ЕКОЛОГІЧНА ФІЗІОЛОГІЯ ТА БІОХІМІЯ ВОДНИХ РОСЛИН

УДК 574/57.044/57.084.1

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.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

М.М. МУСІЄНКО, д.б.н., проф., проф.,
ННЦ Інститут біології та медицини,
Київський національний університет ім. Т. Шевченка,
вул. Володимирська 64/13, Київ, 01601, Україна,
e-mail: n_musienko@ukr.net
ORCID 0000-0002-1624-5032

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

ОЦІНКА ФІЗІОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ СТІЙКОСТІ І ПЕРСПЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ *SALVINIA NATANS* ДЛЯ ВИЛУЧЕННЯ КОЛОЇДНИХ НАНОЧАСТОК МЕТАЛІВ

Досліджено стійкість Salvinia natans (L.) All. до впливу колоїдних наночасток металів та ефективність її використання для їхнього вилучення з водного середови-

Ц и т у в а н н я: Гречишкіна С.В., Ольхович О.П., Мусієнко М.М., Панюта О.О., Таран Н.Ю. Оцінка фізіологічних параметрів стійкості і перспективності використання *Salvinia natans* для вилучення колоїдних наночасток металів. *Гідробіол. журн.* 2022. Т. 58, № 1. С. 47—56.

ща. Встановлено, що S. natans проявляє стійкість за рахунок стабільності пігментного апарату та змін, які відбуваються у вмісті амінокислот (збільшення кількості аланіну, гліцину, гістидину, орнітину, проліну та фенілаланіну, задіяних у реакціях рослини на стрес). Показано високу здатність S. natans до вилучення наночасток досліджуваних металів із колоїдного розчину (Mn — на 86 %, Ag — на 76 %, Cu — на 69 %, Zn — на 40 %).

Ключові слова: *Salvinia natans, наночастки металів, фіторемедіація водойм, амінокислоти, хлорофіл, каротиноїди.*

Стрімкий розвиток нанотехнологій та відповідне зростання рівня забруднення навколишнього середовища наночастками металів потребує екологічно безпечних та економічно обґрунтованих методів їхнього вилучення. Фіторемедіація є перспективним, надійним, достатньо ефективним і відносно дешевим способом очищення середовища. Ефективність фіторемедіації забезпечується насамперед правильним підбором рослин. Основними критеріями, що визначають придатність того чи іншого виду для очищення середовища, є його здатність до поглинання та накопичення забрудників і стійкість до них. Для забезпечення належного рівня ефективності фіторемедіації всі ці критерії вимагають детальних досліджень. Вивчення стрес-толерантності водних рослин за фізіологічними критеріями та підбір видів, здатних до активного вилучення наночасток металів, сприятиме розробці високоефективних та економічно доцільних зелених технологій очищення водойм [18].

Ефективність вилучення деяких речовин-забрудників, зокрема іонів металів, показана на прикладі макрофітів [19, 23, 28], у тому числі і *S. natans* [17, 20, 33]. Однак, вплив металів у стані наночасток на рослинні організми [6, 16, 24, 30, 31, 35] та здатність їхнього вилучення із водного середовища водними макрофітами на сьогодні вивчені недостатньо. Відомо, що наночастки металів, подібно до йонних форм, здатні до фізико-хімічних та колоїдних трансформацій, насамперед таких, як агрегація і дисагрегація, сорбція природними органічними речовинами та розчинення [7, 32]. Зазначені зміни здатні змінювати біодоступність, механізми поглинання, ступінь накопичення наночасток металів рослинами, а також їхній токсичний ефект [1].

Метою нашої роботи було з'ясування стійкості і ефективності використання *Salvinia natans* для вилучення колоїдних наночасток металів з водного середовища.

Матеріал і методика досліджень

Об'єктом дослідження був плейстофіт *Salvinia natans* (L.) All. — однорічна водна рослина, широко поширена у Європі та Східній Азії. В Україні вона зустрічається у водоймах долин річок Дніпра, Десни, Сіверського Дінця, Південного Бугу, Дністра, Дунаю, Ужа, Латориці, Боржави, у водосховищах Дніпровського каскаду, ставках і озерах Лісостепу і Степу [4, 21]. Рослина має високий потенціал росту у мезоевтрофних і евтрофних прісних замкнутих або слабкопроточних водоймах, що добре прогріваються, завдяки чому у південних регіонах вона утворює колонії пло-

щею до 800—1000 м^2 та щільністю 100—1200 особин на 1 м^2 [5]. У той же час на більшості території України цей вид є достатньо рідкісним, він занесений до Червоної книги як такий, що перебуває під загрозою зникнення. Вразливість *S. natans* зумовлена непостійністю місцезростань через температурні коливання і промерзання водойм [4]. Таким чином, *S. natans* має високий потенціал росту, акумуляційну здатність стосовно металів і не несе загрозу для біорізноманіття природних водойм на території України у разі виходу із очисних споруд, оскільки є аборигенним видом, що робить його потенційно придатним для широкого застосування у ремедіаційних заходах.

Культуру *S. natans* вирощували в акваріумах об'ємом 40—60 дм^3 з відстояною водогінною водою за оптимальних для неї умов: освітлення 6000 лк, період освітлення — 12 : 12 год, температура води 19—25 °С, pH 6—8.

У роботі використано колоїдні розчини наночасток металів, розроблені кафедрою технології конструкційних матеріалів і матеріалознавства НУБіП України. Наночастки отримані диспергуванням гранул мангану, купруму, цинку та аргентуму імпульсами електричного струму з амплітудою 100—2000 А у воді [13, 25]. Максимальний розмір наночасток не перевищував 100 нм.

Рослини із розрахунку 1 г на 100 см^3 експонували у відстояній водогінній воді з додаванням суміші колоїдних розчинів наночасток металів (Mn — 0,75 мг/дм^3, Cu — 0,37, Zn — 0,44, Ag+Ag_2O — 0,75 мг/дм^3) впродовж семи діб. В кінці досліду проводили візуальне обстеження рослин, визначали вміст фотосинтетичних пігментів (хлорофілів та каротиноїдів), амінокислот у біомасі і залишок наночасток металів у культуральному середовищі.

Для визначення вмісту пігментів і амінокислот наважку повітряно-сухої маси рослин (0,1 г) гомогенізували з 0,5 г скляного порошку та 0,5 г безводного Na_2SO_4. Гомогенат переносили у скляну колонку з фільтром, додавали 3 см^3 ацетону і фільтрували. Для визначення вмісту пігментів 0,1 см^3 ацетонового екстракту переносили у пробірку і додавали 3 см^3 ацетону. Екстракт пігментів аналізували на спектрофотометрі Shimadzu UV-1800 за довжини хвиль 440, 649 та 665 нм. Кількісний вміст пігментів розраховували за відповідними формулами [3].

Вміст амінокислот визначали методом тандемної мас-спектрометрії [27] за допомогою мас-спектрометра AB Sciex 2000 з автосамплером Ultimate 3000 (Dionex).

Вміст металів у культуральному середовищі до і після експозиції визначали методом ICP-спектрометрії на емісійному спектрометрі ICAP6300 DuoMEC (США).

Кількість біологічних повторів та аналітичних повторностей у досліді була не меншою трьох.

Статистичну обробку результатів досліджень проводили за допомогою програми Microsoft Office Excel із застосуванням *t*-критерію Стьюдента, вони вважалися достовірними за рівня значущості $p \leq 0,05$.

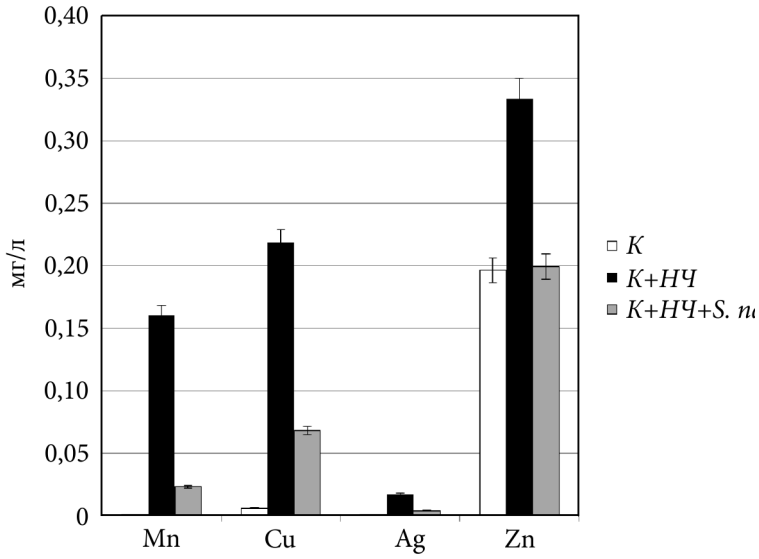

Рис. 1. Вміст металів у воді на 7-й день експозиції (*К* — контроль, відстояна водогінна вода; *К+НЧ* — відстояна водогінна вода з додаванням суміші колоїдних розчинів наночасток металів; *К+НЧ+S. natans* — відстояна водогінна вода з додаванням суміші колоїдних розчинів наночасток металів з *S. natans*)

Результати досліджень та їх обговорення

Встановлено, що *S. natans* має високу здатність до поглинання і вилучення наночасток досліджуваних металів (Mn, Cu, Zn, Ag) із водних розчинів (рис. 1), при цьому ступінь поглинання був різним. Так, впродовж семи діб експерименту найбільше зменшився вміст Mn (на 86 %), також суттєво зменшився вміст Ag (на 76 %) і Cu (на 69 %). Вилучення Zn було найменшим (40 %), але також достатньо помітним. Отримані результати характеризують *S. natans* як рослину, цілком придатну для фіторемедіації води, забрудненої наночастками металів, що найефективніше вилучає Mn і Ag.

Під час експозиції *S. natans* у експериментальному розчині було відмічено візуальне зменшення розмірів занурених вай, які виконують функцію коренів, що можна пояснити використанням рослиною наночасток металів як поживних елементів. Візуальних змін забарвлення та морфології плаваючих вай *S. natans* не спостерігалось (рис. 2).

Оскільки забарвлення листків (у нашому випадку плаваючих вай) опосередковано характеризує стан пігментного комплексу досліджуваної рослини, можна зробити припущення, що за присутності у воді наночасток металів у *S. natans* включаються відповідні механізми захисту, які стримують надходження наночасток до асиміляційних тканин листків (плаваючих вай). Таким чином, рослина уникає можливого пошкодження асиміляційних тканин та зберігає здатність до фотосинтезу, що є не-

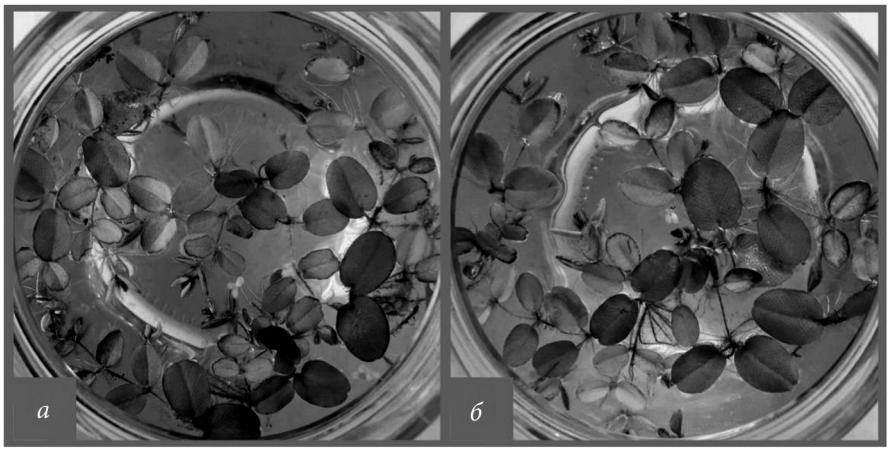

Рис. 2. Зовнішній вигляд *S. natans* (*а* — контроль, *б* — на 7-й день експозиції)

обхідною умовою репарації у разі сильного пошкодження кореневої системи (занурених вай). Щоб підтвердити або спростувати це припущення, було визначено вміст фотосинтетичних пігментів у листках *S. natans* (рис. 3).

За дії наночасток вміст хлорофілу *a* і *b* та каротиноїдів зменшувався, але не критично для життєдіяльності рослини. Так, вміст хлорофілу *a* знизився лише на 16 % (з 0,138 до 0,116 мг/г), хлорофілу *b* — на 21 % (з 0,058 до 0,046 мг/г), а каротиноїдів — на 13 % (з 0,104 до 0,090 мг/г). Тобто, за показником стабільності пігментного апарату, який є основою фотосинтетичної системи, плейстофіт *S. natans* виявився достатньо стійким та придатним для використання у фіторемедіації водного середовища, забрудненого наночастками металів.

У механізмах стійкості рослин до металів беруть участь і білкові сполуки. Сьогодні увага дослідників приділяється питанням синтезу специфічних білків, які утворюються у рослин за стресових умов [9], та вивченню їх амінокислотного складу [22, 26, 29, 34] за присутності надлишкових кількостей металів. Рослини, які можуть швидко перебудовувати білковий метаболізм за стресових умов і синтезувати у великій кількості амінокислоти, що задіяні в системах захисту, є пріоритетними для фіторемедіації. Отже, наступним етапом наших експериментів було визначення складу та вмісту амінокислот у *S. natans.*

Було ідентифіковано 17 амінокислот: 5Oxo-Pro — 5-оксопролін, Ala — аланін, Arg — аргінін, Asp — аспарагінова кислота, Cit — цитрулін, Glu — глутамінова кислота, Gly — гліцин, His — гістидин, Leu — лейцин, Met — метіонін, Orn — орнітин, Phe — фенілаланін, Pro — пролін, Ser — серин, Trp — триптофан, Tyr — тирозин, Val — валін (рис. 4).

Встановлено, що за впливу досліджуваної суміші наночасток металів у *S. natans* вміст 5-оксопроліну, аргініну, аспарагінової кислоти, глута-

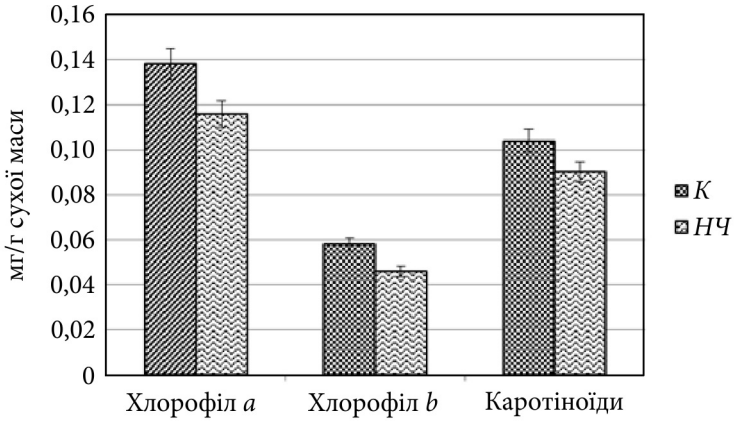

Рис. 3. Вміст пігментів у *S. natans* на 7-й день експозиції. Тут і на рис. 4: *К* — контроль; *НЧ* — з додаванням наночасток

мінової кислоти, лейцину і триптофану зменшився, при цьому найбільшою мірою знизився вміст аргініну, глутамінової та аспарагінової кислот — відповідно у три, три і два рази. У той же час вміст аланіну, цитруліну, гліцину, гістидину, орнітину, фенілаланіну, проліну, серину та валіну зріс. Збільшення вмісту значної кількості амінокислот (більше половини із виявлених) за дії наночасток металів, ймовірно, є свідченням запуску захисних механізмів у рослині, важливим із яких є синтез нових білків. Нас насамперед цікавив вміст амінокислот, які синтезуються рослинами за стресових умов і беруть участь у їхньому захисті від ушкоджуючого впливу металів, а саме гістидину, аспарагіну, гліцину, аланіну, фенілаланіну, глутамінової кислоти, проліну та орнітину. Із зазначених восьми амінокислот у *S. natans* зростав вміст шести (див. рис. 4).

Збільшення кількості проліну як унікальної стрес-протекторної сполуки покращує осмотичні властивості цитоплазми клітин і є захисною реакцією до надлишкового вмісту металів [11, 12], оскільки амінокислота є акцептором радикалів, стабілізатором макромолекул [26] і хелатуючою сполукою [34]. У літературі наявні дані про те, що за стресових умов (водного дефіциту, низьких та високих температур, підвищеної солоності) багато рослин накопичують саме пролін [14, 15, 29], який синтезується з глутамату чи орнітину. Збільшення вмісту ароматичної амінокислоти фенілаланіну є ще однією захисною реакцією, адже вона бере участь у синтезі фенольних сполук, які є, зокрема, антистресовими сполуками [2, 8]. Накопичення гістидину також можна пояснити захисною реакцією рослини на присутність наночасток металів, оскільки відомо, що він є субстратом для фітохелатинсинтетази [10], активність якої зумовлена необхідністю синтезу фітохелатинів. Це опосередковано вказує на вірогідність запуску процесів, подібних до знешкодження надлишкового вмісту йонів важких металів у клітинах рослин. Збільшення вмісту сери-

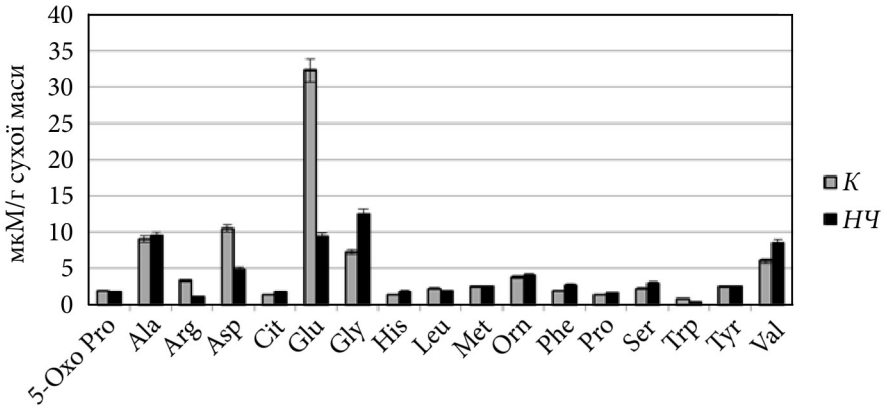

Рис. 4. Вміст амінокислот у *S. natans* на 7-й день експозиції

ну — амінокислоти, яка у рослин утворюється у процесі фотосинтезу, пов'язано, ймовірно, з активацією декарбоксилювання гліцину (вміст якого також збільшується) та його подальшого перетворення у серин у процесі фотодихання у пероксисомах за впливу екзогенного чинника. Зниження вмісту аспарагінової та глутамінової кислот у *S. natans* за дії наночасток металів можна пояснити використанням їх у біосинтезі амідів (аспарагіну та глутаміну), які у рослинах є транспортною формою азоту. Глутамінова кислота також задіяна у синтезі глутатіону і фітохелатинів [34].

Таким чином, збільшення вмісту амінокислот, які безпосередньо беруть участь у захисних реакціях до шкодочинного впливу наночасток металів та зменшення кількості тих, що є попередниками синтезу інших стресових сполук (феноли, терпеноїди тощо), спрямоване на підтримку гомеостазу і увімкнення репараційних механізмів. Зміни вмісту амінокислот у *S. natans* за впливу суміші наночасток металів свідчать про те, що у неї включаються відповідні механізми захисту, аналогічні за фізіологічною дією до механізмів інактивації йонів металів, які дозволяють адаптуватися цій рослині до нових умов.

Висновки

Встановлено, що *S. natans* має високу здатність до вилучення наночасток металів із водного колоїдного розчину. Найефективніше вилучалися наночастки Mn (на 86 %), Ag (на 76 %) і Cu (на 69 %), меншою мірою Zn (на 40 %).

Фотосинтетична система *S. natans* виявилася стійкою до суміші наночасток (зниження вмісту фотосинтетичних пігментів не перевищувало 21 %, що не є критичним для життєдіяльності рослини). За дії наночасток металів у *S. natans* відбувалися зміни у вмісті амінокислот, зокрема, збільшувалась кількість тих, які беруть безпосередню участь у захисних ре-

акціях рослини на стрес, що свідчить про перебудову білкового метаболізму рослини, спрямовану на репарацію пошкодження.

На підставі отриманих результатів *S. natans* можна рекомендувати для фіторемедіації водойм, забруднених наночастками металів.

Список використаної літератури

1. Андрусишина И.Н. Наночастицы металлов: способы получения, физико-химические свойства, методы исследования и оценка токсичности. *Сучасні проблеми токсикології*. 2011. Т. 3. С. 5—14.

2. Барабой В.А. Биологическое действие растительных фенольных соединений. Киев : Наук. думка, 1976. 260 с.

3. Гавриленко В.Ф., Ладыгина М.Е., Хандобина Л.М. Большой практикум по физиологии растений. М. : Высш. шк., 1975. 392 с.

4. Дубына В.Д., Стойко С.М., Сытник К.М. и др. Макрофиты — индикаторы изменений природной среды. Киев : Наук. думка, 1993. 463 с.

5. Дубина Д.В., Тимошенко П.А., Шеляг-Сосонко Ю.Р. Фітосистеми кіс і островів Азово-Чорноморського регіону України: стан та завдання охорони. *Укр. ботан. журн.* 2006. Т. 63, № 1. С. 3—14.

6. Дыкман Л.А., Щеголев С.Ю. Взаимодействие растений с наночастицами благородных металлов. *Сельскохозяйственная биология*. 2017. № 1. С. 15—26.

7. Ершов Б.Г. Наночастицы металлов в водных растворах: электронные, оптические и каталитические свойства. *Рос. хим. журн.* 2001. Т. XLV, № 3. С. 20—30.

8. Кобилецька М., Терек. О. Вплив іонів кадмію на вміст фенольних сполук та вільного проліну в рослинах кукурудзи. *Вісн. Львів. ун-ту. Сер. біол*. 2002. Вип. 28. С. 311—316.

9. Козировська Н.О. Механізми природної імунності рослини. *Біополімери і клітина.* 2006. Т. 22, № 2. С. 91—101.

10. Кузнецов В.В., Дмитриева Г.А. Физиология растений. М. : Высш. шк., 2006. 742 с.

11. Кузнецов В.В., Шевякова Н.И. Пролин при стрессе: биологическая роль, метаболизм, регуляция. *Физиология растений*. 1999. Т. 46, № 2. С. 321—336.

12. Шевякова Н.И. Метаболизм и физиологическая роль пролина при водном и солевом стрессе. *Там же.* 1983. Т. 30, № 4. С. 768—783.

13. Щерба А.А., Захарченко С.Н., Лопатько К.Г. и др. Разрядно-импульсные системы производства наноколлоидных растворов биологически активных металлов методом объемного электроискрового диспергирования. *Праці ІЕД НАНУ*. 2010. Вип. 26. С. 152—160.

14. Ashraf M., Harris P.J.C. Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. *Plant Sci*. 2004. Vol. 166. P. 3—16.

15. Aspinall D., Paleg L.G. Proline accumulation: physiological aspects. *The physiology and biochemistry of drought resistance in plants.* Australia: Acad. Press, 1981. P. 205—240.

16. Atha D.H., Wang H., E. J. Petersen E. J. et al. Copper oxide nanoparticle mediated DNA damage in terrestrial plant models. *Environ. Sci. Technology*. 2012. Vol. 46, N 3. P. 1819—1827.

17. 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.

18. Farraji H., Zaman N., Tajuddin R., Faraji H. Advantages and disadvantages of phytoremediation. A concise review. *Int. J. environ. technol.* 2016. Vol. 2. P. 69—75.

19. Hadad H.R., Princiroli Maine M.A., Mufarrege M.M. Nickel and phosphorous sorption efficiencies, tissue accumulation kinetics and morphological effects on *Eichhornia crassipes*. *Ecotoxicology.* 2009. Vol. 18, N 5. P. 504—513.

20. Traczewska H., Sitarska T., Zamorska-Wojdyła M.D. Assessment of the phytoremediation efficacy of boron-contaminated waters by *Salvinia natans*. *Environ. Prot. Eng.* 2010. Vol. 36. P. 87—94.

21. Ivanova I.Yu., Kharchenko G.V., Klochenko P.D. Higher aquatic vegetation of water bodies of the town of Kiev. *Hydrobiol. J.* 2007. Vol. 43, N 3. P. 36—56.

22. Kerkeb L., Krämer U. The role of free histidine in xylem loading of nickel in *Alyssum lesbiacum* and *Brassica juncea*. *Plant Physiol.* 2003. Vol. 131. P. 716 —724.

23. 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.

24. Lee C.W., Mahendra S., Zodrow K., et al. Developmental phytotoxicity of metal oxide nanoparticles to *Arabidopsis thaliana*. *Environ. Toxicol. Chem.* 2010. Vol. 29, N 3. P. 669—675.

25. 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.

26. Matysik J., Alia B., Mohanty P. Molecular mechanisms of quenching of reactive oxygen species by proline under stress in plants. *Curr. Sci*. 2002. Vol. 82. P. 525—532.

27. Mikhaylova S.V. Combination of tandem mass spectrometry and lysosomal enzymes analysis-effective tool for selective screening for IEM in neurological clinic. *J. Inherit. Metab. Dis*. 2004. Vol. 27, N 1. P. 39.

28. Mishra V.K., Tripathi B.D. Concurrent removal and accumulation of heavy metals by the three aquatic macrophytes. *Bioresour. Technol*. 2008. Vol. 99. P. 7091—7097.

29.Naidu B.P., Paleg L.G., Aspinall D. et al. Amino acid and glycine-betaine accumulation in cold stressed seedlings. *Phytochemistry*. 1991. Vol. 30. P. 407—409.

30. Navarro E., Baun A., Behra R. et al. Environmental behavior and ecotoxicity of engineered nanoparticles to algae, plants, and fungi. *Ecotoxicology*. 2008. Vol. 17, N 5. P. 372—386.

31. Rodriguez E., Azevedo R., Fernandes P., Santos C. Cr (VI) induces DNA damage, cell cycle arrest and polyploidization: a flow cytometric and comet assay study in *Pisum sativum*. *Chem. Res. Toxicol*. 2011. Vol. 24, N 7. P. 1040—1047.

32. Schaumann G.E., Philippe A., Bundschuh M. et al. Understanding the fate and biological effects of Ag- and TiO_2-nanoparticles in the environment: the quest for advanced analytics and interdisciplinary concepts. *Sci. Tot. Environ.* 2015. Vol. 535. P. 3—19.

33. Sen A., Mondal N. Removal and uptake of copper (II) by *Salvinia natans* from waste water. *Water, Air and Soil Pollution*. 1990. Vol. 49. P. 1—6.

34. Sharma S.S., Dietz K.J. The significance of amino acids and amino acid-derived molecules in plant responses and adaptation to heavy metal stress. *J. Exp. Botany*. 2006. Vol. 57. P. 711—726.

35. Stampoulis D., Sinha S.K., White J.C. Assay-dependent phytotoxicity of nanoparticles to plants. *Environ. Sci. Technol*. 2009. Vol. 43, N 24. P. 9473—9479.

Надійшла 21.11.2021

S.V. Hrechyshkina, Postgraduate Student,
Institute of Biology and Medicine,
Taras Shevchenko Kyiv National University,
64/13 Volodymyrska St., Kyiv, 01601, Ukraine,
e-mail: svetlanagrechishkina@gmail.com
ORCID 0000-0002-6485-2101

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

M.M. Musienko, Dr. Sci. (Biol.), Prof., Prof.,
Institute of Biology and Medicine,
Taras Shevchenko Kyiv National University,
64/13 Volodymyrska St., Kyiv, 01601, Ukraine,
e-mail: n_musienko@ukr.net
ORCID 0000-0002-1624-5032

O.O. Panyuta, PhD (Biol.), Ass. Prof., Ass. Prof.,
Institute of Biology and Medicine,
Taras Shevchenko Kyiv National University,
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 Kyiv National University,
64/13 Volodymyrska St., Kyiv, 01601, Ukraine,
e-mail: ny_taran@ukr.net
ORCID 0000-0002-8669-5899

EVALUATION OF PHYSIOLOGICAL PARAMETERS OF RESISTANCE AND PERSPECTIVITY OF *SALVINIA NATANS* USE FOR EXTRACTION OF METAL COLLOID NANOPARTICLES

Resistance and efficiency of *Salvinia natans* (L.) All. for extraction of colloid nanoparticles of metals were studied. It was found that *S. natans* is resistant in terms of the pigments' content, and responds to the metals' nanoparticles impact by changes in amino acid content (increased amounts of alanine, glycine, histidine, ornithine, proline and phenylalanine, which participate in the plants' protective response to stress).

The high *S. natans*' ability to extract the studied metal nanoparticles from the aquatic colloidal solution (Mn — by 86 %, Ag — by 76 %, Cu — by 69 %, Zn — by 40 %) was shown.

Keywords: *Salvinia natans, metal nanoparticles, water bodies phytoremediation, amino acids, chlorophylls, carotenoids.*