменяется при более низкой концентрации фосфора (от 1 мг/дм³), чем у *C. demersum* (от 5 мг Р/дм³) и *M. spicatum* (10 мг Р/дм³). Обнаружена видовая специфика поглощения фосфора высшими водными растениями в зависимости от его концентрации в воде.

**

*Dynamic of chlorophylls content in the submerged macrophytes *Najas guadalupensis*, *Ceratophyllum demersum* and *Myriophyllum spicatum* under elevated concentration of phosphorus in the model aquatic medium was studied. It has been found that in chronic experiments (14 days) content of chlorophylls in *N. guadalupensis* decreased under lesser*

concentration of phosphorus (from 1 mg P/dm³) as compared with *C. demersum* (from 5 mg P/dm³) and *M. spicatum* (10 mg P/dm³). Species specificity of phosphorus absorption by the plants depending on its concentration in water has been revealed.

**

1. Агрохімічний аналіз / За ред. М. М. Городнього. — К.: Арістей, 2005. — 468 с.
2. Бульон В.В. Реконструкція фосфорного бюджету двох різнотипних озер Карелії // Гідробіол. журн. — 1995. — Т. 31, № 6. — С. 3—14.
3. Дмитриева Н.Г., Эйнон Л.О. Роль макрофітів в превращеннях фосфора в воді // Вод. ресурси. — 1985. — № 5. — С. 101—110.
4. Курейшевич А.В. Отклик фитопланктона евтрофных водохранилищ на увеличение содержания в воде фосфора и азота // Гидробиол. журн. — 2005. — Т. 41, № 4. — С. 3—24.
5. Курейшевич А.В., Журавлева Л.А. Связь между содержанием хлорофилла *a* и концентрацией биогенных веществ в воде Днепровских водохранилищ // Там же. — 1997. — Т. 33, № 1. — С. 75—82.
6. Курейшевич А.В., Мегведь В.А. Оценка соотношения между содержанием хлорофилла *a* и фосфора в воде Днепровских водохранилищ // Там же. — 2006. — Т. 42, № 1. — С. 35—46.
7. Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод / За ред. В. Д. Романенка. — К.: ЛОГОС, 2006. — 408 с.
8. Мусієнко М.М., Паршикова Т.В., Славний П.С. Спектрофотометричні методи в практиці фізіології, біохімії та екології рослин. — К.: Фітосоціоцентр, 2001. — 200 с.
9. Сытников Д.М., Бабенко Л.М., Щербатюк Н.Н. Структура и физиологическое состояние фотосинтетического аппарата *Equisetum arvense* L. // Modern Phytomorphology. — 2014. — № 5. — С. 215—219.
10. Bojovic B., Markovic A. Variability of the leaf of *Triticum aestivum* L. under conditions of different soil fertilization // Arch. Biol. Sci. Belgrade. — 2007. — Vol. 59, N 2. — P. 29—30.
11. Bojovic B., Stojanovic J. Some wheat leaf characteristics in dependence of fertilization // Kragujevac J. Sci. — 2006. — Vol. 28. — P. 139—146.
12. Fareed A. K., Abid A. A. Eutrophication: an ecological vision // Botan. Rev. — 2005. — Vol. 71, N 4. — P. 449—482.
13. http://www.vodokanal.kiev.ua/index.php?option=com_content&view=article&id=1725&Itemid=93
14. Moore C.M., Mill M.M., Langlois R. et al. Relative influence of nitrogen and phosphorus availability on phytoplankton physiology and productivity in the oligotrophic sub-tropical North Atlantic Ocean // Limnol. Oceanogr. — 2008. — Vol. 53, N 1. — P. 291—305.
15. Wu C., Fan Z., Wang Z. Effect of phosphorus stress on chlorophyll biosynthesis, photosynthesis and biomass partitioning pattern of *Fraxinus mandchurica* seedlings // Ying Yong Sheng Tai Xue Bao. — 2004. — Vol. 15, N 6. — P. 935—940.

¹ Інститут гідробіології НАН України, Київ

² Національний університет біоресурсів і природокористування України, Київ

Надійшла 17.03.16