

<https://doi.org/10.30857/2786-5371.2026.2.1>

Received: 26.03.2026
Revised: 10.04.2026
Accepted: 23.04.2026

УДК 577.114.083

Олександр КАЛІНІЧЕНКО, Ольга ЮНГІН

Київський національний університет технологій та дизайну, Україна

ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ТА РЕОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЕКЗОПОЛІСАХАРИДІВ, СИНТЕЗОВАНИХ ЕНДОФІТНИМИ МІКРООРГАНІЗМАМИ

Мета. Встановити фізико-хімічні та реологічні характеристики екзополісахаридів (ЕПС), синтезованих планктонними та біоплівковими клітинами психротолерантних ендоефітних мікроорганізмів, асоційованих з рослинами Антарктики, для подальшого використання у хімічних технологіях переробки полімерів.

Методика. Об'єктами дослідження були ЕПС, синтезовані штамами-ендофітами судинних рослин Антарктики *Haftnia psychrotolerans* 25.2, *Pseudomonas* sp. 39.4. Культивування мікроорганізмів проводили стаціонарно в поживному бульйоні (NB, HiMedia Ltd) за температури 25 °C протягом 6 діб. Для отримання ЕПС використовували планктонні клітини та сформовану біоплівку.

Екстракцію ЕПС здійснювали лужно-кислотним методом. Осаджені полімери висушували до сталої маси для гравіметричного визначення їх виходу. Фізико-хімічні властивості визначали за показниками рН, густини, відносної в'язкості, поверхневого натягу, вмісту вуглеводів та загального білка. Хімічну природу осаджених полімерів було досліджено методом FTIR-спектроскопії.

Результати. Доведено, що екзополісахариди, отримані з біоплівкової фракції, характеризувалися суттєво вищою відносною в'язкістю порівняно з планктонною формою, причому максимальні значення цього показника становили 2,76–2,813. FTIR-аналіз біоплівкових зразків підтвердив наявність характерних глікозидних зв'язків та супутніх білкових домішок (амід I та амід II), що корелює з високими адгезивними властивостями.

Наукова новизна. Вперше для антарктичних ендоефітних мікроорганізмів встановлено відмінності у фізико-хімічних та реологічних властивостях екзополісахаридів залежно від фенотипової форми існування продуцента – планктонної або біоплівкової. Виявлено особливості структурної організації та функціональних характеристик ЕПС, що синтезуються в умовах прикріпленого росту – біоплівки – порівняно з вільноіснуючими клітинами, що розширює уявлення про адаптаційні механізми антарктичної мікробіоти.

Практична значимість. Отримані результати є базою для розробки технології отримання біодеградабельних загусників для хімічної та косметичної промисловості. Також встановлені особливості зміни реологічних та фізико-хімічних властивостей екзополісахаридів при переході мікроорганізмів від планктонної до біоплівкової форми росту сприяють розумінню формування полімерного матриксу біоплівок та зміни фізико-хімічних властивостей біополімерів мікробного походження.

Ключові слова: екзополісахариди; біополімери; антарктичні ендоефіти; біоплівки; екстракція; реологічні властивості; FTIR-спектроскопія.

Вступ. Екзополісахариди (ЕПС) мікробного походження є складними високомолекулярними біополімерами, що відіграють ключову роль у формуванні та функціонуванні біоплівок, забезпечуючи адгезію клітин, структурну організацію матриксу та захист мікроорганізмів від дії несприятливих факторів середовища [1, 2]. Завдяки значній структурній гетерогенності, що включає варіабельний мономерний склад, типи глікозидних зв'язків і наявність функціональних груп, ЕПС характеризуються широким спектром фізико-хімічних і реологічних властивостей [3, 4].

Мікробні ЕПС становлять значний інтерес для сучасної індустрії як функціональні біополімери, здатні виступати гідроколоїдами, стабілізаторами та загусниками, часто перевершуючи рослинні або синтетичні аналоги за ефективністю. Важливою перевагою є контрольований характер їх біосинтезу, що не залежить від сезонних факторів і забезпечує відтворюваність молекулярних характеристик [1, 4]. Наявність карбоксильних, фосфатних та

інших функціональних груп зумовлює їх високу сорбційну здатність, що визначає потенціал використання ЕПС як біофлокулянтів у технологіях очищення води [3, 6].

Особливий інтерес становлять екзополісахариди, синтезовані мікроорганізмами з екстремальних середовищ, зокрема антарктичними та психротолерантними штамми, які демонструють підвищену стабільність та функціональність за низьких температур, здатність до ефективного утримання води та кріопротекції [5, 6]. Такі властивості відкривають перспективи їх застосування у створенні функціональних матеріалів для хімічної промисловості, біомедицини та косметології.

Попри значний прогрес у дослідженні мікробних ЕПС, залишається обмеженим розуміння зв'язку між умовами культивування, фізіологічним станом клітин і структурно-функціональними характеристиками синтезованих полімерів [1, 4]. Зокрема, недостатньо вивченими є зміни складу та реологічних властивостей ЕПС при переході мікроорганізмів від планктонного до біоплівкового способу існування, що супроводжується перебудовою полімерного матриксу [2].

Водночас на сучасному етапі розвитку хімічних технологій переробки полімерних матеріалів актуальним є пошук біодеградабельних альтернатив традиційним пластичам нафтохімічного походження, які спричиняють довготривале забруднення довкілля, зокрема мікропластиком [1, 2]. У цьому контексті ЕПС розглядаються як перспективна основа для створення екологічно безпечних полімерних матеріалів із заданими властивостями [4–6].

Одним із найбільш перспективних джерел продуцентів ЕПС є антарктичні мікроорганізми, адаптовані до екстремальних умов існування, зокрема низьких температур, високої інсоляції та обмеженої доступності поживних речовин [12]. Особливий інтерес становлять ендоситні бактерії, асоційовані з судинними рослинами *Deschampsia antarctica* та *Colobanthus quitensis*, які формують стабільні симбіотичні системи та здатні синтезувати полімери з унікальними структурними характеристиками [13–15].

Постановка завдання. Метою роботи є характеристика фізико-хімічних та реологічних властивостей ЕПС, отриманих з ендоситів Антарктичного регіону, а також визначення технологічних особливостей їх виділення лужно-кислотним методом залежно від форми росту культури. Окремим завданням є дослідження вторинної структури отриманих біополімерів методом FTIR-спектроскопії для оцінки чистоти та нативності отриманих зразків.

Методи дослідження. Об'єктами дослідження були ЕПС, синтезовані штамми-ендоситами судинних рослин Антарктики, а саме *Hafnia psychrotolerans* 25.2, *Pseudomonas sp.* 39.4.

Культивування проводили в багатому поживному середовищі Nutrient Broth (NB, HiMedia Ltd). Розділення культури на фракції здійснювали шляхом відокремлення адгезованого матриксу від планктонної фази. Збір біоплівкової фракції виконували механічним шляхом.

Планктонну фракцію для подальшого аналізу піддавали центрифугуванню (4000 об/хв, 10 хв) з подальшою декантацією.

Для екстрагування ЕПС було використано лужно-кислотний метод екстракції, який включав обробку 1 М Na_2CO_3 з подальшим осадженням центрифугуванням. За результатами наших попередніх досліджень даний метод екстракції виявився більш ефективним порівняно з додаванням формальдегіду чи ЕДТА [16].

Кількісний вихід екзополісахаридів визначали гравіметричним методом. Осаджену полімерну фракцію після центрифугування відокремлювали, висушували до сталої маси та зважували. Розрахунок виходу проводили з урахуванням об'єму культуральної рідини.

Фізико-хімічні параметри визначали за показниками рН, густини, відносної в'язкості, поверхневого натягу, вмісту вуглеводів та загального білка. Молекулярну будову осаджених ЕПС з біоплівкової фракції аналізували методом FTIR-спектроскопії. Для цього висушені

зразки обробляли етиловим спиртом (96%, 2 мл), наносили на поліетиленову плівку з пористістю 40% та після випаровування розчинника реєстрували ІЧ-спектри в діапазоні 4000–400 см⁻¹; як контроль використовували плівку, оброблену спиртом без зразка.

Результати дослідження. У ході експерименту було проаналізовано серію зразків екзополісахаридів, отриманих із планктонних та біоплівкових фракцій досліджуваних штамів. Встановлено, що фізико-хімічні та реологічні властивості ЕПС істотно залежать від форми росту мікроорганізмів. Найбільший практичний і науковий інтерес становлять зразки біоплівкової фракції, оскільки вони характеризуються суттєво вищими показниками в'язкості, підвищеним вмістом білкових компонентів та ознаками більш структурованого полімерного матриксу.

Біоплівкова фракція забезпечувала значно вищу відносно у діапазоні 2,76–2,813, що в 2,5 раза перевищує показники планктонної фракції (середнє значення 1,12). Максимальний показник відносної в'язкості (2,813) зафіксовано у зразку *Pseudomonas sp.* 39.4 у середовищі NB при 25 °С. Біоплівкові зразки також характеризувалися лужним значенням рН (9,0–12,2) та вищим вмістом білка.

Основні фізико-хімічні параметри екзополісахаридів, отриманих з планктонних (ПЛ) та біоплівкових (БП) фракцій, наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

**Порівняльна характеристика фізико-хімічних параметрів
ЕПС планктонної (ПЛ) та біоплівкової (БП) фракцій**

Фракція	Зразок	рН	Вуглеводи, мг/мл	Білок, мг/мл	В'язкість	Поверхневий натяг, дин/см
ПЛ	39.4	2.2–7.34	0.07–0.10	0.45–0.51	1.05–1.17	66.27–75.13
ПЛ	25.2	2.2–7.23	0.07–0.11	0.38–0.46	1.03–1.14	60.99–76.51
БП	39.4	9.01–10.49	0.07–0.09	0.85–1.12	2.77–2.81	74.05–86.68
БП	25.2	10.21–12.22	0.09–0.10	0.75–0.79	2.76*	64.49*

*Примітка: зразок штаму 25.2 (фракція БП) характеризувався утворенням надщільної гелеподібної структури, що унеможливило вимірювання в'язкості та поверхневого натягу стандартними методами.

Гравіметричним методом було визначено вихід осадженої полімерної фракції екзополісахаридів (ЕПС), отриманих зі штамів *Pseudomonas sp.* 39.4 та *Hafnia psychrotolerans* 25.2 після лужно-кислого екстрагування з культуральної рідини та подальшого відділення центрифугуванням. Культивування здійснювали у двох паралельних повторях об'ємом 200 mL кожен (загальний об'єм однієї колби $V_{total} = 0,2$ L) для кожного штаму.

Через конструктивні обмеження лабораторної центрифуги вміст кожної колби перед стадією центрифугування було розділено на 4 рівні технічні аліквоти. Розрахунок сумарної маси ЕПС для кожного повтору проводили шляхом додавання висушених до сталих значень мас осадів, отриманих з усіх чотирьох аліквот за формулою (1):

$$m(EPS)_{total} = \sum_{i=1}^4 (m2i - m1i). \quad (1)$$

Об'ємний вихід визначали за формулою (2):

$$Y = \frac{m(EPS)_{total}}{V_{total}}, \quad (2)$$

де $V_{total} = 0,2$ L.

Отримані дані вказують на суттєві відмінності в стабільності процесу біосинтезу досліджуваних штамів. Для *Pseudomonas sp.* 39.4 встановлено високу відтворюваність виходу Y (1,81 g/L), що прямо корелює зі стабільними показниками відносної в'язкості (2,77–2,81).

Така гомогенність системи є сприятливим фактором для технологічного масштабування процесу виділення. Натомість штам *Hafnia psychrotolerans* 25.2 демонструє значну варіабельність виходу (1,32–1,92 g/L). Це пояснюється специфічною здатністю біополімеру до спонтанної агрегації та формування надщільних гелевих структур.

Таблиця 2

Розрахунок виходу осадженої полімерної фракції для штаму *Pseudomonas sp.* 39.4

Паралельні досліді	№ аліквот	$\Sigma m(\text{EPS}), \text{g}$	Y, g/L
Колба №1	1, 2, 3, 4	0,264	1,32
Колба №2	5, 6, 7, 8	0,384	1,92
Середнє значення		0,324	1,62

Таблиця 3

Розрахунок виходу осадженої полімерної фракції для штаму *Hafnia psychrotolerans* 25.2

Паралельні досліді	№ аліквот	$\Sigma m(\text{EPS}), \text{g}$	Y, g/L
Колба №1	9, 10, 11, 12	0,338	1,69
Колба №2	13, 14, 15, 16	0,386	1,93
Середнє значення		0,362	1,81

Наявність зразків з надвисокою щільністю спричиняє фізичну неоднорідність системи. Це призводить до нерівномірного розподілу сухої речовини під час відбору аліквот та осадження, що можна спостерігати у коливаннях гравіметричних показників.

Аналіз FTIR-спектрів осаджених екзополісахаридів (рис. 1) дозволив ідентифікувати основні функціональні групи та підтвердити їхню полісахаридно-білкову природу.

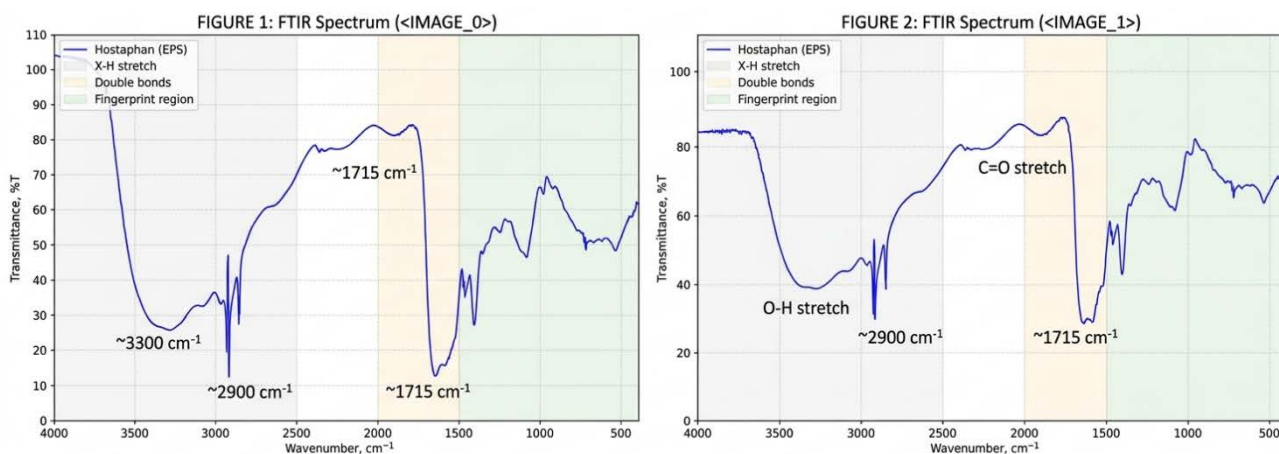


Рис. 1. FTIR-спектр екзополісахаридів, виділених із культуральної рідини зразка *Hafnia psychrotolerans* 25.2 (зліва) та *Pseudomonas sp.* 39.4 (справа)

Для досліджуваних зразків характерною є наявність широкої інтенсивної смуги в області 3200–3400 cm^{-1} , яка відповідає валентним коливанням гідроксильних груп (O–H). Її значна ширина свідчить про формування розвиненої системи міжмолекулярних водневих зв'язків, що забезпечує стабілізацію гелевої структури та визначає високу гідрофільність біополімерів.

У «відбитковій» області спектра (1200–900 cm^{-1}) зафіксовано інтенсивні смуги в діапазоні 1150–1070 cm^{-1} , які відповідають коливанням глікозидних зв'язків (C–O–C) моносахаридних залишків і є характерними маркерами полісахаридної природи досліджених зразків.

Характерною особливістю всіх спектрів є наявність амідних смуг при приблизно 1650 cm^{-1} (Амід I) та 1540 cm^{-1} (Амід II), що свідчить про присутність білкових компонентів і

формування ЕПС-білкових комплексів у складі біоплівкового матриксу. Водночас відсутність поглинання в області 1730 см^{-1} вказує на відсутність уронових кислот та естерифікованих карбонільних груп, що є характерною ознакою досліджених екзополісахаридів і визначає їхні іонні та амфіфільні властивості. Положення піків на обох графіках ідентичне, що підтверджує, що це одна й та сама хімічна речовина, але з різною інтенсивністю сигналу. Такий результат може бути наслідком більшої щільності зразка, продукованого *Hafnia psychrotolerans* 25.2.

Висновки:

1. Встановлено, що формування біоплівкової фракції антарктичними ендодфітами є визначальним технологічним фактором для отримання високов'язких біополімерів. Реологічні показники ЕПС, виділених із біоплівок, у 2,5–3 рази перевищують в'язкість планктонних аналогів, що свідчить про вищу ступінь полімеризації та структурної впорядкованості матриксу.

2. Визначено штам-специфічні особливості виходу та гомогенності цільового продукту. Для штаму *Pseudomonas sp.* 39.4 встановлено високу відтворюваність із середнім виходом 1,62 г/л. Штам *Hafnia psychrotolerans* 25.2 демонструє схильність до формування надщільних гелеподібних агрегатів, що зумовлює варіабельність гравіметричних показників (1,32–1,92 г/л) та вказує на складну надмолекулярну організацію його біополімерів.

3. FTIR-спектроскопією доведено глікопротеїнову природу отриманих ЕПС. Наявність інтенсивних амідних смуг (Амід I – $1635\text{--}1650\text{ см}^{-1}$, Амід II – 1540 см^{-1}) на фоні домінуючого полісахаридного піка (1035 см^{-1}) свідчить про формування стійких комплексів між вуглеводами та білками матриксу. Така структура забезпечує високу функціональність полімерів як природних емульгаторів та стабілізаторів.

4. Отримані результати створюють підґрунтя для практичного використання екзополісахаридів антарктичних ендодфітів як біодеградабельних загусників і стабілізаторів. Подальші дослідження доцільно спрямувати на оптимізацію умов культивування для підвищення виходу ЕПС та масштабування процесу, зокрема, вивчення хімічного складу та структурних особливостей отриманих полімерів для точного прогнозування їхніх властивостей.

References

1. Moradali, M. F., & Rehm, B. H. A. (2020). Bacterial biopolymers: from pathogenesis to advanced materials. *Nature Reviews Microbiology*, 18(4), 195–210. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41579-019-0313-3>.
2. Flemming, H.-C., van Hullebusch, E. D., Little, B. J. et al. (2025). Microbial extracellular polymeric substances in the environment, technology and medicine. *Nature Reviews Microbiology*, 23(2), 87–105. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41579-024-01098-y>.
3. Nwodo, U. U., Green, E., & Okoh, A. I. (2012). Bacterial exopolysaccharides: functionality and prospects. *International Journal of Molecular Sciences*, 13(11), 14002–14015. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms131114002>.
4. Rana, S., & Upadhyay, L. S. B. (2020). Microbial exopolysaccharides: synthesis pathways, types and their commercial applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, 157, 577–583. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.04.084>.

Література

1. Moradali M. F., Rehm B. H. A. Bacterial biopolymers: from pathogenesis to advanced materials. *Nature Reviews Microbiology*. 2020. Vol. 18, No. 4. P. 195–210. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41579-019-0313-3>.
2. Flemming H.-C., van Hullebusch E. D., Little B. J. et al. Microbial extracellular polymeric substances in the environment, technology and medicine. *Nature Reviews Microbiology*. 2025. Vol. 23, No. 2. P. 87–105. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41579-024-01098-y>.
3. Nwodo U. U., Green E., Okoh A. I. Bacterial exopolysaccharides: functionality and prospects. *International Journal of Molecular Sciences*. 2012. Vol. 13, No. 11. P. 14002–14015. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms131114002>.
4. Rana S., Upadhyay L. S. B. Microbial exopolysaccharides: synthesis pathways, types and their commercial applications. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2020. Vol. 157. P. 577–583. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.04.084>.

5. Poli, A., Anzelmo, G., & Nicolaus, B. (2010). Bacterial exopolysaccharides from extreme marine habitats: production, characterization and biological activities. *Marine Drugs*, 8(6), 1779–1802.
6. Casillo, A., Lanzetta, R., Parrilli, M., & Corsaro, M. M. (2018). Exopolysaccharides from marine and marine extremophilic bacteria: structures, properties and applications. *Marine Drugs*, 16(2), Article 69.
7. West, T. P. (2020). Production of the polysaccharide curdlan by *Agrobacterium* species on processing coproducts and plant lignocellulosic hydrolysates. *Fermentation*, 6(1), Article 16.
8. Wang, L. L., Wang, L. F., Ren, X. M. et al. (2012). pH dependence of the structure and surface properties of microbial EPS. *Environmental Science & Technology*, 46(2), 737–744.
9. Revin, V. V., Liyaskina, E. V., Parchaykina, M. V. et al. (2023). Production of bacterial exopolysaccharides: xanthan and bacterial cellulose. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(19), Article 14608.
10. Lahiri, D., Nag, M., Dutta, B. et al. (2021). Bacterial cellulose: production, characterization, and antimicrobial applications. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(23), Article 12984.
11. Karsavran, K., Yaşar Yıldız, S., Radchenkova, N. et al. (2025). Exopolysaccharides from Antarctic bacteria as cryoprotectants. *International Journal of Biological Macromolecules*, 278, Article 134567.
12. Ibrahim, H. A. H., El-Sayed, W. S., El-Sayed, A. M. et al. (2022). Potential functions and applications of diverse microbial exopolysaccharides. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*, 20, Article 432.
13. Netrusov, A. I., Botina, S. G., Shcherbakov, P. N. et al. (2023). Exopolysaccharides producing bacteria: a review. *Microorganisms*, 11(6), Article 1541. DOI: <https://doi.org/10.3390/microorganisms11061541>.
14. Znój, A., Grzesiak, J., Gawor, J. et al. (2022). Root-associated bacteria community characteristics of *Colobanthus quitensis* and *Deschampsia antarctica*. *Frontiers in Microbiology*, 13, Article 9622554.
15. Biswas, B., Rogers, K., McLaughlin, F. et al. (2025). Enhanced production and structural characterization of exopolysaccharides from Antarctic bacteria. *Scientific Reports*, 15, Article 10392.
16. Iungin, O. S., Kalinichenko, O. O., Morin, V. V., Reznik, D. I., & Okhmat, O. A. (2025). Otsinka funktsionalnoho potentsialu ekzopolisakharydiv antarktychnykh ekstremofiliv, ekstraktsiynykh riznyhnykh metodamy [Assessment of the functional
5. Poli A., Anzelmo G., Nicolaus B. Bacterial exopolysaccharides from extreme marine habitats: production, characterization and biological activities. *Marine Drugs*. 2010. Vol. 8, No. 6. P. 1779–1802.
6. Casillo A., Lanzetta R., Parrilli M., Corsaro M. M. Exopolysaccharides from marine and marine extremophilic bacteria: structures, properties and applications. *Marine Drugs*. 2018. Vol. 16, No. 2. Art. 69.
7. West T. P. Production of the polysaccharide curdlan by *Agrobacterium* species on processing coproducts and plant lignocellulosic hydrolysates. *Fermentation*. 2020. Vol. 6, No. 1. Art. 16.
8. Wang L. L., Wang L. F., Ren X. M. et al. pH dependence of the structure and surface properties of microbial EPS. *Environmental Science & Technology*. 2012. Vol. 46, No. 2. P. 737–744.
9. Revin V. V., Liyaskina E. V., Parchaykina M. V. et al. Production of bacterial exopolysaccharides: xanthan and bacterial cellulose. *International Journal of Molecular Sciences*. 2023. Vol. 24, No. 19. Art. 14608.
10. Lahiri D., Nag M., Dutta B. et al. Bacterial cellulose: production, characterization, and antimicrobial applications. *International Journal of Molecular Sciences*. 2021. Vol. 22, No. 23. Art. 12984.
11. Karsavran K., Yaşar Yıldız S., Radchenkova N. et al. Exopolysaccharides from Antarctic bacteria as cryoprotectants. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2025. Vol. 278. Art. 134567.
12. Ibrahim H. A. H., El-Sayed W. S., El-Sayed A. M. et al. Potential functions and applications of diverse microbial exopolysaccharides. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*. 2022. Vol. 20. Art. 432.
13. Netrusov A. I., Botina S. G., Shcherbakov P. N. et al. Exopolysaccharides producing bacteria: a review. *Microorganisms*. 2023. Vol. 11, No. 6. Art. 1541. DOI: <https://doi.org/10.3390/microorganisms11061541>.
14. Znój A., Grzesiak J., Gawor J. et al. Root-associated bacteria community characteristics of *Colobanthus quitensis* and *Deschampsia antarctica*. *Frontiers in Microbiology*. 2022. Vol. 13. Art. 9622554.
15. Biswas B., Rogers K., McLaughlin F. et al. Enhanced production and structural characterization of exopolysaccharides from Antarctic bacteria. *Scientific Reports*. 2025. Vol. 15. Art. 10392.
16. Юнгін О. С., Калініченко О. О., Морін В. В., Резнік Д. І., Охмат О. А. Оцінка функціонального потенціалу екзополісахаридів антарктичних екстремофілів екстрагованих різними методами. *Інноваційні матеріали та технології*:

potential of exopolysaccharides of Antarctic extremophiles extracted by various methods]. In: O. R. Mokrousova & V. P. Plavan (eds.), *Innovatsiini materialy ta tekhnolohii: biotekhnolohiia, prykladna khimiia, ekolohiia: monohr.* [Advanced materials and technologies: biotechnology, applied chemistry, ecology: monograph] (Vol. 1, pp. 162–166). Kyiv: KNUTD [in Ukrainian].

біотехнологія, прикладна хімія, екологія: моногр. / за заг. ред. О. Р. Мокроусової, В. П. Плаван. Київ: КНУТД, 2025. Т. 1. С. 162–166.

KALINICHENKO OLEKSANDR

PhD Student, Department of Chemical Technologies and Resource Saving, Assistant, Department of Biotechnology, Leather and Fur, Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine
<https://orcid.org/0009-0008-4188-9914>
Scopus author ID: 59387990200
E-mail: kalinichenko742135@gmail.com

IUNGIN OLGA

PhD, Associate Professor, Department of Biotechnology, Leather and Fur, Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-8876-6075>
Scopus author ID: 56892763500
E-mail: olgaungin@gmail.com

Oleksandr KALINICHENKO, Olga IUNGIN

Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine

COMPARATIVE CHARACTERISATION OF THE PHYSICO-CHEMICAL AND RHEOLOGICAL PROPERTIES OF EXTRACELLULAR POLYMERIC SUBSTANCES PRODUCED BY PLANKTONIC AND BIOFILM CELLS OF ANTARCTIC ENDOPHYTIC MICROORGANISMS

Purpose. To determine the physicochemical and rheological properties of extracellular polymeric substances (EPS) synthesised by planktonic and biofilm cells of psychrotolerant endophytic microorganisms associated with Antarctic plants, with the aim of their further application in polymer processing technologies.

Methodology. The objects of the study were extracellular polymeric substances (EPS) synthesised by endophytic strains isolated from Antarctic vascular plants, namely *Hafnia psychrotolerans* 25.2 and *Pseudomonas* sp. 39.4. Microorganisms were cultivated under static conditions in nutrient broth (NB, HiMedia Ltd) at 25 °C for 6 days. EPS were obtained from both planktonic cells and the formed biofilm.

EPS extraction was performed using an alkaline–acid method. The physicochemical properties were evaluated based on pH, density, relative viscosity, surface tension, total carbohydrate content, and total protein content. The chemical nature of the precipitated polymers was analysed by FTIR spectroscopy.

Findings. It was demonstrated that extracellular polymeric substances (EPS) obtained from the biofilm fraction exhibited significantly higher relative viscosity than those derived from planktonic cells, with maximum values of 2.76–2.813. FTIR analysis of the biofilm samples confirmed the presence of characteristic glycosidic linkages and associated protein components (Amide I and Amide II bands), which correlate with their enhanced adhesive properties.

Originality. For the first time, differences in the physicochemical and rheological properties of extracellular polymeric substances (EPS) produced by Antarctic endophytic microorganisms have been established depending on the phenotypic state of the producer, namely, planktonic versus biofilm forms. Specific features of the structural organisation and functional properties of EPS synthesised under attached-growth conditions (biofilms) were identified in comparison with those produced by free-living cells, thereby expanding current understanding of the adaptive mechanisms of Antarctic microbiota.

Practical value. The obtained results provide a foundation for developing technologies to produce biodegradable thickeners for the chemical and cosmetic industries. In addition, the identified changes in the rheological and physicochemical properties of extracellular polymeric substances (EPS) during the transition of microorganisms from planktonic to biofilm growth contribute to a deeper understanding of biofilm matrix formation and the transformation of physicochemical properties of microbially derived biopolymers.

Keywords: extracellular polymeric substances; biopolymers; Antarctic endophytes; biofilms; extraction; rheological properties; FTIR spectroscopy.