

УДК 546.57:54.05

Литвин В.А., к.х.н., доц.  0000-0003-1236-6344

ЗЕЛЕНИЙ СИНТЕЗ НАНОЧАСТИНОК СРІБЛА З ВИКОРИСТАННЯМ БУЗКУ ЗВИЧАЙНОГО

Черкаський національний університет імені Б. Хмельницького, 18000, м. Черкаси,
бульв. Шевченка 81
e-mail: litvin_valentina@ukr.net

Наночастинки срібла, одержані зеленим синтезом, з використанням різних частин рослин, мають великий потенціал застосування у медицині та промисловості. Перспективним, але мало дослідженим напрямком, є використання бузку звичайного (*Syringa vulgaris*) у синтезі наночастинок срібла. Стаття присвячена розробці методики одержання наночастинок срібла методом зеленого синтезу з використанням різних частин бузку звичайного (квітів, листя, кори) та дослідженню властивостей одержаного продукту. У результаті проведеного дослідження встановлено, що фітореагенти бузку звичайного виконують подвійну роль у синтезі наночастинок, а саме відновника Ag^+ йонів та стабілізатора утворених наночастинок. Наявність наночастинок у розчині було підтверджено конусом Тіндалля та спектрофотометрично за наявності максимуму поглинання близько 400 нм, що є характерним для нанорозмірного срібла. Показано, що найкращим відновником у синтезі наночастинок срібла є квіти бузку звичайного, порівняно з його листям та корою. Методом рентгенівської дифракції встановлено, що одержані наночастинки срібла мають гранецентровану кристалічну ґратку з розмірами частинки від 18 нм до 48 нм, залежно від використаного екстракту.

Ключові слова: зелений синтез; наночастинки; срібло; бузок звичайний.

Інтерес до наноматеріалів обумовлений їх широким використанням в різних галузях, таких як техніка, біомедицина, енергетика та навколишнє середовище [1, 2]. На даний момент хімічні та фізичні методи є основними методами синтезу наноматеріалів, але ці методи мають негативний вплив на навколишнє середовище, потребують використання високих енергій та є вартісними. Зелений синтез наночастинок є перспективним і екологічно чистим підходом до отримання матеріалів з унікальними властивостями. Природні реагенти, такі як рослини, бактерії, гриби та сільськогосподарські відходи, використовуються в екологічному синтезі наноматеріалів замість небезпечних хімікатів і зменшують негативний вплив на навколишнє середовище та є безпечними для здоров'я людини [3].

В загальному зелений синтез наночастинок срібла передбачає змішування розчину екстракту певної частини рослини (листя, квітів, коріння, кори, плодів) з розчином AgNO_3 . В результаті відбувається

відновлення Ag^+ йонів до атомарного срібла з подальшим сполученням утворених атомів з формуванням наночастинок срібла. В зелених синтезах речовини, що містяться в рослинних екстрактах виконують функцію і відновника і стабілізатора [3].

Аналіз літературних джерел показує, що сьогодні у синтезі наночастинок срібла було використано екстракти квітів троянди рожевої (*Rosa damascena*) [4], квіток липи серцелистої (*Tilia cordata*), ромашки матрикарії (*Matricaria chamomilla*), календули лікарської (*Calendula officinalis*), лаванди вузьколистий (*Lavandula angustifolia*) [5], рябчика царського (*Fritillaria imperialis*) [6], канни (*Canna indica* L.), космеї звичайної (*Cosmos bipinnata* Cav.), лантани (*Lantana camara* L.) [7], хризантеми (*Chrysanthemum*) [8], кульбаби (*Taraxacum officinale* Wigg) [9], катарантуса рожевого (*Catharanthus roseus*) [10], бузку звичайного (*Syringa vulgaris*) [11] і багато інших.

В останні роки у методах зеленого синтезу наночастинок срібла також активно використовуються екстракти листя

різноманітних рослин. Зокрема, в літературі повідомлено про використання екстрактів листя шавлію непальського (*Rumex nepalensis*) [12], меліси (*Melissa officialis* L.) та м'яти (*Menta piperita*) [13], алое вера (*Aloe vera*), ехінацеї (*Echinacea purpurea* L.) альбіції адіантіфолії (*Albizia adianthifolia*), китайського чаю (*Camellia Sinensis*), катарантуса рожевого (*Catharanthus roseus*), лободи білої (*Chenopodium album*), Колеус ароматний (лат. *Coleus amboinicus*), евкаліпту (*Eucalyptus hybrida*), фікуса священного (*Ficus religiosa*), соя звичайна (*Glycine max*), магнолії (*Magnolia kobus*), Мімоза соромлива (*Mimosa pudica*), Троянда зморшкувата (*Rosa rugosa*) [14] та інші.

Для біосинтезу наночастинок срібла використовуються також екстракти коріння рослин. Аналіз літературних джерел показав, що з цією метою було використано екстракти коріння півника болотного (*Iris pseudacorus*), ехінацеї пурпурної (*Echinacea purpurea*), водяного щавлю (*Rumex hymenosepalus*) [14] та інші.

Не рідкістю є використання екстрактів плодів в ролі відновників та стабілізаторів у синтезі наночастинок срібла (шипшини, гуави, яблука, ананасу, банану, цитрусових тощо) [14].

Перспективним відновником у синтезі наночастинок срібла є бузок звичайний, однак на сьогодні в літературі є лише одне повідомлення [11] про його використання в подібних синтезах.

Аналіз літературних джерел показав, що на сьогодні хімічний склад всіх частин бузку достатньо добре вивчений. Зокрема, із листя бузку звичайного були виділені флавоноїди, такі як рутин, нікотифлорин, астрагалін та ін. Крім флавоноїдів були також виділені іридоїдні глікозиди, представлені сирингопикрозидом, сиренгеноном та ін., і невелика кількість фенілпропаноїдів, найбільш яскравим представником яких є сирингін [15]. Салідрозид та його похідні актеозид, неоактеозид та інші фенілпропаноїди вдалося виділити з суцвіть бузку звичайного [15], а також з них були виділені рутин та нікотин флорин.

У корі бузку звичайної виявляються такі сполуки як сирингін, олеуропейн, коніферин і лігустрозид, форзитазид, сирингін, коніферин, ларицирезинолу [15].

Наявність у складі різних частин бузку органічних сполук, які є потенційними відновниками, зумовлює їх широкі перспективи використання в зеленому синтезі наночастинок срібла.

Метою даної статті є розробка методики одержання наночастинок срібла з використанням різних частин бузку звичайного (*Syringa vulgaris*) та дослідження властивостей одержаного продукту.

Експериментальна частина

В дослідженні було використано квіти бузку звичайного (білого та фіолетового кольору), листя та кору. Рослинний матеріал було зібрано в період цвітіння (травень), промито дистильованою водою та висушено в затіненому місці при кімнатній температурі у приміщенні, що добре провітрюється.

Рослинний екстракт готували шляхом заливання 0,5 г висушеного рослинного матеріалу (квітів, листя та кори бузку звичайного) 50 мл дистильованої води з наступним кип'ятінням протягом 10 хвилин. Одержані відвари охолоджували до кімнатної температури з наступним відфільтровуванням рослинних залишків.

Для синтезу наночастинок срібла в хімічний стакан на 100 мл вносили 5 мл водного екстракту рослин, 18 мл дистильованої води, 1 мл 0,1 М розчину NaOH та 1 мл 0,01 М розчину AgNO₃.

Для зйомки спектрів поглинання 4 мл одержаного гідрозолу срібла за допомогою мірної піпетки переносили в мірну колбу на 25 мл і доводили до мітки дистильованою водою. Спектри знімали на спектрофотометрі СФ-26, в діапазоні 330–600 нм в кюветах з довжиною оптичного шляху $l = 1$ см. Розчинном порівняння слугувала дистильована вода.

Рентгенівські дифрактограми одержаних наночастинок срібла знімали на дифрактометрі ДРОН-2 з FeK α -випромінюванням ($\lambda_{Fe} = 0,19360$ нм) в діапазоні кутів $2\theta = 20-120^\circ$. Зразок для вимірювань готували наступним чином: 1) гідрозоль, що містив наночастинок срібла, висушували в чашці Петрі при 80°C; 2) одержаний порошок змішували з водною емульсією клею ПВА і поміщали на підкладнику забезпечуючи гладку поверхню зразку. Оцінку середнього розміру наночастинок срібла здійснювали за формулою Шеррера.



Рис. 1. Етапи приготування водного екстракту різних частин (білі та фіолетові квіти, листя, кора) бузку звичайного.

Результати

В даній роботі нами розроблено методику одержання наночастинок срібла методом зеленого синтезу. В ролі відновника і стабілізатора використано екстракти різних частин бузку звичайного. Вибір даної рослини обумовлений обмеженою кількістю публікацій [11] про використання даної рослини в подібних синтезах.

Для приготування екстракту до наважки сухого матеріалу додавали дистильовану воду і кип'ятили протягом 10 хвилин. Суміш охолоджували при кімнатній температурі. Для відокремлення рослинних залишків одержаний відвар профільтровували (Рис. 1). Одержані екстракти бузку звичайного використовували у синтезі наночастинок срібла. Змішування рослинних екстрактів з аргентум нітратом приводить до утворення наночастинок срібла (Рис. 2). Варто зазначити, що даний процес проводили в лужному середовищі ($\text{pH} = 11$), оскільки згідно з літературними даними високе pH розчину впливає на заряд фітореагентів природного екстракту та їх здатність зв'язувати і відновлювати катіони металів під час синтезу наночастинок.

Подібно до роботи [11], в якій використовували квіти бузку для синтезу наночастинок срібла, у нашому дослідженні застосовано водні екстракти різних частин рослини. Водночас ми використовували коротке кип'ятіння та додатково NaOH для оптимізації відновної здатності, а також порівнювали ефективність квітів, листя та кори, що дозволило оцінити вплив різних складових екстракту на розмір і стабільність наночастинок.

В даній реакції фітореагенти виконують подвійну функцію: відновлюють Ag^+ йони до атомарного срібла та,

адсорбуючись на поверхні утворених наночастинок, забезпечують їх стабілізацію. Експрес-методом, що підтверджує утворення колоїдного розчину є пропускання крізь розчин світлового променя, який приводять до появи Конуса Тіндаля (Рис. 2).

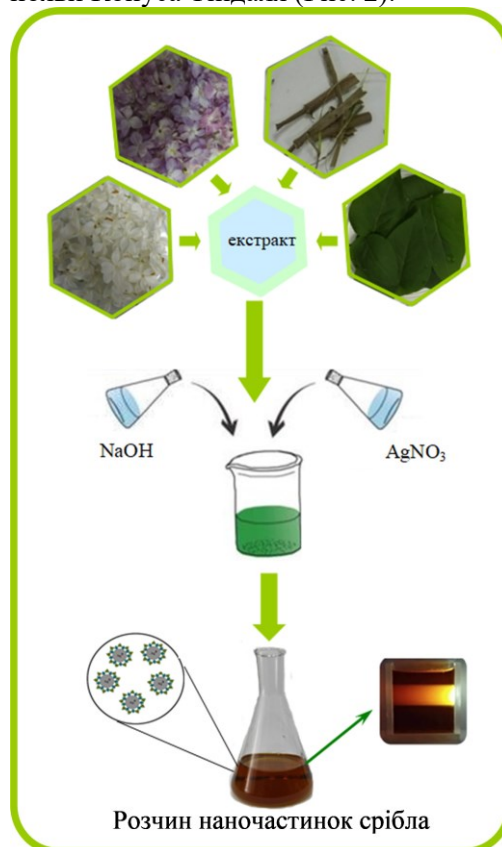


Рис. 2. Схема зеленого синтезу наночастинок срібла з використанням екстракту різних частин бузку звичайного.

Наявність в одержаних розчинах наночастинок срібла підтверджується також спектром поглинання (рис. 3), який у всіх випадках містить одну смугу із максимумом при 380 нм (у випадку використання квітів бузку), при 400 нм (при використанні листя

бузку) і при 410 нм (при використанні екстракту кори бузку). Дана смуга є типовою

для нанорозмірного срібла і пояснюється явищем поверхневого плазмонного резонансу.

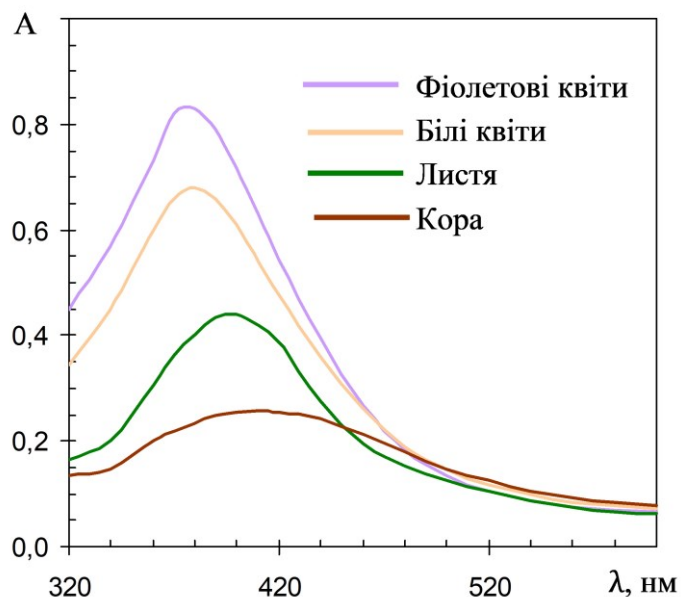


Рис. 3. Спектр поглинання наночастинок срібла.

Оскільки спектр поглинання (Рис.3) містить лише один максимум, то можна зробити висновок, що одержані наночастинок мають сферичну форму. Аналіз отриманих спектрів поглинання показує, що найкращим

відновником і стабілізатором є екстракт з квітів бузку звичайного, в той час як найгірші результати були отримані з використанням кори бузку.

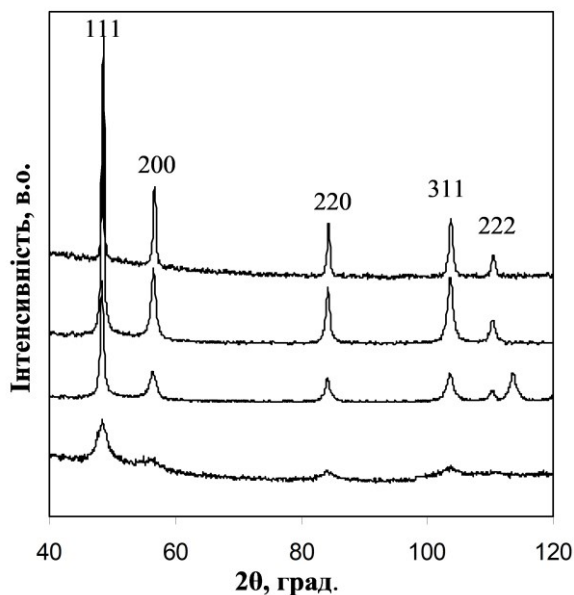


Рис. 4. Дифрактограми наночастинок срібла, одержаних з використанням екстракту фіолетових та білих квітів (а, б), листя (в) та кори (г) бузку звичайного.

Синтезовані наночастинок срібла охарактеризовано методом рентгенівської дифракції (Рис. 4). На дифрактограмах всіх зразків чітко простежуються максимуми при

кутах розсіяння (2θ) близько $48,6^\circ$, $56,8^\circ$, $84,5^\circ$, $104,1^\circ$ і $110,9^\circ$, що відповідають площинам (111), (200), (220) і (311)

гранецентрованої кубічної структури металічного срібла.

Розширення піків на дифрактограмі вказує на малі розміри утворених частинок.

Розраховані за формулою Шеррера діаметри одержаних наночастинок срібла представлені в таблиці 2.1.

Таблиця 1. Середній діаметр наночастинок залежно від використаного у синтезі екстракту бузку звичайного.

Використаний рослинний екстракт	Фіолетові квіти бузку	Білі квіти бузку	Листя бузку	Кора бузку
Середній діаметр наночастинок срібла	18 нм	20 нм	32 нм	48 нм

Наночастинки срібла, одержані за розробленою технологією, є розчинами з наночастинами металів, покритими органічними молекулами біологічно-активних речовин.

Одержані результати показують, що зелений синтез наночастинок срібла з використанням екстрактів бузку звичайного має суттєві переваги над класичним цитратним методом Туркевича. На відміну від натрій цитрату, який є лише слабким відновником і в процесі реакції утворює побічні продукти окиснення, що можуть знижувати біосумісність та потребують додаткового очищення золю, фітореагенти бузку одночасно забезпечують відновлення Ag^+ -йонів і стабілізацію утворених наночастинок без формування токсичних домішок. Природна різноманітність біоактивних компонентів у квітах, листі та корі дає можливість ширше регулювати швидкість синтезу та розміри частинок порівняно з цитратним способом. Органічна оболонка рослинного походження підвищує стабільність та потенційну біосумісність наночастинок, що робить запропонований метод екологічно чистішим, технологічно гнучкішим і перспективнішим для подальших біомедичних застосувань.

Висновки

В результаті проведеного дослідження розроблено методику одержання

наночастинок срібла з використанням екстрактів різних частин бузку звичайного. Встановлено, що фітореагенти бузку звичайного виконують подвійну роль у синтезі наночастинок, а саме відновника та стабілізатора. Утворення наночастинок срібла було підтверджено конусом Тіндала та спектрофотометрично за наявністю максимуму поглинання близько 400 нм, що є характерним для нанорозмірного срібла. Показано, що найкращим відновником у синтезі наночастинок срібла є квіти бузку звичайного, порівняно з його листям та корою. Методом рентгенівської дифракції встановлено, що одержані наночастинки срібла мають гранецентровану кристалічну ґратку з розмірами частинок від 18 нм до 48 нм, залежно від використаного екстракту.

Список використаних джерел

1. Abbas R., Luo J., Qi X., Naz A., Khan I. A., Liu H., Yu S., Wei J. Silver Nanoparticles: Synthesis, Structure, Properties and Applications. *Nanomaterials*. 2024, 14(17). 1425. Doi: 10.3390/nano14171425.
2. Afzal O., Altamimi A.S., Nadeem M.S., Alzarea S.I., Almalki W.H., Tariq A., Mubeen B., Murtaza B.N., Iftikhar S., Riaz N. Nanoparticles in drug delivery: From history to therapeutic applications. *Nanomaterials*, 2022, 12. 4494. Doi: 10.3390/nano12244494.
3. Fahim M., Shahzaib A., Nishat N., Jahan A., Bhat T.A., Inam A. Green synthesis of silver nanoparticles: A comprehensive review of methods, influencing factors, and applications. *JCIS Open*, 2024, 16. 100125. Doi: 10.1016/j.jciso.2024.100125.
4. Mladenova B., Diankov S., Karsheva M., Stankov S., Hinkov I. Plant mediated synthesis of silver nanoparticles using extracts from *Tilia cordata*, *Matricaria chamomilla*, *Calendula officinalis* and *Lavandula angustifolia* flowers. *Journal of Chemical Technology and Metallurgy*. 2018, 53 (4). 623–630.
5. Hemmati S., Rashtiani A., Zangeneh M., Mohammadi P., Zangeneh A., Veisi H. Green synthesis and characterization of silver nanoparticles using *Fritillaria* flower extract and their antibacterial activity against some human pathogens. *Polyhedron*, 2019, 158. 8–14. Doi: 10.1016/j.poly.2018.10.049.
6. Cheng H-J., Wang H., Zhang J-Z. Phytofabrication of Silver Nanoparticles Using Three Flower Extracts and Their Antibacterial Activities Against Pathogen *Ralstonia solanacearum* Strain YY06 of Bacterial Wilt. *Front. Microbiol.*, 2020, 11. 247. Doi: 10.3389/fmicb.2020.02110.
7. Padalia H., Moteriya P., Chanda S. Green synthesis

of silver nanoparticles from marigold flower and its synergistic antimicrobial potential. *Arabian Journal of Chemistry*, 2015, 8 (5). 732–741. Doi: 10.1016/j.arabjc.2014.11.015.

8. Arokiyaraj S., Arasu M.V., Vincent S., Prakash N. U., Choi S. H., Oh Y.-K., Choi K.C., Kim K.H. Rapid green synthesis of silver nanoparticles from *Chrysanthemum indicum* L and its antibacterial and cytotoxic effects: an in vitro study. *International Journal of Nanomedicine*. 2014, 9. 379–387. Doi: 10.2147/IJN.S53546.

9. Yousefzadeh-Valendeh S., Fattahi M., Asghari B., Alizadeh Z. Dandelion flower-fabricated Ag nanoparticles versus synthetic ones with characterization and determination of photocatalytic, antioxidant, antibacterial, and α -glucosidase inhibitory activities. *Scientific Reports*. 2023, 13. 15444. Doi: 10.1038/s41598-023-42756-0.

10. Kandiah M., Chandrasekaran K.N. Green Synthesis of Silver Nanoparticles Using *Catharanthus roseus* Flower Extracts and the Determination of Their Antioxidant, Antimicrobial, and Photocatalytic Activity. *Journal of Nanotechnology*. 2021, 18. Doi: 10.1155/2021/5512786.

11. Erenler R. Green synthesis of silver nanoparticles using syringe vulgaris flowers. *1st International silk road conference*. 2003, 569–573.

12. Павар А.П., Нактоде К.С., Мунголе А.Дж. “Зелений” синтез наночастинок срібла з цілого рослинного екстракту, їх фізичні характеристики, антиоксидантні та антибактеріальні властивості. *Фізика і хімія твердого тіла*. 2023, 24 (4). 640.

13. Марійчук Р., Біркнерова В. Дослідження процесу утворення срібних наночастинок за допомогою рослинних екстрактів. *Наук. вісник Ужгород. ун-ту (Сер. Хімія)*. 2014, 1 (31). 28.

14. Rajan R., Chandran K., Harper S. L., Yunb S.-II, Kalaichelvan P. T. Plant extract synthesized silver nanoparticles: An ongoing source of novel biocompatible materials. *Industrial Crops and Products*. 2015, 70. 356–373. Doi: 10.1016/j.indcrop.2015.03.015.

15. Asecka M.G., Knska-Bródka A., Magdziak Z., Czuchaj P., Bykowska J. Phenolic Compounds and Organic Acid Composition of *Syringa vulgaris* L. Flowers and Infusions. *Molecules*, 2023, 28. 5159. Doi: 10.3390/molecules28135159.

Стаття надійшла до редакції: 20.07.2025 р.

GREEN SYNTHESIS OF SILVER NANOPARTICLES USING LILAC

Litvin V.A.

*Bohdan Khmelnytsky National University of Cherkasy, blvd. Shevchenko 81,
18000, Cherkasy, Ukraine
litvin_valentina@ukr.net*

Silver nanoparticles obtained by green synthesis using various parts of plants have strong potential for application in medicine and industry. A promising but little-studied direction is the use of lilac (*Syringa vulgaris*) in the synthesis of silver nanoparticles. The article is devoted to the development of a method for obtaining silver nanoparticles by green synthesis using various parts of lilac (flowers, leaves, bark) and the study of the properties of the resulting product. As a result of the study, it was found that the phytoagents of common lilac perform a dual role in the synthesis of nanoparticles, namely, a reducer of Ag^+ ions and a stabilizer of the formed nanoparticles. The presence of nanoparticles in the solution was confirmed by the Tyndall cone and spectrophotometrically by the presence of an absorption maximum of about 400 nm, which is characteristic of nanosized silver. It was shown that the best reducing agent in the synthesis of silver nanoparticles is the flowers of common lilac, compared to its leaves and bark. By the method of X-ray diffraction, it was established that the obtained silver nanoparticles have a face-centered crystal lattice with particle sizes from 18 nm to 48 nm, depending on the extract used.

Keywords: green synthesis; nanoparticles; silver; common lilac.

References

1. Abbas R., Luo J., Qi X., Naz A., Khan I. A., Liu H., Yu S., Wei J. Silver Nanoparticles: Synthesis, Structure, Properties and Applications. *Nanomaterials*. 2024, 14(17). 1425. Doi: 10.3390/nano14171425.
2. Afzal O., Altamimi A.S., Nadeem M.S., Alzarea S.I., Almalki W.H., Tariq A., Mubeen B., Murtaza B.N., Iftikhar S., Riaz N. Nanoparticles in drug delivery: From history to therapeutic applications. *Nanomaterials*, 2022, 12. 4494. Doi: 10.3390/nano12244494.
3. Fahim M., Shahzaib A., Nishat N., Jahan A., Bhat T.A., Inam A. Green synthesis of silver nanoparticles: A comprehensive review of methods, influencing factors, and applications. *JCIS Open*, 2024, 16. 100125. Doi: 10.1016/j.jciso.2024.100125.
4. Mladenova B., Diankov S., Karsheva M., Stankov S., Hinkov I. Plant mediated synthesis of silver nanoparticles using extracts from *Tilia cordata*, *Matricaria chamomilla*, *Calendula officinalis* and *Lavandula angustifolia* flowers. *Journal of Chemical Technology and Metallurgy*. 2018, 53 (4). 623–630.
5. Hemmati S., Rashtiani A., Zangeneh M., Mohammadi P., Zangeneh A., Veisi H. Green synthesis and characterization of silver nanoparticles using *Fritillaria* flower extract and their antibacterial activity against some human pathogens. *Polyhedron*, 2019, 158. 8–14. Doi: 10.1016/j.poly.2018.10.049.
6. Cheng H-J., Wang H., Zhang J-Z. Phytofabrication of Silver Nanoparticles Using Three Flower Extracts and Their Antibacterial Activities Against Pathogen *Ralstonia solanacearum* Strain YY06 of Bacterial Wilt. *Front. Microbiol.*, 2020, 11. 247. Doi: 10.3389/fmicb.2020.02110.
7. Padalia H., Moteriya P., Chanda S. Green synthesis of silver nanoparticles from marigold flower and its synergistic antimicrobial potential. *Arabian Journal of Chemistry*, 2015, 8 (5). 732–743. Doi: 10.1016/j.arabjc.2014.11.015.
8. Arokiyaraj S., Arasu M.V., Vincent S., Prakash N. U., Choi S. H., Oh Y.-K., Choi K.C., Kim K.H. Rapid green synthesis of silver nanoparticles from *Chrysanthemum indicum* L and its antibacterial and cytotoxic effects: an in vitro study. *International Journal of Nanomedicine*. 2014, 9. 379–387. Doi: 10.2147/IJN.S53546.
9. Yousefzadeh-Valendeh S., Fattahi M., Asghari B., Alizadeh Z. Dandelion flower-fabricated Ag nanoparticles versus synthetic ones with characterization and determination of photocatalytic, antioxidant, antibacterial, and α -glucosidase inhibitory activities. *Scientific Reports*. 2023, 13. 15444. Doi: 10.1038/s41598-023-42756-0.
10. Kandiah M., Chandrasekaran K.N. Green Synthesis of Silver Nanoparticles Using *Catharanthus roseus* Flower Extracts and the Determination of Their Antioxidant, Antimicrobial, and Photocatalytic Activity. *Journal of Nanotechnology*. 2021, 18. Doi: 10.1155/2021/5512786.
11. Erenler R. Green synthesis of silver nanoparticles using syringe vulgaris flowers. *1st International silk road conference*. 2003, 569-573.
12. Pawar A.P., Naktode K.S., Mungole A.J. “Green” synthesis of silver nanoparticles from whole plant extract, their physical characteristics, antioxidant and antibacterial properties. *Solid State Physics and Chemistry*. 2023, 24 (4). 640–649. (In Ukr.)
13. Mariychuk R., Birknerova V. Investigation of the process of formation of silver nanoparticles using plant extracts. *Nauk. Visnyk Uzhhorod. un-tu (Ser. Chemistry)*. 2014, 1 (31). 28–30. (In Ukr.)
14. Rajan R., Chandran K., Harper S.L., Yunb S.-II, Kalaichelvan P.T. Plant extract synthesized silver nanoparticles: An ongoing source of novel biocompatible materials. *Industrial Crops and Products*. 2015, 70, 356–373. Doi: 10.1016/j.indcrop.2015.03.015.
15. Asecka M.G., Knska-Bródka A., Magdziak Z., Czuchaj P., Bykowska J. Phenolic Compounds and Organic Acid Composition of *Syringa vulgaris* L. Flowers and Infusions. *Molecules*, 2023, 28. 5159. Doi: 10.3390/molecules28135159.