

ЕКОЛОГІЧНА ФІЗІОЛОГІЯ І БІОХІМІЯ ВОДНИХ РОСЛИН

УДК 574.24/57.084.1

О.П. ОЛЬХОВИЧ, к. б. н., доц., доц.,
ННЦ Інститут біології та медицини,
Київський національний університет ім. Т. Шевченка,
вул. Володимирська, 64/13, Київ, 01601, Україна,
e-mail: oolga2005@ukr.net
ORCID 0000-0002-7314-7631

С.В. ГРЕЧИШКІНА, аспірантка,
ННЦ Інститут біології та медицини,
Київський національний університет ім. Т. Шевченка,
вул. Володимирська, 64/13, Київ, 01601, Україна,
e-mail: svetlanagrechishkina@gmail.com
ORCID 0000-0002-6485-2101

О.О. ПАНЮТА, к. б. н., доц., доц.,
ННЦ Інститут біології та медицини,
Київський національний університет ім. Т. Шевченка,
вул. Володимирська, 64/13, Київ, 01601, Україна,
e-mail: panyuta@ukr.net
ORCID 0000-0001-9847-8990

Н.Ю. ТАРАН, д. б. н., проф., завідувач кафедри,
ННЦ Інститут біології та медицини,
Київський національний університет ім. Т. Шевченка,
вул. Володимирська, 64/13, Київ, 01601, Україна,
e-mail: ny_taran@ukr.net
ORCID 0000-0002-8669-5899

Р.В. ІВАННІКОВ, д. б. н., пров. наук. співроб.,
Національний ботанічний сад ім. М.М. Гришка НАН України,
вул. Тимірязівська, 1, Київ, 01014, Україна,
e-mail: namor.iv22@gmail.com
ORCID 0000-0001-5917-2980

ВТОРИННІ МЕТАБОЛІТИ ПЛЕЙСТОФІТІВ ЯК МАРКЕРИ СТІЙКОСТІ ДО НАНОЧАСТОК МЕТАЛІВ

Досліджено вплив суміші колоїдних наночастинок металів (Mn, Cu, Zn, Ag) на вміст терпеноїдів, фенольних сполук, хлорофілів та каротиноїдів трьох видів плейстофітів (*Limnobium laevigatum* (Humb. & Bonpl. ex Willd.), *Pistia stratiotes* L. та *Salvinia natans* (L.) All.), обраних в якості потенційних фітореомедіантів водного середовища. Виявлено, що вміст фенольних сполук і терпеноїдів суттєво (на 26 % та 25 %) зменшився лише у *L. laevigatum*, а вміст каротиноїдів та хлорофілів — лише у *S. natans* (на 31 % та 52 %), що свідчить про особливості метаболізму у цих видів під час

Ц и т у в а н н я: Ольхович О.П., Гречишкіна С.В., Панюта О.О., Таран Н.Ю., Іванніков Р.В. Вторинні метаболіти плейстофітів як маркери стійкості до наночастинок металів. *Гідробіол. журн.* 2021. Т. 57. № 6. С. 48—56.

репараційних процесів. Стійкість за всіма досліджуваними показниками виявлена лише у *Pistia stratiotes*, тому саме її можна рекомендувати як рослину-ремедіант по відношенню до колоїдних розчинів наночасток металів.

Ключові слова: наночастки металів, плейстофіти, фіторемерація водоєм, терпеноїди, фенольні сполуки, каротиноїди, хлорофіли.

Останнім часом у наукових доповідях щодо глобальних екологічних ризиків все частіше піднімаються питання про загрози, які можуть бути спричинені широким використанням наноматеріалів. Стрімке впровадження досягнень нанотехнологій здійснюється без урахування впливу наночасток металів антропогенного походження на живі організми та природні екосистеми, у тому числі водні.

Водні рослини не однаково реагують на високий вміст металів у середовищі. Є види, які завдяки особливостям метаболізму мають переваги у стійкості по відношенню до токсичного впливу металів і здатні вилучати їх із водного середовища [4, 5, 11, 18]. Такі рослини сьогодні ретельно досліджують з метою використання в якості фіторемерацій водного середовища до нанорозмірних форм металів. За багаторічними дослідженнями [6, 7, 14, 15, 21, 23], перспективними в цьому плані є плейстофіти — рослини, метаболізм яких може швидко перебудовуватись у разі зміни чинників середовища.

Особливими речовинами вторинного метаболізму вищих водних рослин, які не мають аналогів за різноманітністю структурних типів і біологічної ролі в регуляції процесів життєдіяльності цих організмів, є терпеноїди та фенольні сполуки. Терпеноїди задіяні в найважливіших процесах обміну, беруть участь у фотохімічних реакціях та процесах трансформації енергії, регуляції проникності мембран, в біосинтезі різних речовин та захисних реакціях рослини, вони знижують рівень активних форм кисню, рівень пошкоджень ДНК і протеїнів у клітинах, задіяні в механізмах, які сприяють усуненню механічних ушкоджень [3, 9, 16, 17, 20]. Водночас, фенольні сполуки рослин, завдяки наявності гідроксильних і карбоксильних груп, здатні зв'язувати іони важких металів у нестійкі комплекси — хелати, тим самим знижуючи їхню токсичність, та зменшувати ризик окисних пошкоджень клітин за рахунок зниження кількості активних форм кисню [8]. Встановлено, що рослини, які здатні до гіперакумуляції іонів металів, мають підвищений вміст фенолів [1, 19]. Ці властивості можуть виявитися цікавими по відношенню і до наночасток металів.

Метою роботи було з'ясування кількісних змін у вмісті вторинних метаболітів у плейстофітів за впливу наночасток металів для оцінки придатності їх для фіторемерації водоєм.

Матеріал і методика досліджень

Матеріалом дослідження слугували три види водних рослин, які вільно плавають на поверхні води (плейстофітів) — *Limnobium laevigatum*

(Humb. & Bonpl.ex Willd.) Heine, *Pistia stratiotes* L. та *Salvinia natans* (L.) All.

Культури досліджуваних рослин вирощували в акваріумах місткістю 80—100 дм³ на відстояній водогінній воді за оптимальних умов: освітлення 5000—6000 лк, період освітлення — 16 год, температура води 18—25 °С, рН 6—8.

В експерименті використано колоїдні розчини наночасток металів, які були отримані на кафедрі технології конструкційних матеріалів і матеріалознавства НУБіП України способом диспергування гранул металів імпульсами електричного струму з амплітудою 100—2000 А у воді [13]. Максимальний розмір отриманих наночасток не перевищував 100 нм.

Дослідні рослини, масою 2 г, поміщали у скляні посудини об'ємом 0,5 дм³, заповнені сумішшю колоїдних розчинів наночасток металів і витримували впродовж 14 діб за тих самих умов освітлення і температури, що і під час вирощування. Маточні розчини наночасток металів (Mn — 0,75 мг/дм³, Cu — 0,37, Zn — 0,44, Ag + Ag₂O — 0,75 мг/дм³) розводили у 200 разів відстояною водогінною водою. На 14-ту добу визначали вміст вторинних метаболітів (фенольних сполук, терпеноїдів, хлорофілів (*a* і *b*) та каротиноїдів).

Для визначення вмісту вторинних метаболітів, а саме: фенольних сполук, терпеноїдів, хлорофілів та каротиноїдів, 2 г сирової маси рослини заморожували при температурі —20 °С, потім ретельно розтирали і заливали метанолом з розрахунку 10 см³ на 1 г сировини. Екстракцію проводили методом мацерації протягом 24 год [12]. Вміст досліджуваних вторинних метаболітів визначали методом вискоєфективної рідинної хроматографії на приладі Agilent 1100. Розділення проводили на колонці Poroshell 120 EC-C18 2,1×150 мм. Ідентифікацію речовин здійснювали за допомогою діодно-матричного детектора при довжині хвиль 206, 254, 300, 350 і 450 нм.

Для зручності інтерпретації результатів досліджень всі значення за досліджуваними показниками було переведено у відсотки. Відсотковий вміст розраховували за площами піків без використання поправочних коефіцієнтів. За 100 % було прийнято найбільшу кількість певної досліджуваної сполуки із усіх досліджуваних зразків. Статистичну обробку результатів досліджень проводили за допомогою програми Microsoft Office Excel, вони вважались достовірними (*t*-критерій Стьюдента) за рівня значущості $p \leq 0,05$.

Результати досліджень та їх обговорення

Наявність аналітично значущих кількостей досліджуваних сполук (фенолів, терпеноїдів, каротиноїдів і хлорофілів) виявлено у всіх досліджуваних рослин (рис. 1—3).

Із трьох досліджуваних видів найбільший вміст фенольних сполук і терпеноїдів виявився у контрольному зразку *L. laevigatum*, каротиноїдів — у контрольному зразку *P. stratiotes*, хлорофілу *a* — у *S. natans*, а хлорофілу *b* — у дослідному зразку *P. stratiotes*.

Відмінності у накопиченні в контрольних зразках та початковому вмісті у рослинах досліджуваних вторинних метаболітів між представниками різних видів досліджуваних плейстофітів суттєво відрізнялись. Так, вміст фенольних сполук у контрольних зразках у *P. stratiotes* і *S. natans* був значно нижчим, ніж у *L. laevigatum*. Наночастки металів не спричиняли у *P. stratiotes* будь-яких змін за цим показником, в той час як у інших видів спостерігалось зменшення зазначених метаболітів. Так, вміст фенольних сполук за впливу наночастинок металів у *P. stratiotes* залишався на рівні контролю, а у *S. natans* та *L. laevigatum* — зменшився, відповідно, на 3,4 та 26 % (див. рис. 1).

Варто зазначити, що *P. stratiotes* та *S. natans* мають пріоритетність як рослини-ремедіанти порівняно з *L. laevigatum*, оскільки фенольні сполуки рослин є свого роду модуляторами процесів росту і розвитку рослин, спричинюючи при цьому як стимулюючий, так і інгібуючий вплив, також вони можуть забезпечувати індукцію апоптоз-подібних процесів [2, 17, 22].

Відомо, що практично всі фенольні сполуки відіграють важливу роль у захисних реакціях рослин. Встановлено, що рослинні клітини реагують на пошкодження підвищенням активності фенілаланінаміакліази, 4-гідроксилази транс-коричної кислоти, пероксидази та інших ензимів. Це супроводжується швидким новоутворенням фенольних сполук. Зв'язуючись з целюлозами та геміцелюлозами клітинних стінок, лігнін і оксикоричні кислоти сприяють їхньому зміцненню і таким чином перешкоджають проникненню чужорідних речовин, ймовірно і наночастинок металів, а також неконтрольованій втраті води. Відмічають, що посилення процесів лігніфікації є однією із стратегій метаболічної адаптації рослини до дії стресових чинників різної природи. Фенольні сполуки також входять до складу β -інгібіторного комплексу, який відповідає за фізіологічний спокій рослин, під час якого організм є більш стійким до ушкоджуючих впливів [9, 16, 22].

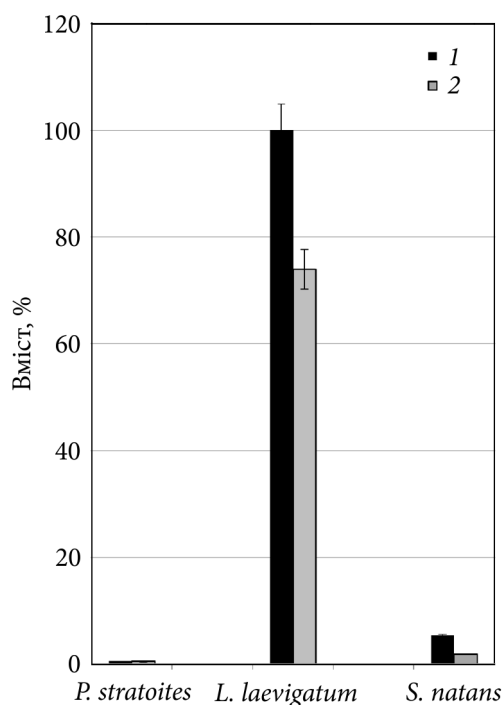


Рис. 1. Вміст фенольних сполук у плейстофітів за впливу суміші колоїдних наночастинок металів (Mn, Cu, Zn, Ag) на 14-ту добу. Тут і на рис. 2: 1 — контроль; 2 — дослід

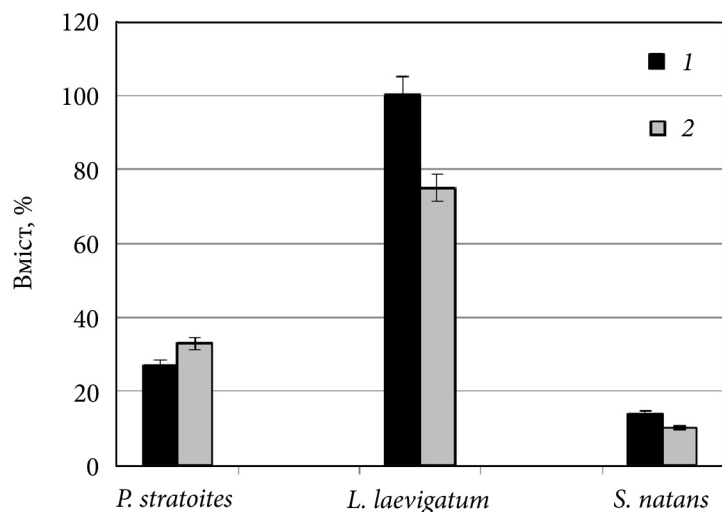


Рис. 2. Вміст терпеноїдів у плейстофітів за впливу суміші колоїдних наночасток металів (Mn, Cu, Zn, Ag) на 14-ту добу

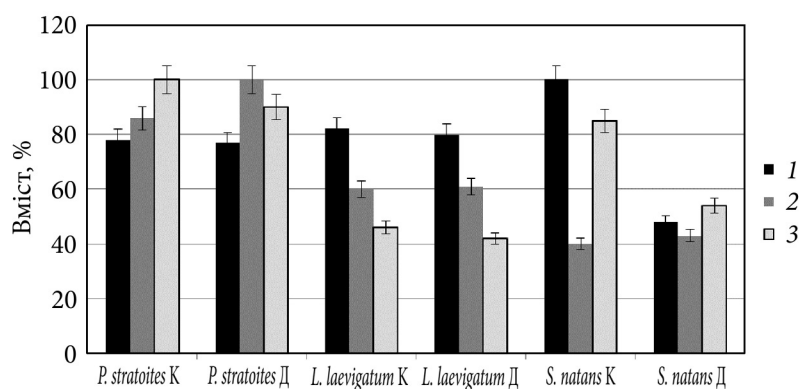


Рис. 3. Вміст фотосинтетичних пігментів у плейстофітів за впливу суміші колоїдних наночасток металів (Mn, Cu, Zn, Ag) на 14-ту добу: К — контроль, Д — дослід. 1 — хлорофіл а; 2 — хлорофіл б; 3 — каротиноїди

Серед захисних функцій фенольних сполук виділяють і фотопротекторну роль. Вважають, що фенольні сполуки знижують ризик фотоокисного пошкодження клітин за рахунок зменшення кількості активних форм кисню [9]. Відомо, що фенольні сполуки відіграють важливу роль в окисно-відновних реакціях, як компоненти електрон-транспортних ланцюгів дихання і фотосинтезу (убі-, філло- і пластохінон) [16, 17, 22].

Вміст терпеноїдів у контрольних зразках був найбільшим у *L. laevigatum*, в 3,7 раза меншим — у *P. stratoites* і в 7 разів меншим — у *S. natans* (див. рис. 2). Високий початковий вміст терпеноїдів у *L. laevigatum* може

опосередковано вказувати на високий потенціал стійкості цієї рослини до різних чинників середовища, в тому числі і до наночасток металів, оскільки терпеноїди вважають сильними антиоксидантами і стимуляторами захисних систем клітини і організму. Вони знижують рівень активних форм кисню, рівень пошкоджень ДНК і протеїнів у клітинах, крім того, вони можуть впливати на механізми, які сприяють усуненню подібних ушкоджень [3, 16, 17].

За дії наночасток металів на 14-ту добу вміст терпеноїдів збільшився у *P. stratiotes* (на 6 %), зменшився — у *L. laevigatum* (на 25 %) і залишився без змін — у *S. natans*.

Загальновідомо, що терпеноїди є активними учасниками обмінних процесів, які протікають у рослинах, беруть участь у біосинтезі вуглеводів, гліколіпідів і глікопротеїнів, регулюють активність генів рослин, беруть участь у фотохімічних реакціях та процесах трансформації енергії (убіхінон, пластохінон), в регуляції стабільності мембран, а їхні вуглецеві ланцюги є ключовими проміжними продуктами в біосинтезі необхідних для росту і розвитку рослин фітогормонів — гібереліну, абсцизової кислоти та цитокінінів, ферментів, вітамінів тощо [20], тому зниження їхнього загального вмісту у *L. laevigatum* на 25 % є свідченням значного пошкодження рослини. Отже, незважаючи на високий початковий вміст терпеноїдів у цій рослині, використання її як фіторемедіанта вод, забруднених наночастками металів, є сумнівним.

Зниження вмісту у *S. natans* фотосинтетичних пігментів — каротиноїдів — на 31 % і хлорофілу *a* — на 52 % за тривалого впливу наночасток металів (14 діб) свідчить про зниження фотосинтетичної здатності та пригнічення життєвості цієї рослини, оскільки інтенсивність фотосинтезу прямолінійно пов'язана із вмістом хлорофілу, до складу якого входить С20-терпеноїд — фітол і каротиноїдів, які належать до терпеноїдів (див. рис. 3).

На сьогодні в плані захисних систем рослинних організмів серед терпеноїдів заслуговують уваги саме каротиноїди, які одночасно є фотосинтетичними пігментами. Молекули терпеноїдів відрізняються від інших вторинних сполук метаболізму підвищеною лабільністю, здатністю до ізомерації, циклізації і полімеризації, причому ізомеризація і трансформація можуть здійснюватися за звичайних умов (під дією природного світла, кисню повітря, водяної пари тощо). Вважають, що легкість перегрупування вуглецевого скелета терпеноїдів і швидкість модифікації новоутворених сполук сприяє прискоренню захисних реакцій і репараційних процесів [17].

У *P. stratiotes* не було виявлено різкого зниження вмісту хлорофілів і каротиноїдів за впливу наночасток металів, що, на нашу думку, може бути проявом захисної дії фенольних сполук, вміст яких у цієї рослини залишався сталим. У *S. natans*, як вже було відмічено раніше, протекторного впливу фенольних сполук на пігментну систему не спостерігалось.

За впливу наночасток металів на досліджувані рослини впродовж 14 діб виявлено наступні зміни показників по відношенню до контролю:

вміст фенольних сполук у *L. laevigatum* знизився на 26 %, а у *P. stratiotes* та *S. natans* — не змінився; вміст терпеноїдів у *P. stratiotes* збільшився на 6 %, у *L. laevigatum* — зменшився на 25 %, а у *S. natans* — на 4,4 %; вміст каротиноїдів у *P. stratiotes* зменшився на 10 %, у *S. natans* — на 31 %, а у *L. laevigatum* — не змінився; вміст хлорофілу *a* у *P. stratiotes* та у *L. laevigatum* не змінився, у *S. natans* — знизився на 52 %; вміст хлорофілу *b* у *P. stratiotes* збільшився на 14 %, а у *L. laevigatum* і *S. natans* — не змінився.

Аналіз результатів досліджень дозволив оцінити вразливість досліджуваних видів плейстофітів до наночасток металів за кількісними змінами вмісту вторинних метаболітів, а саме — терпеноїдів, фенольних сполук та пігментів. Найбільш уразливим виявився *L. laevigatum*, у якого вміст фенольних сполук знизився на 26 %, а терпеноїдів — на 25 %. Деяко іншою була реакція *S. natans*, у якої вміст фенольних сполук і терпеноїдів залишився на рівні контролю, однак негативний вплив проявився у зниженні вмісту пігментів: хлорофілу *a* — на 52 % та каротиноїдів — на 31 %, при цьому вміст хлорофілу *b* не змінився. У *P. stratiotes* за всіма досліджуваними показниками вплив наночасток виявився найменшим.

Висновки

Встановлено, що за впливу наночасток металів у досліджуваних видів рослин відбувались певні зміни метаболізму. Зокрема, у *L. laevigatum* суттєво зменшився вміст фенольних сполук (на 26 %) і терпеноїдів (на 25 %), а у *S. natans* — фотосинтетичних пігментів (каротиноїдів — на 31 % і хлорофілу *a* — на 52 %), що свідчить про серйозні порушення в метаболізмі цих рослин.

Сталий вміст усіх досліджуваних вторинних метаболітів (фенольних сполук, терпеноїдів, хлорофілів, каротиноїдів) за дії колоїдних наночасток металів серед досліджуваних видів спостерігався лише у *P. stratiotes*, тому саме її можна рекомендувати як рослину-ремедіант.

Виявлення відмінностей у початковому вмісті вторинних метаболітів у контрольних зразках та їхні зміни за дії колоїдних наночасток металів у різних видів водних макрофітів сприятиме відбору найстійкіших рослин для застосування їх у фіторемерації водойм.

Список використаної літератури

1. Azqueta A., Shaposhnikov S., Collins A.R. DNA oxidation: investigating its key role in environmental mutagenesis with the comet assay. *Mutat. Res. Genet. Toxicol Environ. Mutagen.* 2009. Vol. 674. P. 101—108.
2. Cheynier V., Comte G., Davies K. et al. Plant phenolics: recent advances on their biosynthesis, genetics, and ecophysiology. *Plant Physiol. Biochem.* 2013. Vol. 72. P. 1—20.
3. Croteau R., Kutchan T.M., Lewis N.G. Natural products (secondary metabolites) / *Biochemistry and Molecular Biology of Plants*. Ed. by Buchanan B., Griseem W., Jones R. *American Society of Plant Biologists*. Rockville. 2000. P. 1250—1268.
4. Dhir B. Use of aquatic plants in removing heavy metals from wastewater. *Int. J. Environ. Eng.* 2010. Vol. 2. P. 185—201.
5. Dhir B., Sharmila P., Saradhi P.P. Potential of aquatic macrophytes for removing contaminants from the environment. *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.* 2009. Vol. 39 (9). P. 754—781.

6. Dhir B., Srivastava S. Heavy metal removal from a multi-metal solution and wastewater by *Salvinia natans*. *Ecol. Eng.* 2011. Vol. 37. P. 893—896.
7. Espinoza-Quicones F.R., Mydenes A.N., Costa I.L. Jr. et al. Kinetics of lead bioaccumulation from a hydroponic medium by aquatic macrophytes *Pistia stratiotes*. *Water Air Soil Pollut.* 2009. Vol. 203. P. 29—37.
8. Feild T.C., Lee D.W., Holbrook N.M. Why leaves turn red in autumn. The role of anthocyanins in senescing leaves of red-osier dogwood. *Plant Physiol.* 2001. Vol. 127. P. 566—574.
9. Gershenzon J. Plant Defenses: Surface Protectants and Secondary Metabolites. *Plant Physiology*. 2003. P. 347—376.
10. Goyal S., Lambert C., Cluzet S. et al. Secondary metabolites and plant defense. *Plant defence: biological control*. Netherlands: Springer, 2012. P. 109—138.
11. Klochenko P.D., Kharchenko G.V., Zubenko I.B., Shevchenko T.F. Some peculiarities of accumulation of heavy metals by macrophytes and epiphyton algae in water bodies of urban territories. *Hydrobiol. J.* 2007. Vol. 43, N 6. P. 46—57.
12. Lichtenthaler H.K., Wellburn A.R. Determinations of total carotenoids and chlorophylls *a* and *b* of leaf extracts in different solvents. *Biochemical society transactions*. 1983. Vol. 11, N 5. P. 591—592.
13. Lopatko K.G., Aftandilyants E.H., Kalenska S.M., Tonkha O.L. Mother colloidal solution of metals. Bo1 J 13/00 Patent of Ukraine no. 3845912, 2009.
14. Lu Q., Zhenli L.H., Graetz D.A. et al. Uptake and distribution of metals by water lettuce (*Pistia stratiotes* L.). *Environ. Sci. Pollut. Res.* 2011. Vol. 18. P. 978—986.
15. Lu X., Kruatrachue M., Pokethitiyook P., Homyok K. Removal of cadmium and zinc by water hyacinth, *Eichhornia crassipes*. *Sci. Asia.* 2004. Vol. 30. P. 93—103.
16. Matos Nunes J., Bertodo L.O.O., Da Rosa L.M.G. et al. Stress induction of valuable secondary metabolites in *Hypericum polyanthemum* acclimatized plants. *South Afr. J. Bot.* 2014. Vol. 94. P. 182—189.
17. Mazid M., Khan T.A., Mohammad F. Role of secondary metabolites in defense mechanisms of plants. *Biology and Medicine*. 2011. Vol. 3, N 2. P. 232—249.
18. Miretzky P., Saralegui A., Cirelli A.F. Aquatic macrophytes potential for simultaneous removal of heavy metals (Buenos Aires, Argentina). *Chemosphere*. 2004. Vol. 57 (8). P. 997—1005.
19. Parvaiz A., Maryam S., Satyawati S. Reactive oxygen species, antioxidants and signaling in plants. *J. Plant Biol.* 2008. Vol. 5. P. 167—173.
20. Porter J.W., Spurgeon S.L. (eds.) Biosynthesis of Isoprenoid Compounds. New York: Wiley, 1981. P. 47—94.
21. Seo D.C., DeLaune R.D., Han M.J. et al. Nutrient uptake and release in ponds under long-term and short-term lotus (*Nelumbo nucifera*) cultivation: influence of compost application. *Ecol. Eng.* Vol. 36. P. 1373—1382.
22. Tasiu I. Stress and defense responses in plant secondary metabolites production. *Biol. Res.* 2019. 52: 39.
23. Venkatrayulu C., Rani V.K., Reddy D.C., Ramamurthi R. Bio-adsorption of copper (II) by aquatic weed plants *Hydrilla* and *Pistia*. *Asian J. Animal Sci.* 2009. Vol. 4. P. 82—85.

Надійшла 14.09.2021

O.O. Olkhovych, PhD (Biol.), docent,
Institute of Biology and Medicine,
Taras Shevchenko National University of Kyiv,
64/13 Volodymyrska St., Kyiv, 01601, Ukraine,
e-mail: oolga2005@ukr.net
ORCID 0000-0002-7314-7631

S.V. Hrechyshkina, Postgraduate Student,
Institute of Biology and Medicine,
Taras Shevchenko National University of Kyiv,
64/13 Volodymyrska St., Kyiv, 01601, Ukraine,
e-mail: svetlanagrechishkina@gmail.com

O.O. Panyuta, PhD (Biol.), docent,
Institute of Biology and Medicine,
Taras Shevchenko National University of Kyiv,
64/13 Volodymyrska St., Kyiv, 01601, Ukraine,
e-mail: panyuta@ukr.net
ORCID 0000-0001-9847-8990

N.Yu. Taran, Dr. Sci. (Biol.), Prof., Head of Department,
Institute of Biology and Medicine,
Taras Shevchenko National University of Kyiv,
64/13 Volodymyrska St., Kyiv, 01601, Ukraine,
e-mail: ny_taran@ukr.net
ORCID 0000-0002-8669-5899

R.V. Ivannikov, Dr. Sci. (Biol.), Leading Researcher,
M.M. Gryshko National Botanical Garden,
e-mail: namor.iv22@gmail.com
ORCID 0000-0001-5917-2980

SECONDARY PLASTICOPHITE METABOLITES AS MARKERS OF RESISTANCE TO METAL NANOPARTICLES

The effect of mixture of the colloidal nanoparticles of metals (Mn, Cu, Zn, Ag) on the content of terpenoids, phenolic compounds, chlorophylls and carotenoids three species of Pleistophytes (*Limnobium laevigatum* (Humb. & Bonpl. ex Willd.)), *Pistia stratiotes* L. and *Salvinia natans* (L.) All.), selected as potential phytoremediators of the aquatic environment was studied. It was found that the content of phenolic compounds and terpenoids significantly (by 26 % and 25 %) decreased only in *L. laevigatum*, and the content of carotenoids and chlorophyll decreased only in *S. natans* (by 31 % and 52 %), indicating different metabolic pathways under time of reparation processes in these species. Resistance to all studied indicators was found only in *P. stratiotes*, so it can be recommended as a plant-remediate to colloidal solutions of metal nanoparticles.

Keywords: nanoparticles, pleistophytes, phytoremediation of reservoirs, terpenoids, phenols, carotenoids, chlorophylls.