

ХІМІЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 541.18.02;546.57

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.2-2/15>

Воробйова В.І.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Васильєв Г.С.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Пилипенко І.В.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Скиба М.І.

Український державний хіміко-технологічний університет

КОМПОЗИТ НА ОСНОВІ КАОЛІНУ ТА НАНОЧАСТИНОК СРІБЛА, СИНТЕЗОВАНИХ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ВІДХОДІВ ПЕРЕРОБКИ ВИНОГРАДУ

*Представлено результати дослідження щодо синтезу нанодисперсії срібла з використанням екстракту жмиху винограду як відновника та стабілізатора. Згідно з аналізом даних рідинної хромато-мас-спектроскопії встановлено, що основними компонентами екстракту є поліфеноли та флавоноїди. Дослідження синтезованого колоїдного розчину наночастинок срібла з використанням методу динамічного та електрофоретичного світлорозсіяння показали, що система має досить високу агрегативну та седиментаційну стійкість, що підтверджується величиною електрокінетичного потенціалу $-25,31$ мВ. Водночас, згідно з аналізом, середній розмір частинок становить $50-90$ нм. Встановлено, що негативний заряд наночастинок срібла в системі зумовлений наявністю адсорбованих на їхній поверхні молекул флавоноїдів або інших сполук, які додатково виступають стабілізаторами та обумовлюють знак і величину заряду. Результати досліджень зміни загального вмісту фенольних сполук і флавоноїдів у зразку рослинного екстракту до і після відновлення іонів срібла показують, що фенольні сполуки відіграють роль відновників для іонів срібла, тоді як флавоноїди діють як стабілізуючий компонент. На основі одержаного колоїдного розчину наночастинок срібла синтезовано композит AgNPs – каолін із вмістом срібла $1,26$ % (від маси каоліну) та оцінено його антибактеріальну активність. Результати аналізу зображень скануючої електронної мікроскопії дали можливість оцінити морфологію синтезованого композиту. Встановлено, що наночастинок срібла рівномірно розподілено на поверхні багатогранних пластинок каолініту та в деяких випадках можуть утворювати агрегати. Антибактеріальний тест показав, що композит AgNPs – каолін має виражену антибактеріальну активність щодо штаму *Escherichia coli*. Показано, що синтезований композит може бути використаний як основа під час створення альтернативних функціональних матеріалів для застосування в системах знезараження води.*

Ключові слова: наночастинок срібла, зелена хімія, наноконкомпозити, каолін, функціональні матеріали, антибактеріальні властивості

Постановка проблеми. Останніми роками спостерігається значний розвиток технологій синтезу функціональних матеріалів на основі наночастинок різних металів. Це підтверджується

збільшенням наукових публікацій щодо синтезу наноматеріалів і вивчення їхніх властивостей [1].

Серед сфер комерційного використання наночастинок металів можна виділити такі: функціо-

нальні покриття, електроніка, енергетика, медицина, фармацевтика, знезараження та очищення забруднених вод та багато інших напрямів. Окрім відомих методів синтезу з використанням як відновників чистих реагентів [2; 3], значний інтерес становлять методи зеленої хімії, які включають використання екстрактів рослин і мікроорганізмів, що є екологічно безпечними та нетоксичними. Сьогодні відомо багато різних методів синтезу наночастинок срібла (AgNPs) методами зеленої хімії [4].

Застосування рослин як джерел речовин-відновників для синтезу AgNPs привертає увагу завдяки швидкому, екологічному, та економічному процесу синтезу. Сьогодні досліджено велику кількість рослин для одержання екстрактів-відновників срібла на їхній основі. Відходи переробки плодівих та ягідних культур є перспективним джерелом речовин (аскорбінова кислота, поліфеноли, вуглеводи, амінокислоти, глікозиди та інші) для використання у процесах одержання наночастинок металів [5].

Використання розчинів наночастинок срібла як знезаражуючих та антибактеріальних реагентів для очищення забруднених вод стримується проблемою їх розділення після контактного методу використання. Для розв'язання такого завдання використовують іммобілізацію наночастинок на поверхні різних матеріалів, серед яких часто застосовують глинисті мінерали [6; 7]. Останні завдяки розвиненій питомій поверхні та здатності до іонного обміну є перспективними матеріалами для іммобілізації наночастинок різної природи та складу. Такий метод дає можливість отримувати матеріали (композити), які зберігають свої антибактеріальні властивості та в перспективі можуть бути використані в технологічних процесах водочищення та водопідготовки [8].

Для синтезу композитів на основі наночастинок срібла та мінералів найчастіше використовують глинисті мінерали групи монтморилоніту та каолініту. Численні роботи показують, що одним з основних факторів, який впливає на ефективність антимікробної дії, є масова частка срібла в композиті [9]. Крім того, на ефективність композиту впливають вид мінералу-носія та його характеристики (ємність обміну, тип структури), метод синтезу, концентрація та тип реагенту відновника [7; 8].

Постановка завдання. Поєднання методів зеленої хімії для синтезу наночастинок срібла з методом їх іммобілізації на поверхні шаруватих силікатів є, безумовно, актуальною проблемою.

Тому метою роботи є синтез нанокompозитів на основі AgNPs та каоліну з використанням екстракту з відходів переробки винограду та дослідження їхніх фізико-хімічних властивостей та антимікробної дії.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для проведення досліджень було використано такі реагенти та матеріали: нітрат срібла (хч), каолін мокрою збагачення (Глуховецьке родовище, Вінницька обл., Україна) та подрібнений сухий жмих винограду сорту «Гарначя Тинта». Перед екстракцією жмих піддавали подрібненню до частинок розміром 0,5 мм для підвищення ефективності масового перенесення активних компонентів із рослинного матеріалу до розчинника.

Екстракцію проводили дистильованою водою, беручи на одну масову частку сухої сировини десять об'ємів розчинника. Для підвищення ефективності процесу екстракції використовували ультразвукову ванну з частотою 27 кГц потужністю 40 Вт, що призводить до виникнення ультразвукової кавітації в розчині та інтенсифікації процесу екстракції. Тривалість екстракції становила дві години, водночас розчин постійно продувався повітрям. Як було показано в попередніх роботах [10; 11], продування повітрям підвищує відновні властивості рослинного екстракту. У кінці екстракції температура піднімалася до 40 °С завдяки дії ультразвуку. Отриману суспензію фільтрували через паперовий фільтр.

Дослідження компонентного складу екстракту жмиху винограду (ЕЖВ) проводили методом рідинної хроматографії – маспектрометрії. Використовувався спектрометр Finnigan MAT (SanJose, CA, USA) SpectraSystemP4000 в поєднанні з діодним детектором UV6000LP. Аналіз було проведено на рідинній колонці 4 мкм (Macherey-Nagel, Germany) з картриджем RP-18, 125×2 мм. Аналізи проводили з використанням іонізаційного розпилення на електричному полі (ESI) в режимі позитивного іона з набором 12 і 50 еВ, напругою капіляра на 4 кВ, напругою джерела 4,9 кВ, напругою детектора за 650 В і температури зонда 400 °С. Елюент А та елюент В становили 2,5 % оцтової кислоти та метанолу відповідно. Швидкість потоку становила 0,33 мл/хв, а використовувана програма елюції: 0–5 хв, 0 % В; 5–30 хв, 100 % В; 30–35 хв, 100 % В.

Загальний вміст фенольних сполук та флавоноїдів (ЗВФС) визначали спектрофотометричним методом (за реактивом Фоліна–Чокальтеу) в перерахунку на галову кислоту [12]. До 0,1 мл екстракту зразка додавали 3,1 мл дистильованої води, після

чого додавали 0,2 мл реагенту Фоліна-Чокальтеу й витримували протягом 6 хвилин. Після цього додавали 0,6 мл 20 % розчину Na_2CO_3 та інкубували/витримували впродовж 1 години за кімнатної температури, до утворення насиченого синього кольору. Через 20 хв вимірювали оптичну густину за 760 нм, а результати виражали у мг еквіваленту галової кислоти. Моногідрат галової кислоти використовували як стандарт для калібрувальної кривої. Під час визначення загального вмісту флавоноїдів до 0,5 мл екстракту додавали 0,1 мл 10 % хлориду алюмінію, 0,1 мл 1 М ацетату калію ($\text{CH}_3\text{CO}_2\text{K}$) та 4,3 мл дистильованої води та інкубували протягом 30 хвилин, після чого вимірювали поглинання за 415 нм за допомогою спектрофотометра ультрафіолетового діапазону (спектрофотометр UV-5800PC, FRU, Китай). Кінцеві значення виражали в мг еквівалентах кверцетину.

Для синтезу наночастинок срібла (AgNPs) використовували 10–30 мл екстракту та відповідний об'єм розчину нітрату срібла з концентрацією 0,01 моль/л. Змішування проводили за 80 °С та витримували 30 хв, після чого охолоджували до кімнатної температури.

Для характеристики сформованих наночастинок срібла реакційну суміш після синтезу аналізували за допомогою спектрофотометрії. Спектри колоїдних розчинів аналізували на спектрофотометрі UV-1800 (корпорація Shimadzu, Токіо, Японія) з використанням кварцових кювет у діапазоні довжин хвиль $\lambda = 200\text{--}800$ нм. Піки за $\lambda = 260\text{--}335$ нм свідчать про формування кластерів

срібла різної структури, а пік за $\lambda = 400\text{--}440$ нм про формування AgNPs. Розподіл розмірів частинок визначали за допомогою аналізатора розмірів частинок Zetasizer Nano ZS (Malvern Instruments Ltd, United Kingdom). Морфологію та розмір частинок оцінювали за допомогою скануючого електронного мікроскопа (SEM) Tescan Mira 3 LM.

Для синтезу зразків композиту AgNPs – каолін готували суспензію каоліну з масовою часткою каоліну 10 %, яку додатково обробляли на ультразвуковому диспергаторі УЗДН-2Т протягом 10 хв. До отриманої суспензії додавали розчин AgNPs до досягнення співвідношення 2 ммоль Ag/1 г каоліну та витримували під час постійного перемішування протягом 2 годин. Після цього тверду фазу відділяли центрифугуванням, висушували за 80 С, подрібнювали та просіювали крізь сито 0,2 мм.

Згідно з отриманими даними хромато-мас-спектрального аналізу в складі водного екстракту жмиху винограду в індивідуальному стані виділено та ідентифіковано близько 32 сполук (таблиця 1), серед яких домінують фенольні кислоти, а саме: галова кислота (5,1 %), 3,4-дигідроксибензойна кислота (4,5 %), 4-гідроксибензойна кислота (3,2 %), 3,4-діоксикорична кислота (2,2 %), антоціани (34 %), що структурно являють собою глікозиди. Група флавоноїдів представлена кверцетином та його похідним кверцетин-3-О-глюкозидом. У значній кількості наявні: катехін (8,4 %), епікатехіни (7,8 %) та епікатехінгалат (4,2 %).

Таблиця 1

Компонентний склад водного екстракту жмиху винограду

Назва сполуки	Час утримання, хв	Відсотковий вміст, %
1	2	3
<i>Антоціани</i>		
Дельфінідин-3-О-глікозид	9,7	1,2
Ціанідин-3-О-глікозид	12,8	1,1
Петунідин-3-О-глікозид	13,2	1,5
Пеонідин-3-О-глікозид	15,6	0,7
Мальвідин-3-О-глікозид	16,8	1,2
Дельфінідин-3-О-(ацетил-глікозид)	18,2	1,4
Петунідин-3-О-(ацетил-глікозид)	22,3	1,5
Пеонідин-3-О-(ацетил-глікозид)	24,6	1,6
Мальвідин-3-О-(ацетил-глікозид)	25,8	1,3
<i>Фенольні кислоти</i>		
Галова кислота	5,9	5,1
Гідроксиметилфурфураль	7,7	4,7
3,4-дигідроксибензойна кислота	12,7	4,5
(2R,3R)-2-[(E)-3-(3,4-Дигідроксифеніл)про-2-енол]окси-3-гідроксибутандіонова кислота	13,8	2,3

1	2	3
4-Гідроксибензойна кислота	18,0	3,2
(2R,3R)-2-Гідрокси-3-(((E)-3-(4-гідроксифеніл)акроїл)окси)сукцинова кислота	20,8	4,1
3,4-диоксикорична кислота (кавова кислота)	23,4	2,2
2-гідрокси-3-(((2E)-3-(4-гідрокси-3-метоксифеніл)проп-2-еноїл)окси)бутандіонова кислота (фертарова кислота)	24,3	4,2
3-метокси-4-гідроксикорична кислота		2,3
4-гідрокси-3,5-діметоксibenзойна кислота (бузкова кислота)	25,7	3,6
(2E)-3-(4-гідроксифеніл) проп-2-еноєва кислота (пара-кумарова кислота)	27,8	3,3
3,5-диметокси-4-гідроксикорична кислота (синапінова кислота)	27,1	2,4
3-метокси-4-гідроксикорична кислота (ферулова кислота)	27,5	1,8
<i>Антоксантини та стилбени</i>		
Процианідин В1	13,7	2,3
Катехін	17,5	8,4
Процианідин В2	21,4	2,9
Епікатехін	25,4	7,8
Епікатехінгалат	41,9	4,2
Кверцетин-3-О-глюкозид	50,4	1,6
Кемпферол 3-О-глюкозид	55,6	2,9
Транс-Резвератрол	59,2	4,2
Кверцетин	66,2	3,6
Кемпферол	71	3,6

Отримані результати компонентного складу свідчать, що рослинний екстракт містить значу кількість поліфенольних сполук, а отже потенційно є перспективним відновником для синтезу нанодисперсій срібла та стабілізатором для поліпшення їхньої агрегативної та седиментаційної стійкості.

Визначено загальний вміст фенольних сполук (ЗВФС) та флаваноїдів (ЗВФ) екстракту жмиху винограду (рис. 1). Отримані дані свідчать, що в екстракті загальний вміст фенольних сполук становить 64,2 мг/г еквівалента галоївої кислоти (ГК), а загальний вміст флаваноїдів – 48,9 мг/г еквівалента кверцетину. Кількості ЗВФС та ЗВФ в системі ЕЖВ – AgNPs після синтезу становлять 15,5 мг/г еквівалента галоївої кислоти і 31,8 мг/г еквівалента кверцетину, що відповідає 76 % і 35 % вмісту фенольних сполук і флаваноїдів в екстракті. Зміна співвідношення між ЗВФС і ЗВФ у вихідному екстракті та реакційній суміші ЕЖВ – AgNPs підтверджує роль поліфенольних сполук як відновників у процесі утворення наночастинок срібла з іонів Ag⁺.

Метод молекулярної абсорбційної спектроскопії у видимій і УФ ділянках дав змогу зареєструвати смугу поверхнево плазмонного резонансу, яка свідчить про наявність у розчині наночастинок срібла (рис. 2).

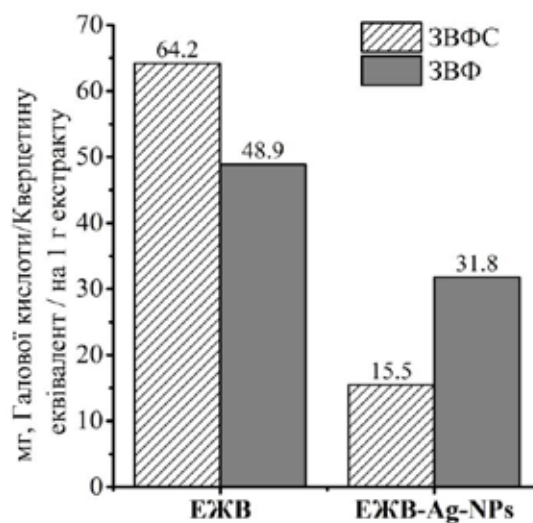


Рис. 1. Загальний вміст фенольних сполук (ЗВФС) та флаваноїдів (ЗВФ) водного екстракту жмиху винограду (ЕЖВ) та реакційної суміші ЕЖВ – AgNPs

Для отримання більш детальної інформації про стан поверхні наночастинок срібла в колоїдному розчині було визначено величину ζ потенціалу, яка становила -25,31 мВ. Негативний заряд наночастинок срібла зумовлений, імовірно, наявністю адсорбованих на їхній поверхні молекул флаваноїдів та інших сполук, які додатково висту-

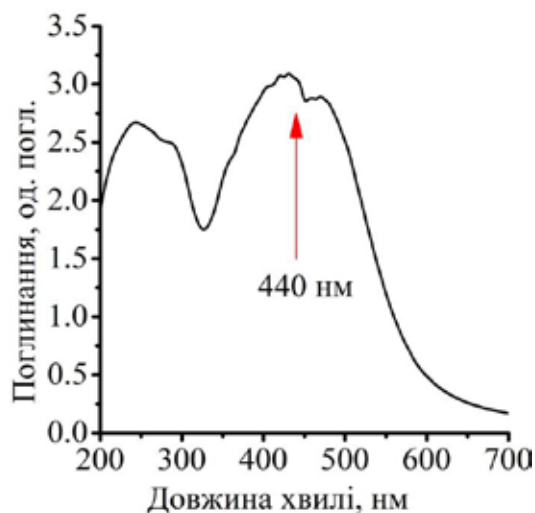


Рис. 2. Спектри поглинання ЕЖВ – AgNPs після 30 хв реакції, що показує характерну поверхнево-плазмонну резонансну смугу за 440 нм

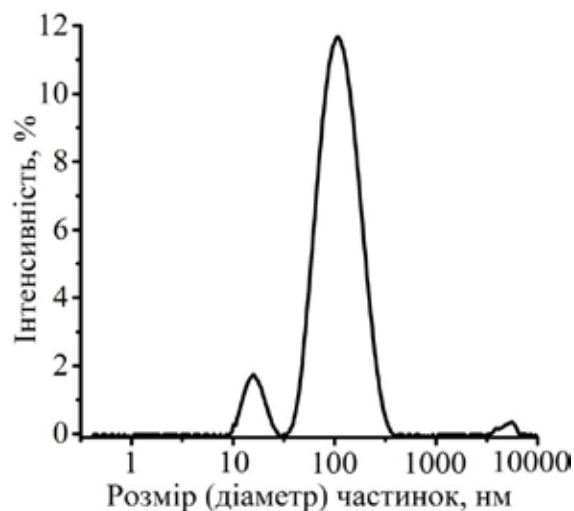


Рис. 3. Динамічний розподіл світлорозсіювання нанодисперсії ЕЖВ – AgNPs

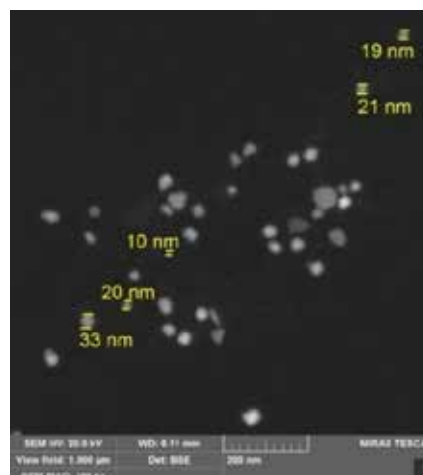
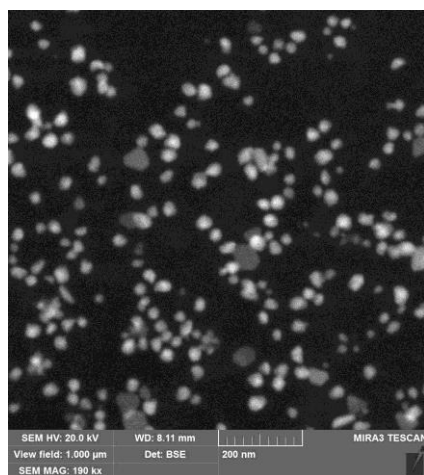


Рис. 4. SEM зображення нанодисперсії срібла ЕЖВ-AgNPs

пають стабілізаторами системи [13; 14]. Методом динамічного світлорозсіяння визначено середній розмір частинок, який становить $34,68 \pm 4,95$ нм. Загальний вигляд динамічного розподілу представлено на рисунку 3. Результати показали бімодальний розподіл, який має пікові інтенсивності приблизно на 15 і 100 нм.

Результати SEM-аналізу представлено на рисунку 4. SEM-аналіз надає додаткову інформацію про морфологію синтезованих AgNPs. Виявлено утворення окремих наночастинок срібла. Результати мікроскопічних досліджень щодо розміру наночастинок узгоджуються з даними, отриманими методом динамічного світлорозсіяння.

Показано, що наночастинок срібла, одержані шляхом відновлення екстрактом жмиху винограду, мають сферичну форму та розмір 50–90 нм,

що дає змогу запропонувати їх для створення композитів.

Методом скануючої електронної мікроскопії досліджено морфологію поверхні синтезованого композиту AgNPs – каолін (рис. 5). Встановлено, що композит має характерну морфологію поверхні, яка подібна до вихідного каоліну. Водночас спостерігаються характерні шари та угруповання елементарних структурних пакетів мінералу [15]. З аналізу SEM-знімків синтезованого композиту видно, що сферичні частинки нанорозмірного срібла відносно рівномірно розподілені у вигляді окремих скупчень (агломерації містяться на поверхні пластівців каоліну), що є закономірним для таких систем. Загалом із літературних даних відомо, що нанодисперсії срібла демонструють тенденцію до агломерації під час форму-

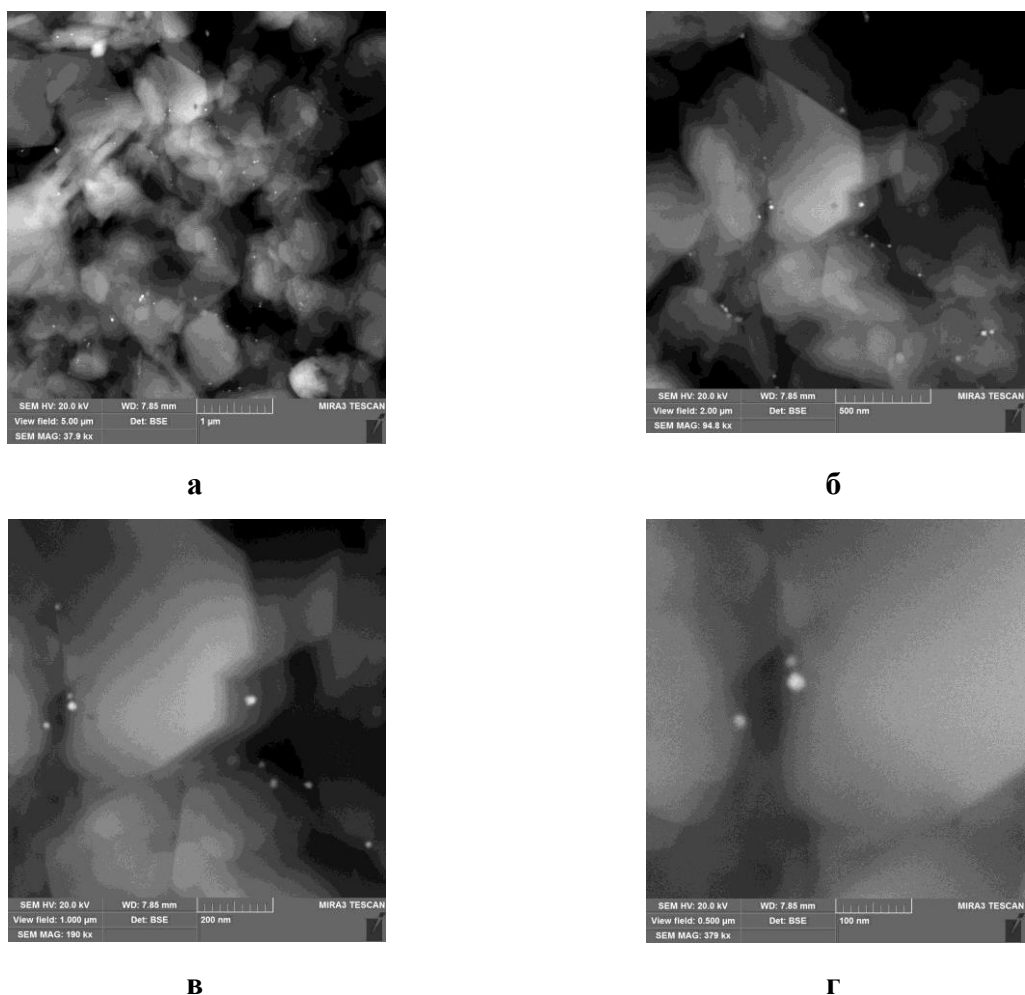


Рис. 5. SEM-зображення композиту AgNPs – каолін під час збільшення:
a – 1 мкм; б – 500 нм; в – 200 нм, г – 100 нм

вання композитних матеріалів через малі розміри та нерівномірне співвідношення поверхні каоліну до концентрації AgNPs.

Результати елементного аналізу поверхні (табл. 2) за допомогою енергодисперсійної спектроскопії свідчать про наявність срібла в досліджуваних зразках композиту (рис. 6).

Оцінка антибактеріальних властивостей синтезованого матеріалу із застосуванням стандартного диско-дифузійного методу вказує на досить високу ефективність антибактеріальної дії композиту AgNPs – каолін. На відміну від вихідного мінералу (рис. 7а), який не проявляє антимікробної дії, у випадку композиту (рис. 7б) спостерігається наявність зон пригнічення росту мікроорганізмів, що свідчить про його активну антибактеріальну дію.

Отже, поєднуючи високу ефективність сорбції каоліну та антибактеріальні властивості, синтезований композит може бути використаний у процесах очищення та знезараження забруднених вод [13].

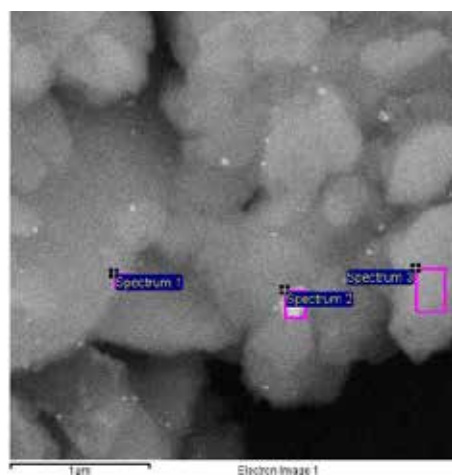
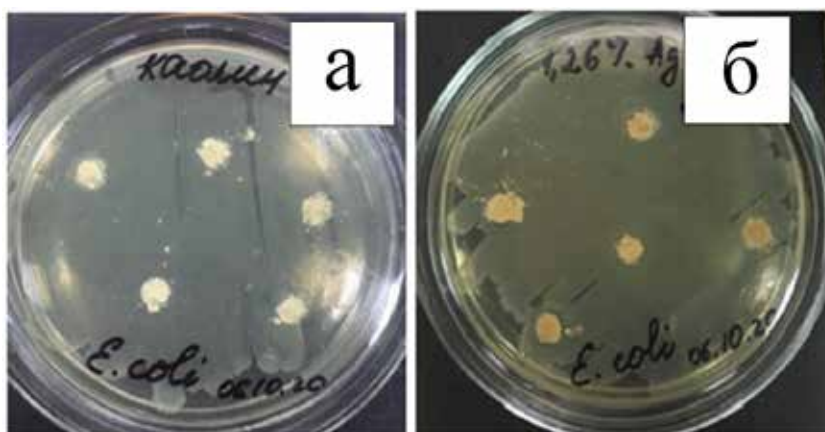


Рис. 6. SEM-зображення композиту AgNPs – каолін та елементний аналіз

Висновки. Отримано нанодисперсії срібла ЕЖВ – AgNPs під час використання екстракту жмиху винограду як відновника та стабілізатора. Згідно з аналізом рідинної хромато-маспектрос-

Відсоткова масова частка елементів у композиті AgNPs – каолін

Номер області спектру	O	Al	Si	P	Ag	Сума
Spectrum 1	59,08	17,03	17,73		6,16	100,00
Spectrum 2	61,74	18,45	16,30	2,61	0,90	100,00
Spectrum 3	62,41	18,17	19,42		0,00	100,00

Рис. 7. Результати визначення антибактеріальних властивостей каоліну (а) та композиту AgNPs – каолін (б) відносно *Escherichia coli*

копії основними компонентами екстракту є поліфеноли та флавоноїди. Методом динамічного та електрофоретичного світлорозсіяння визначено, що середній розмір частинок становить 50–90 нм. Колоїдний розчин нанодисперсії срібла є стабільним (електрокінетичний потенціал дорівнює -25,31 мВ). На основі результатів зміни загального вмісту фенольних сполук і флавоноїдів у зразка рослинного екстракту до і після відновлення іонів Ag^+ можна зробити висновок, що

фенольні сполуки сприяють відновленню іонів срібла, тоді як флавоноїди діють як стабілізуючий компонент. Отримано композит AgNPs – каолін із вмістом срібла 1,26 % та оцінено його антибактеріальну активність. Антибактеріальний тест показав, що композит AgNPs – каолін має антибактеріальну активність щодо штаму *Escherichia coli*. Синтезований композит може бути використано як перспективний матеріал у системах водопідготовки.

Список літератури:

1. Kumar H., Venkatesh N., Bhowmik H., Kuila A. Metallic nanoparticle: a review. *Biomedical Journal of Scientific & Technical Research*. 2018. Vol. 4. № 2. P. 3765–3775.
2. Mavani K., Shah M. Synthesis of silver nanoparticles by using sodium borohydride as a reducing agent. *International Journal of Engineering Research & Technology*. 2013. Vol. 2. № 3. P. 1–5.
3. Tatarchuk V.V., Sergievskaya A.P., Korda T.M., Druzhinina I.A., Zaikovskiy V.I. Kinetic factors in the synthesis of silver nanoparticles by reduction of Ag^+ with hydrazine in reverse micelles of triton N-42. *Chemistry of Materials*. 2013. Vol. 25. № 18. P. 3570–3579.
4. Srikar S.K., Giri D.D., Pal D.B., Mishra P.K., Upadhyay S.N. Green synthesis of silver nanoparticles: a review. *Green and Sustainable Chemistry*. 2016. Vol. 6. № 1. P. 34–56.
5. Ahmed S., Ahmad M., Swami B.L., Ikram S. A review on plants extract mediated synthesis of silver nanoparticles for antimicrobial applications: a green expertise. *Journal of advanced research*. 2016. Vol. 7. № 1. P. 17–28.
6. Ozer L.Y., Yusuf A., Uratani J.M., Cabal B., Diaz L.A., Torrecillas R., Palmisano G. Water microbial disinfection via supported nAg/Kaolin in a fixed-bed reactor configuration. *Applied Clay Science*. 2020. Vol. 184. P. 105387.
7. Cabal B., Torrecillas R., Malpartida F., Moya J.S. Heterogeneous precipitation of silver nanoparticles on kaolinite plates. *Nanotechnology*. 2010. Vol. 21. № 47. P. 475705.
8. Roy A., Joshi M., Butola B.S., Malhotra S. Antimicrobial and toxicological behavior of montmorillonite immobilized metal nanoparticles. *Materials Science and Engineering: C*. 2018. Vol. 93. P. 704–715.

9. Liu J., Hwang Y.S., Lenhart J.J. Heteroaggregation of bare silver nanoparticles with clay minerals. *Environmental Science: Nano*. 2015. Vol. 2. № 5. С. 528–540.
10. Vasyliiev G., Vorobyova V., Skiba M., Khrokalo L. Green synthesis of silver nanoparticles using waste products (apricot and black currant pomace) aqueous extracts and their characterization. *Advances in Materials Science and Engineering*. 2020. Vol. 2020. P. 4505787.
11. Vorobyova V., Vasyliiev G., Skiba M. Eco-friendly “green” synthesis of silver nanoparticles with the black currant pomace extract and its antibacterial, electrochemical, and antioxidant activity. *Applied Nanoscience*. 2020. Vol. 10. № 12. P. 4523–4534.
12. Arvouet-Grand A., Vennat B.N., Pourrat A., Legret P. Standardization of propolis extract and identification of principal constituents. *Journal de pharmacie de Belgique*. 1994. Vol. 49. № 6. P. 462–468.
13. Guizellini F.C., Franzin B.T., Silva M.A., Abra L.M., Hojo O., Pastre I.A., Fertonani F.L. Thermal, morphostructural and spectrometric characterization of an antibacterial kaolinite-based filter modified with silver for water treatment. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. 2020. № 143. P. 47–60.
14. Alfuraydi A.A., Devanesan S., Al-Ansari M., AlSalhi M.S., Ranjitsingh A.J. Eco-friendly green synthesis of silver nanoparticles from the sesame oil cake and its potential anticancer and antimicrobial activities. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*. 2019. № 192. P. 83–89.
15. Zhang Y., Liu Q., Xiang J., Zhang S., Frost R.L. Insight into morphology and structure of different particle sized kaolinites with same origin. *Journal of Colloid and Interface Science*. 2014. Vol. 426. P. 99–106.

Vorobyova V.I., Vasyliiev G.S., Pylypenko I.V., Skiba M.I. COMPOSITE BASED ON KAOLIN AND SILVER NANOPARTICLES SYNTHESIZED USING GRAPE PROCESSING WASTE

*The results of research on the synthesis of nanodispersion of silver using grape pomace extract as a reducing agent and stabilizer are presented. According to the analysis of liquid chromatography-mass spectroscopy data, it was found that the main components of the extract are polyphenols and flavonoids. Studies of the synthesized colloidal solution of silver nanoparticles by using dynamic and electrophoretic light scattering methods showed that the system has a sufficiently high aggregative and sedimentation resistance, which is confirmed by the value of the electrokinetic potential -25.31 mV. In this case, according to the analysis, the average particle size is 50–90 nm. It was found that the negative charge of silver nanoparticles in the system is due to the presence of molecules of flavonoids or other compounds adsorbed on their surface, which additionally act as stabilizers and determine the sign and magnitude of the charge. The results of studies of changes in the total content of phenolic compounds and flavonoids in the sample of plant extract before and after the reduction of silver ions show that phenolic compounds play the role of reducing agents for silver ions, while flavonoids act as a stabilizing component. Based on the obtained colloidal solution of silver nanoparticles, a composite of AgNPs – kaolin with a silver content of 1.26 % (by weight of kaolin) was synthesized and its antibacterial activity was evaluated. The results of the analysis of microscopic images by the scanning electron method allowed us to evaluate the morphology of the synthesized composite. It has been established that silver nanoparticles are evenly distributed on the surface of multifaceted kaolinite plates and, in some cases, can form aggregates. Antibacterial test showed that the composite AgNPs – kaolin has a pronounced antibacterial activity against the *Escherichia coli* strain. It is shown that the synthesized composite can be used as a basis in the creation of alternative functional materials for use in water disinfection systems.*

Key words: silver nanoparticles, green chemistry, nanocomposites, kaolin, functional materials, antibacterial properties.