

<https://doi.org/10.15407/dopovidi2026.02.057>

УДК 544.7:541.18+614.7

Н.В. Бошицька, <https://orcid.org/0000-0003-2241-1161>

І.В. Кононко, <https://orcid.org/0000-0003-1976-7116>

В.Д. Кліпов, <https://orcid.org/0000-0002-5634-1512>

О.М. Будиліна, <https://orcid.org/0009-0001-6341-1929>

Л.С. Проценко, <https://orcid.org/0009-0006-5569-841X>

Інститут проблем матеріалознавства ім. І. М. Францевича НАН України, Київ, Україна
E-mail: nata25lia@gmail.com

Композит на основі карбонової матриці, модифікованої біополімером хітозаном, для розроблення сорбційної антибактеріальної складової у фільтрах екстреного очищення питної води

Представлено членом-кореспондентом НАН України О.М. Григор'євим

Сорбційним методом проведено іммобілізацію водорозчинного коротколанцюгового олігосахариду хітозану на тканинну матрицю з активованих карбонових волокон різної об'ємної ємності і отримано карбоновий хітозанвмісний антибактеріальний композит (КХАК). Наявність олігосахариду хітозану в структурі композита підтверджено піком азоту на фоні лінії вуглецю та кисню карбонової матриці у спектрах, визначених аналітичним модулем точкового елементного аналізу сканувального електронного мікроскопа. Встановлено залежність кількості осажденного хітозану від об'ємної ємності карбонової матриці та від початкової концентрації хітозану в розчині. Закріплення хітозану на поверхні карбонової матриці фіксували за показником його наявності в зразках після 24 год витримування їх у воді. Зміни в об'ємній ємності зразків досліджено ваговим методом за об'ємом поглинутих парів бензолу. Встановлено, що після іммобілізації хітозану на карбонову матрицю зберігається значний залишковий сорбційний потенціал КХАК, що надає йому здатність поглинати хімічні забруднювачі та патогенні мікроорганізми в разі використання у фільтрах очищення води. Мікроструктуру зразків композиційного матеріалу та розташування агрегатів хітозану на поверхні досліджено за допомогою сканувального електронного мікроскопа. Методом енергодисперсійного рентгенівського аналізу доведено, що включення мінералів на поверхні мікроволокон КХАК є частинками хітозану завбільшки ~200 нм. Отриманий композит завдяки

Ц и т у в а н н я: Бошицька Н.В., Кононко І.В., Кліпов В.Д., Будиліна О.М., Проценко Л.С. Композит на основі карбонової матриці, модифікованої біополімером хітозаном, для розроблення сорбційної антибактеріальної складової у фільтрах екстреного очищення питної води. *Допов. Нац. акад. наук Укр.* 2026. № 2. С. 57—66. <https://doi.org/10.15407/dopovidi2026.02.057>

© Видавець ВД «Академперіодика» НАН України, 2026. Стаття опублікована за умовами відкритого доступу за ліцензією CC BY-NC-ND (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

зонам з підвищеною концентрацією хітозану та розвиненій поруватій поверхні є перспективним для видалення токсичних речовин, біологічних агентів, вірусів та бактерій, а отже, його можна використовувати як сорбувальний регенеративний компонент у фільтрах для екстреного очищення питної води в польових умовах

Ключові слова: композит, активований вуглецевий матеріал, хітозан олігосахарид, іммобілізація, сорбція, очищення води.

Вступ. Якість питної води істотно впливає на всі фізіологічні та біохімічні процеси, що відбуваються в організмі людини, від яких залежить загальний стан її здоров'я та тривалість життя. У сучасному світі під час поширення пандемій та екологічних катастроф, а також в умовах широкомасштабних військових дій у природну воду потрапляють токсичні речовини, біологічні агенти, віруси та бактерії, що призводить до спалахів епідемій, інфекційних захворювань та масових отруєнь [1]. Тому актуальним завданням сьогодення є забезпечення населення прифронтових територій, напівзруйнованих населених пунктів та інших небезпечних районів якісною водою. Це можна реалізувати шляхом розроблення та впровадження простих у використанні побутових фільтрів з антибактеріальними, протирадіаційними та високосорбційними властивостями, які здатні очищати та знезаражувати воду з різних, часто непередбачуваних, джерел для питних потреб.

Для очищення забрудненої води від різноманітних домішок зазвичай застосовують комбінацію кількох методів, вибір яких залежить, зокрема, від властивостей та концентрації шкідливих речовин, а також від того, для яких цілей буде використовуватись вода після їх видалення [2].

Одним із методів очищення, який зазвичай характеризується високою ефективністю, простою експлуатації, високою функціональністю та відносно низькою вартістю, є адсорбція з використанням групи відомих сорбентів, а саме: вуглецевих матеріалів у вигляді активованого вугілля та вуглецевих волокон із різною пористою структурою [3]. В останні роки підвищився інтерес до пошуку нових адсорбційних природних полімерів, зокрема таких, як хітозан та його похідні, які характеризуються стабільними здатністю до плівкоутворення і покривними властивостями, біосумісністю і біорозкладальністю, біоактивністю та біоадгезією, відсутністю токсичності тощо [2]. Сорбенти на основі хітозану застосовуються для очищення питної та стічних вод від хімічних та біологічних забруднювачів [4, 5].

Встановлено, що олігомери (олігосахариди) хітозану є більш ефективними сорбентами, ніж сам хітозан [6]. Олігосахариди хітозану (COS) — це модифікований продукт, який зазвичай отримують шляхом оброблення високомолекулярного хітозану (мол. маса 5—20 кДа і більше) за спеціальною біоферментною технологією, що спричиняє його деградацію до дрібних молекул COS, які містять меншу кількість мономерних одиниць. Олігохітозан (хітозан з коротким ланцюгом) має меншу молекулярну масу (у межах 0,3—5 кДа), вищий ступінь деацетилювання та полімеризації, низьку в'язкість і практично повністю розчиняється у воді, на відміну від хітозану, що обумовило його особливі біологічні властивості, такі як антимікробні, антиоксидантні та інші [7, 8]. Інноваційні успіхи в галузі дериватизації COS сприяли розширенню його застосування в біомедицині та нутрицевтичному виробництві, а також в системах очищення води для забезпечення екологічної безпеки. Проте COS є відносно новим, недостатньо вивченим біоматеріалом, тому потребує додаткових досліджень для повного розуміння виявлених властивостей та потенційних напрямів його застосування.

Оскільки хітозан у чистому вигляді має деякі обмеження, що потребують його додаткових хімічних модифікацій та щеплень, для покращення його функціональної ефективності запропоновано, зокрема, створення композиційних матеріалів на основі вуглецевих волокон, в яких хітозан використовується як сполучне або покриття [9, 10]. Таке поєднання дає змогу покращити низку властивостей обох складових — біосумісність, антимікробну активність, еластичність, гнучкість, а також підвищити ефективність адсорбційних властивостей вуглецевих волокон, що є корисним у системах фільтрації та знезараження води, отриманої з різних джерел.

Мета дослідження — розроблення і створення багатофункціонального карбонового хітозанвмісного антибактеріального композита (КХАК) як сорбувального елементу в фільтрах індивідуального використання для очищення питної води в польових умовах.

Матеріали та методи досліджень. Методологія дослідження базувалася на системному структурному аналізі, що поєднує бібліосемантичний, прогностичний підхід та узагальнення.

Як основу-носії КХАК використано карбонову матрицю з активованих вуглецевих волокон (АВВМ) медичного призначення, розроблену авторами на матеріально-технічній базі Інституту проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України [11].

Об'єктами дослідження були зразки АВВМ з об'ємною ємністю (V_s) 0,3 та 1,0 см³/г, виготовлені у вигляді вуглецевої тканини, що відкриває широкі можливості для її цільового застосування як сорбувального елементу.

Як антиоксидантну та антибактеріальну домішки в процесі створення композита використовували водорозчинний коротколанцюговий хітозан COS (Biotech. Co., LTD, Китай) з молекулярною масою 1185 Да. Зразки АВВМ просочували розчинами олігосахариду хітозану в концентраціях 1 та 5 % протягом 1 год за температури 24 °С з подальшим відмиванням дистильованою водою та просушуванням. Отримані зразки КХАК з іммобілізованим COS витримували в дистильованій воді протягом 24 год для моделювання умов очищення питної води в експерименті.

Зміни в об'ємній ємності КХАК вивчали ваговим методом за об'ємом поглинутих парів бензолу (ГОСТ 5955—75).

Поверхневу структуру отриманих зразків КХАК досліджено методом сканувальної електронної мікроскопії (СЕМ), який базується на скануванні досліджуваного зразка тонко сфокусованим пучком електронів. У дослідженні використано мікроскоп Tescan Mira 3 LMU ("Tescan", Чехія) з таким режимом зйомки: прискорювальна напруга 10 кВ, густина струму 8 мА, розмір крокера 2,9 нм. Додатково для визначення елементного складу композита застосовували СЕМ-ЕДС аналіз.

Результати та їх обговорення. Згідно з результатами попередніх досліджень, базовий матеріал АВВМ, отриманий з деревної гідратцелюлози методом піролітичного синтезу, характеризується наявністю значної кількості ненасичених зв'язків, що забезпечує його як загальні сорбційні, так і високі хемосорбційні властивості щодо широкого спектра речовин різного походження [11]. Відповідно до поставленого завдання, нами проведено модифікування АВВМ за допомогою COS у різних концентраціях і отримано зразки КХАК.

Морфологію поверхні АВВМ досліджували методом СЕМ з використанням точкового аналізатора хімічних елементів. Як видно на мікрофотографіях (рис. 1), поверхня вихідних зразків АВВМ мала поверхневі неоднорідності у вигляді округлих кратерів розміром

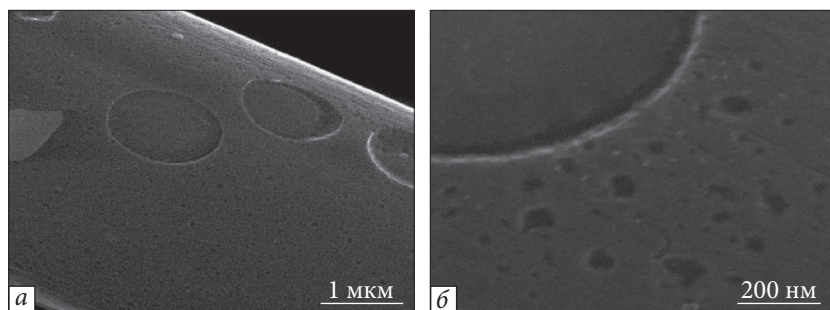
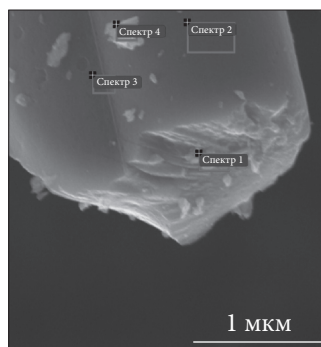


Рис. 1. Морфологія поверхні зразків АВВМ: а — $V_s = 0,3 \text{ см}^3/\text{г}$; б — $V_s = 1,0 \text{ см}^3/\text{г}$



Спектр	C	N	O	Al	Si
1	99,44		5,26	0,30	
2	97,48		2,31		0,20
3	97,28		2,56		0,16
4	95,39	0,58	3,86		0,17

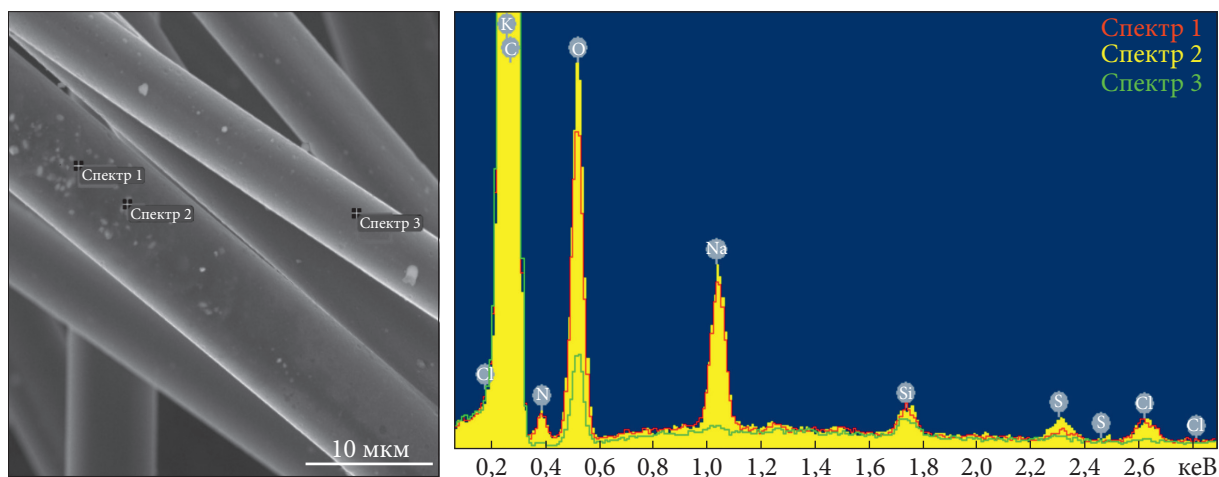
Рис. 2. Морфологія поверхні та елементний склад включень (мас. %) у довільно обраних точках для зразків КХАК $V_s = 0,3 \text{ см}^3/\text{г} + 1 \%$ COS після інкубування в дистильованій воді протягом 24 год

~200 нм та велику кількість пор в діапазоні 10—20 нм, що є перспективним для можливого закріплення агрегатів COS.

Дослідженням поверхневої структури КХАК у розроблених композиційних зразках (об'ємна ємність $V_s = 0,3 + 1 \%$ COS) після інкубування в дистильованій воді протягом 24 год встановлено наявність олігосахариду хітозану у вигляді сліду азоту на поверхні, а його загальну кількість визначено на рівні фонових значень чутливості приладу (рис. 2). З мікрофотографій, наведених на рис. 2, видно, що процес сорбції COS відбувався, не за внутрішньо-дифузійним механізмом, а переважно на поверхні мікрОВОЛОКОН АВВМ.

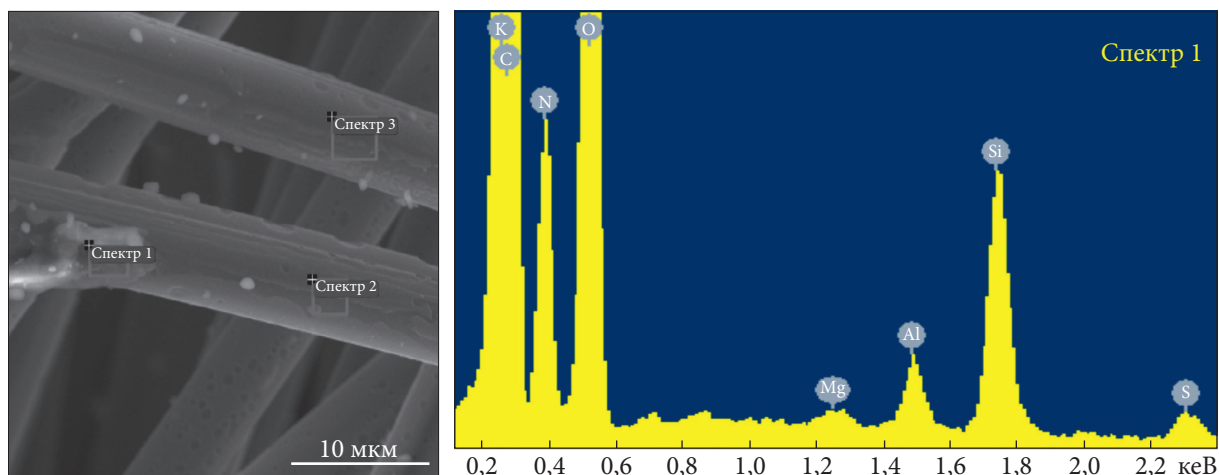
Дослідження поверхневої структури КХАК у зразках з об'ємною ємністю $V_s = 0,3 \text{ см}^3/\text{г} + 5 \%$ хітозан COS після інкубування в дистильованій воді протягом 24 год показало збереження олігосахариду хітозану в композиті, що підтверджувалося наявністю ліній азоту на спектрах СЕМ у довільно обраних точках у концентраціях 2,43—2,69 мас. % (рис. 3, а). Аналіз мікрофотографій та рентгенівських спектрів хімічних елементів зразка КХАК з об'ємною ємністю $V_s = 1,0 \text{ см}^3/\text{г} + 5 \%$ хітозан COS свідчить про наявність скупчень олігосахариду хітозану навіть після витримання у воді з концентрацією азоту 14,9 мас. % (див. рис. 3, б), що в ~12,4 раза більше, ніж для зразка з $V_s = 0,3 \text{ см}^3/\text{г}$.

Відомо, що в структурі молекули хітозану присутні аміногрупи (NH_2), а хітоолігосахариди (COS), у свою чергу, є короткими ланцюгами повторюваних одиниць *N*-ацетилглюкозаміну (хімічна формула: $\text{C}_8\text{H}_{15}\text{NO}_6$) [12].



Спектр	C	N	O	Na	Si	S	Cl	K
1	85,52	2,43	8,26	1,61	0,34	0,20	0,64	1,03
2	82,77	2,69	9,78	1,81	0,35	0,44	0,56	1,60
3	95,98		3,70		0,32			

а



Спектр	C	N	O	Mg	Al	Si	S	K
1	65,28	14,90	16,58	0,11	0,47	2,16	0,38	0,13
2	93,72		6,15				0,13	
3	92,50		7,23			0,10	0,17	

б

Рис. 3. Морфологія поверхні та елементний склад включень (мас. %) у довільно обраних точках для композита: а — вуглецеве волокно ($V_s = 0,3 \text{ см}^3/\text{г}$) + 5 % COS; б — вуглецеве волокно ($V_s = 1,0 \text{ см}^3/\text{г}$) + 5 % COS

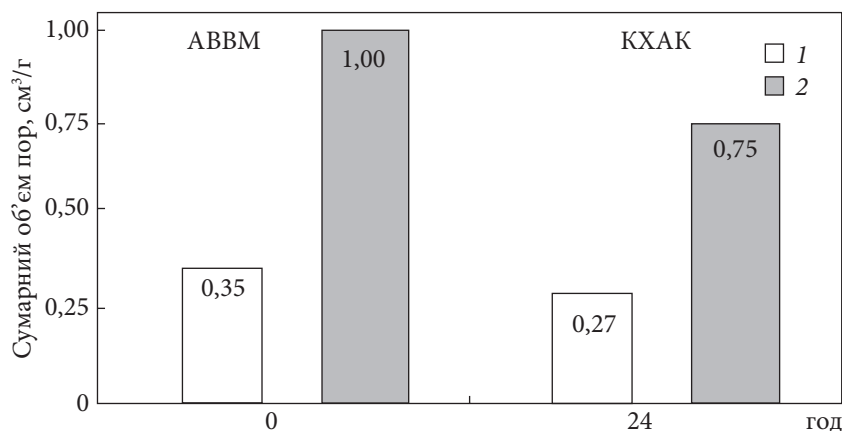


Рис. 4. Порівняння сумарного об'єму пор вихідних зразків АВВМ та зразків композита КХАК після 24 год витримування в дистильованій воді: 1 — вуглецеве волокно ($V_s = 0,3 \text{ см}^3/\text{г}$) + 5 % COS; 2 — вуглецеве волокно ($V_s = 1,0 \text{ см}^3/\text{г}$) + 5 % COS

На вуглецевій поверхні елементарна наявність хітозану підтверджується локальним підвищенням сигналу N_2 (і частково O_2) під час визначення аналітичним модулем елементарного аналізу [13]. Як показано в наших попередніх дослідженнях [14], у базовому матеріалі АВВМ азоту в елементарному складі не зафіксовано, а натомість встановлено наявність вуглецю та мікроелементів: кремнію, натрію, калію, марганцю, алюмінію, частина яких, вірогідно, потрапила до АВВМ із сировини — деревної целюлози, а частина — у ході технологічного процесу отримання АВВМ.

Наші попередні дослідження свідчать про високу сорбційну здатність АВВМ до поглинання пріоритетних забруднювачів водного середовища (фенолу, важких металів, хлору та хлорпохідних) [3]. У зв'язку з цим завданням цього дослідження було не тільки забезпечити посадку хітозану на поверхні АВВМ, але й зберегти поглинальні властивості розробленого композита КХАК після іммобілізації COS без істотних змін його об'ємної ємності. Тому наступним етапом експерименту було вивчення сорбційних можливостей зразків КХАК (вихідних та після відмивання у воді) за об'ємом поглинутих парів бензолу і порівняння їх зі зразками АВВМ з відповідною пористою структурою (рис. 4).

Як видно з отриманих даних, після інкубування у воді зразки КХАК з $V_s = 0,3 \text{ см}^3/\text{г}$ + 5 % COS змінюють значення об'ємної ємності пор до $0,27 \text{ см}^3/\text{г}$, а для зразків з $V_s = 1,0 \text{ см}^3/\text{г}$ + 5 % COS цей показник зменшується до $0,75 \text{ см}^3/\text{г}$. Отже, можна припустити, що основна частина олігосахариду хітозану в зразках з об'ємною ємністю пор $1,0 \text{ см}^3/\text{г}$ сорбується пористою структурою композита і зберігається в його об'ємі, а агрегати COS розміщуються точково на поверхні вуглецевих мікріволокон, не перекриваючи повністю пористу структуру, що зможе забезпечити збереження значного сорбційного потенціалу КХАК в експлуатації.

Головним критерієм безпеки питної води в епідемічному відношенні є повна відсутність шкідливих мікроорганізмів — збудників захворювань. У наших попередніх дослідженнях [15] встановлено, що розроблений АВВМ має бактеріостатичні властивості, які можуть бути трансформовані в бактерицидні шляхом нанесення на його поверхню біологічно активних речовин. Оскільки відомо, що біополімер хітозан і, зокрема, олігосахариди

хітозану з молекулярною масою менше 5000 Да мають здатність перешкоджати росту та розмноженню патогенів [8], можна припустити, що нанесення його на поверхню АВВМ підвищить функціональну ефективність матеріалу фільтра для знезараження води.

Висновки.

1. Отримано карбоновий хітозанвмісний антибактеріальний композит сорбційної дії у формі тканини, що містить карбонову матрицю АВВМ, волокна якої просочені водорозчинним коротколанцюговим олігосахаридом хітозану.

2. Наявність олігосахариду хітозану в структурі композита підтверджено піком азоту на фоні ліній вуглецю та кисню карбонової матриці у спектрах, визначених аналітичним модулем точкового елементного аналізу (EDS/WDS) сканувального електронного мікроскопа.

3. Методом енергодисперсійного рентгенівського аналізу доведено, що включення мінералів на поверхні мікрОВОЛОКОН КХАК є агрегатами хітозану завбільшки ~ 200 нм.

4. Встановлено ефективність нанесення водорозчинного хітозану на зразки АВВМ різної об'ємної ємності сорбційним методом. Визначено залежність кількості осажденного на АВВМ хітозану від похідної об'ємної ємності карбонової матриці та від початкової концентрації хітозану в розчині.

5. Показано, що 5%-на концентрація COS на зразку з об'ємною ємністю пор $1,0 \text{ см}^3/\text{г}$ забезпечує збереження хітозану в композиті.

6. Підтверджено стабільність утримування хітозану пористою поверхнею волокон АВВМ після 24 год витримування зразків КХАК у воді.

7. Після іммобілізації хітозану на карбонову матрицю зберігається розвинена система сорбційних пор із середнім діаметром 10—20 нм, що забезпечує значний залишковий сорбційний потенціал КХАК після 24 год витримування його у воді.

8. Отриманий композит КХАК завдяки зонам з підвищеною концентрацією хітозану та розвиненій поруватій поверхні є перспективним матеріалом для видалення токсичних речовин, біологічних агентів, вірусів та бактерій і може використовуватись як сорбувальний регенеративний компонент у фільтрах для екстреного очищення питної води в польових умовах.

ЦИТОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Верголяс М.Р., Іванько О.М., Маврикін Є.О. Аналіз використання УФ-випромінювання для знезараження питної води при надзвичайних ситуаціях. *Український журнал військової медицини*. 2023. **4**, № 4. С. 26—32. [https://doi.org/10.46847/ujmm.2023.4\(4\)-026](https://doi.org/10.46847/ujmm.2023.4(4)-026)
2. Kaczorowska M.A., Bozejewicz D. The application of chitosan-based adsorbents for the removal of hazardous pollutants from aqueous solutions — A review. *Sustainability*. 2024. **16**, № 7. 2615. <https://doi.org/10.3390/su16072615>
3. Кононко І.В., Щербицька О.В., Кліпов В.Д., Сергєєв В.П., Уварова І.В. Вуглецевий наноструктурний волокнистий матеріал та екологія. Застосування для захисту довкілля. *Довкілля та здоров'я*. 2014. № 4. С. 24—29.
4. Вербич С. В., Зайченко М. В., Брик М. Т., Глевацька К. В. Формування та характеристики композиційних хітозан-целюлозних ультрафільтраційних мембран. *Наукові записки НаУКМА. Хімічні науки і технології*. 2005. **42**. С. 3—8.
5. Pal P., Pal A., Nakashima K., Yadav V.K. Applications of chitosan in environmental remediation: A review. *Chemosphere*. 2021. **266**. 128934. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128934>
6. Будняк Т., Яновська Е., Іщенко М., Тьортих В., Адсорбція йонів важких металів хітозаном, зшитим глутаровим альдегідом. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Хімія*. 2014. **50**, вип. 1. С. 35—38.
7. Kulikov S.N., Lisovskaya S.A., Zelenikhin P.V., Bezrodnykh E.A., Shakirova D.R., Blagodatskikh I.V., Tikhonov V.E. Antifungal activity of oligochitosans (short chain chitosans) against some *Candida* species and clinical isolates of *Candida albicans*: Molecular weight-activity relationship. *Eur. J. Med. Chem.* 2014. **74**. P. 169—178. <https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2013.12.017>
8. Naveed M., Phil L., Sohail M., Hasnat M., Baig M.M.F.A., Ihsan A.U., Shumzaid M., Kakar M.U., Khan T.M., Akabar M.D., Hussain M.I., Zhou Q.-G. Chitosan oligosaccharide (COS): An overview. *Int. J. Biol. Macromol.* 2019. **129**. P. 827—843. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.01.192>
9. Zai X., Guo M., Huang X., Zhang H., Chen Y., Ji H., Fu Y. Influence of cathode modification by chitosan and Fe³⁺ on the electrochemical performance of marine sediment microbial fuel cell. *J. Ocean Univ. China*. 2023. **22**, № 3. P. 709—716. <https://doi.org/10.1007/s11802-023-5343-9>
10. Bilgin Simsek, E., Saloglu, D., Ozcan, N., Novak, I., & Berek, D. Carbon fiber embedded chitosan/PVA composites for decontamination of endocrine disruptor bisphenol-A from water. *J. Taiwan Inst. Chem. Eng.* 2017. **70**. P. 291—301. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2016.11.008>
11. Кононко І.В., Кліпов В.Д., Бошицька Н.В., Проценко Л.С., Кононко Н.В. Особливості іммобілізації наносрібла на активовану вуглецеву волокнисту наноструктурну матрицю для розробки антибактеріальних матеріалів медичного призначення. *Допов. Нац. акад. наук Укр.* 2019. № 11. С. 49—56. <https://doi.org/10.15407/dopovidi2019.11.049>
12. Mohite P., Shah S.R., Singh S., Rajput T., Munde S., Ade N., Prajapati B.G., Paliwal H., Mori D.D., Dudhrejiya A.V. Chitosan and chito-oligosaccharide: a versatile biopolymer with endless grafting possibilities for multifarious applications. *Front. Bioeng. Biotechnol.* 2023. **11**. 1190879. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2023.1190879>
13. Klinkhammer K., Hohenbild H., Hoque M.T., Elze L., Teshay H., Mahltig B. Functionalization of technical textiles with chitosan. *Textiles*. 2024. **4**, № 1. P. 70—90. <https://doi.org/10.3390/textiles4010006>
14. Кліпов В.Д., Кононко І.В., Бошицька Н.В., Сергєєв В.П., Кононко Н.В. Вуглецева волокниста кремнієвмісна композиційна матриця для розроблення сучасних бактерицидних апікаційних засобів у хірургії. *Допов. Нац. акад. наук Укр.* 2024. № 5. С. 26—37. <https://doi.org/10.15407/dopovidi2024.05.026>
15. Кононко І.В., Бошицька Н.В., Сергєєв В.П., Кліпов В.Д., Кононко Н.В. Вуглецевий наноструктурний матеріал для багаторазових захисних масок. *Допов. Нац. акад. наук Укр.* 2021. № 6. С. 78—86. <https://doi.org/10.15407/dopovidi2021.06.078>

Надійшла до редакції 18.03.2026

REFERENCES

1. Vergolyas, M. R., Ivanko, O. M. & Mavrykin, Ye. O. (2023). Analysis of UV radiation using for disinfection of drinking water in emergency situations. *Ukrainian Journal of Military Medicine*, 4, No. 4, pp. 26-32 (in Ukrainian). [https://doi.org/10.46847/ujmm.2023.4\(4\)-026](https://doi.org/10.46847/ujmm.2023.4(4)-026)
2. Kaczorowska, M. A. & Bozejewicz, D. (2024). The application of chitosan-based adsorbents for the removal of hazardous pollutants from aqueous solutions — A review. *Sustainability*, 16, No. 7, 2615. <https://doi.org/10.3390/su16072615>
3. Kononko, I. V., Shcherbytska, Ye. V., Klipov, V. D., Sergiyev, V. P. & Uvarova, I. V. (2014). Nanostructured fibrous carbon material and ecology. Using the material for environment protection. *Environment and Health*, No. 4, pp. 24-29 (in Ukrainian).
4. Verbych, S. V., Zaichenko, M. V., Bryk, M. T. & Glevatska, K. V. (2005). Formation and characteristics of chitosan-cellulose composite ultrafiltration membranes. *Scientific notes of NaUKMA: Chemical sciences and technologies*, 42, pp. 3-8 (in Ukrainian).
5. Pal, P., Pal, A., Nakashima, K. & Yadav, B. K. (2021). Applications of chitosan in environmental remediation: A review. *Chemosphere*, 266, 128934. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128934>
6. Budnyak, T., Yanovska, E., Ischenko, M. & Tertykh, V. (2014). Adsorption of heavy metals by chitosan crosslinked with glutaraldehyde. *Bulletin of the Taras Shevchenko National University of Kyiv. Chemistry*, 50, Iss. 1, pp. 35-38 (in Ukrainian).
7. Kulikov, S. N., Lisovskaya, S. A., Zelenikhin, P. V., Bezrodnykh, E. A., Shakirova, D. R., Blagodatskikh, I. V. & Tikhonov, V. E. (2014). Antifungal activity of oligochitosans (short chain chitosans) against some *Candida* species and clinical isolates of *Candida albicans*: Molecular weight-activity relationship. *Eur. J. Med. Chem.*, 74, pp. 169-178. <https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2013.12.017>
8. Naveed, M., Phil, L., Sohail, M., Hasnat, M., Baig, M. M. F. A., Ihsan, A. U., Shumzaid, M., Kakar, M. U., Khan, T. M., Akabar, M. D., Hussain, M. I. & Zhou, Q.-G. (2019). Chitosan oligosaccharide (COS): An overview. *Int. J. Biol. Macromol.*, 129, pp. 827-843. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.01.192>
9. Zai, X., Guo, M., Huang, X., Zhang, H., Chen, Y., Ji, H. & Fu, Y. (2023). Influence of cathode modification by chitosan and Fe^{3+} on the electrochemical performance of marine sediment microbial fuel cell. *J. Ocean Univ. China*, 22, No. 3, pp. 709-716. <https://doi.org/10.1007/s11802-023-5343-9>
10. Simsek, E. B., Saloglu, D., Ozcan, N., Novak, I. & Berek, D. (2017). Carbon fiber embedded chitosan/PVA composites for decontamination of endocrine disruptor bisphenol-A from water. *J. Taiwan Inst. Chem. Eng.*, 70, pp. 291-301. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2016.11.008>
11. Kononko, I. V., Klipov, V. D., Boshytska, N. V., Protsenko, L. S. & Kononko, N. V. (2019). Features of the immobilization of nanosilver on an activated carbon fiber nanostructural matrix for the development of antibacterial materials for medical use. *Dopov. Nac. akad. nauk Ukr.*, No. 11, pp. 49-56 (in Ukrainian). <https://doi.org/10.15407/dopovidi2019.11.049>
12. Mohite, P., Shah, S. R., Singh, S., Rajput, T., Munde, S., Ade, N., Prajapati, B. G., Paliwal, H., Mori, D. D. & Dudhrejiya, A. V. (2023). Chitosan and chito-oligosaccharide: a versatile biopolymer with endless grafting possibilities for multifarious applications. *Front. Bioeng. Biotechnol.*, 11, 1190879. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2023.1190879>
13. Klinkhammer, K., Hohenbild, H., Hoque, M.T., Elze, L., Teshay, H. & Mahltig, B. (2024). Functionalization of technical textiles with chitosan. *Textiles*, 4, No. 1, pp. 70-90. <https://doi.org/10.3390/textiles4010006>
14. Klipov, V. D., Kononko, I. V., Boshytska, N. V., Serhieiev, V. P. & Kononko, N. V. (2024). Carbon silicon-containing composite matrix for the development of advanced bactericidal application agents in surgery. *Dopov. Nac. akad. nauk Ukr.*, No. 5, pp. 26-37 (in Ukrainian). <https://doi.org/10.15407/dopovidi2024.05.026>
15. Kononko, I. V., Boshytska, N. V., Sergeev, V. P., Klipov, V. D. & Kononko, N. V. (2021). Carbon nanostructured material for multiple protective masks. *Dopov. Nac. akad. nauk Ukr.*, No. 6, pp. 78-86 (in Ukrainian). <https://doi.org/10.15407/dopovidi2021.06.078>

Received 18.03.2026

N.V. Boshytska, <https://orcid.org/0000-0003-2241-1161>

I.V. Kononko, <https://orcid.org/0000-0003-1976-7116>

V.D. Klipov, <https://orcid.org/0000-0002-5634-1512>

O.M. Budylyna, <https://orcid.org/0009-0001-6341-1929>

L.S. Protsenko, <https://orcid.org/0009-0006-5569-841X>

Frantsevich Institute for Problems of Materials Science of the NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine

E-mail: nata25lia@gmail.com

COMPOSITE BASED ON CARBON MATRIX MODIFIED
WITH BIOPOLYMER CHITOSAN FOR THE DEVELOPMENT
OF SORPTION ANTIBACTERIAL COMPONENT IN EMERGENCY
DRINKING WATER PURIFICATION FILTERS

The work involved the immobilization of a water-soluble short-chain chitosan oligosaccharide onto a fibrous textile matrix of activated carbon with varying volumetric capacities via sorption, resulting in a carbon composite containing chitosan that exhibits antibacterial properties (CCAC). The presence of chitosan oligosaccharide in the composite structure was confirmed by a nitrogen peak against the background of carbon and oxygen lines of the carbon matrix in the spectra determined using the point element analysis module of a scanning electron microscope. The dependence of precipitated chitosan amount on the volumetric capacity of carbon matrix and on chitosan initial concentration in the solution was revealed. The immobilization of chitosan on the surface of the carbon matrix was confirmed by its presence in the samples 24 hours after immersion in water. Changes in the bulk volume of the initial samples and the samples after COS application were studied using the desiccator method via benzene vapor absorption. It was found that after immobilization of chitosan on the carbon matrix, a significant residual sorption capacity of CCAC is retained, which will allow it to absorb chemical contaminants and pathogenic microorganisms when used in water purification filters. The microstructure of the composite material samples and the location of chitosan aggregates on their surface was investigated using a scanning electron microscope. Energy-dispersive X-ray analysis has proven that mineral inclusions on the surface of CCAC microfibers are the chitosan particles of ~200 nm in size. Obtained composite, due to zones of increased chitosan concentration and the developed porous surface, is promising for removal of toxic substances, biological agents, viruses and bacteria when used as a basic sorbent regenerative component in filters for emergency purification of drinking water in field conditions.

Keywords: composite, activated carbon fibrous material, chitosan oligosaccharide, immobilization, sorption, water purification.