

УДК 631.4:678:631.8

DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2026.149.1.8>

## РОЗРОБКА ТА ЗАСТОСУВАННЯ БІОПОЛІМЕРІВ У СІЛЬСЬКОМУ ГОСПОДАРСТВІ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ ҐРУНТІВ

**Войтїк А.В.** – к.техн.н., доцент кафедри агроінженерії,

Уманський національний університет

[orcid.org/0000-0002-8196-3102](https://orcid.org/0000-0002-8196-3102)

**Демчинська М.І.** – к.біол.н., доцент,

доцент кафедри ентомології та збереження біорізноманіття,

Державний вищий навчальний заклад

«Ужгородський національний університет»

[orcid.org/0000-0001-7252-4151](https://orcid.org/0000-0001-7252-4151)

**Поливаний А.Д.** – аспірант кафедри біотехнології та хімії, науковий співробітник

науково-дослідної лабораторії дослідження та ремедіації ґрунтів,

Сумський національний аграрний університет

[orcid.org/0000-0001-8363-7186](https://orcid.org/0000-0001-8363-7186)

Важливою проблемою сьогодення є деградація ґрунтів, зумовлена недотриманням сівозмін, низькими обсягами застосування мінеральних і органічних добрив, а також недостатнім впровадженням заходів із біологізації землеробства. Перспективним напрямом вирішення цих завдань є застосування природних або синтетичних полімерних матеріалів, здатних підвищувати стійкість ґрунтів до зовнішніх негативних впливів. Метою дослідження є огляд даних літератури щодо особливостей розробки та застосування препаратів біополімерів для підвищення й збереження родючості ґрунтів. Охарактеризовано напрями використання біополімерів, як-от крохмалю, целюлози, хітозану, альгінату, декстрану, ксантанової й гуарової камеді, желатину та казеїну, у сільському господарстві. Описано переваги застосування крохмалю для покращення фізичних та хімічних властивостей ґрунтів, зокрема фінансову доступність, здатність утворювати гелі, підтримуючи водний баланс ґрунту та зменшуючи випаровування, що робить актуальним його застосування в умовах посушливого клімату півдня України. Наведено дані щодо ефективності застосування декстрану, целюлозних похідних, ксантанової та гуарової камеді для підвищення структурної стійкості ґрунту до водної та повітряної ерозії. Вказано, що використання альгінатів сприяє пролонгації дії добрив та засвоєнню поживних речовин рослинами, а застосування хітозану позитивно впливає на зміцнення імунітету рослин. Описано застосування желатину та казеїну як чинника активізації ґрунтової мікробіоти. Представлено дані щодо високої ефективності композицій, що поєднують біополімери з бактеріальними штамами родів *Pseudomonas*, *Bacillus*, та *Serratia*, для захисту рослин від грибкових хвороб, покращення схожості насіння та стимулювання росту рослин у польових умовах. Узагальнення наукових праць свідчить про значний потенціал біополімерів у підвищенні родючості ґрунтів і продуктивності сільськогосподарських культур, що зумовлює доцільність подальших розробок комплексних препаратів та досліджень їх ефективності для широкого кола сільськогосподарських культур за різних ґрунтово-кліматичних умов.

**Ключові слова:** біополімери, ґрунти, полісахариди, мікробні полімери, деградація, ерозія.



© Войтїк А.В., Демчинська М.І., Поливаний А.Д., 2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії CC BY 4.0

***Voitik A.V., Demchynska M.I., Polyvaniy A.D. Development and application of biopolymers in agriculture to increase soil resistance***

*An important problem today is soil degradation, caused by non-compliance with crop rotation, low volumes of mineral and organic fertilizers, and insufficient implementation of measures to biologize agriculture. A promising approach to solving these problems is the use of natural or synthetic polymers that can enhance soil resistance to external negative influences. Therefore, the purpose of the study is to review the literature on the features of the development and use of biopolymer preparations to increase and maintain soil fertility. The directions of use of biopolymers, such as starch, cellulose, chitosan, alginate, dextran, xanthan and guar gum, gelatin and casein, in agriculture are characterized. The advantages of using starch to improve the physical and chemical properties of soils are described, in particular, its financial availability, the ability to form gels, maintenance of soil water balance, and reduced evaporation, which make its use relevant in the arid climate of southern Ukraine. Data are provided on the effectiveness of using dextran, cellulose derivatives, xanthan and guar gum in increasing the soil's structural resistance to water and air erosion. It is indicated that the use of alginates to prolong fertilizer action contributes to nutrient assimilation by plants, and that chitosan strengthens plant immunity. The use of gelatin and casein as a factor in activating soil microbiota is described. Data are presented on the high effectiveness of compositions combining biopolymers with bacterial strains of the genera *Pseudomonas*, *Bacillus*, and *Serratia* in protecting plants from fungal diseases, improving seed germination, and stimulating plant growth under field conditions. The generalization of scientific findings indicates the significant potential of biopolymers to increase soil fertility and crop productivity, which makes it advisable to further develop complex preparations and assess their effectiveness across a wide range of crops under different soil and climatic conditions.*

**Key words:** *biopolymers, soils, polysaccharides, microbial polymers, degradation, erosion.*

**Актуальність теми дослідження.** У сучасних умовах інтенсивного ведення сільського господарства особливого значення набуває проблема деградації ґрунтів і збереження їхньої родючості. Недотримання сівозмін і внесення органічних і мінеральних добрив в необґрунтованих нормах сприяють зменшенню вмісту гумусу та органічної речовини в ґрунті, а також його ущільненню, ерозії та зниженню родючості. Всі ці фактори ставлять під загрозу сталий розвиток агросектору та підривають продовольчу безпеку нашої держави. Тому стратегією агропромислового розвитку країни повинна бути орієнтація на охорону та збереження родючості ґрунтів і покращення їхніх фізико-хімічних властивостей. І перспективним напрямом у цьому контексті є застосування біополімерів – природних високомолекулярних сполук, які здатні підвищувати стійкість ґрунтів до зовнішніх негативних впливів.

**Постановка проблеми.** Ґрунтові ресурси є основою розвитку сільськогосподарської галузі України. За показниками якості земель наша країна посідає чільне місце у світі, адже понад половину ріллі становлять чорноземні ґрунти [1, с. 5–6]. Родючість ґрунтів завжди була і залишається важливим чинником у забезпеченні сталого розвитку агросектору. Однак, як свідчать наукові дослідження та практичний досвід, продуктивність ґрунтів не є сталою величиною, адже ця властивість може змінюватися залежно від господарської діяльності та системи землеробства [2, с. 34–36].

На сьогодні більшість продукції рослинництва в Україні отримується за рахунок використання інтенсивних технологій землеробства [3, с. 220]. Сучасний стан земельних ресурсів України викликає занепокоєння, адже деградаційні процеси відбуваються на значних площах родючих ґрунтів, що є наслідком використання інтенсивних технологій їхнього обробітку, недотримання науково-обґрунтованих сівозмін, насиченням просапними культурами та низьким обсягом внесення органічних добрив [4, с. 54]. Варто зазначити, що досягнення збалансованого розвитку сільського господарства можливе лише за тих систем землеробства, які

здатні забезпечити позитивний баланс гумусу та поживних речовин у ґрунтах [5, с. 51–52]. Для розв'язання проблеми відтворення родючості ґрунтів та досягнення нейтрального рівня їх деградації Україна повинна мати чітку стратегію охорони ґрунтів і забезпечити ефективне функціонування ґрунтозахисних програм, здійснюючи жорсткий контроль за їх виконанням [6, с. 5–7].

Значні перспективи в контексті збереження та підвищення родючості ґрунтів, покращення їх фізико-хімічних властивостей та підвищення урожайності вирощуваних сільськогосподарських культур має застосування біополімерів – високомолекулярних сполук рослинного або тваринного походження, або тих, які синтезуються на основі сировини, що відновлюється. Широко розповсюдженими біополімерами, які використовуються у сільському господарстві, є полісахариди, зокрема крохмаль, целюлоза, хітозан, гуарова камідь та альгірати, білки, зокрема желатин та казеїн, а також мікробні глікополімери ксантанова камідь та декстран.

Застосування біополімерів має низку переваг над їх синтетичними аналогами, зокрема екологічну безпечність завдяки здатності до біологічного розкладу та сумісність із ґрунтовою мікробіотою [7, с. 3–5].

Внесення цих сполук забезпечує формування стабільних агрегатів, що дозволяє підвищити механічну міцність ґрунтів та запобігти їхній водній і вітровій ерозії [8]. Підвищена водоутримувальна здатність рослинних глікополімерів дозволяє використовувати їх для зменшення випаровування вологи, що є має великі перспективи для застосування у посушливих регіонах, зокрема на півдні України. Ще однією важливою перевагою біополімерів є їхня здатність підтримувати розвиток корисної мікрофлори ґрунтів [9].

Тому **метою дослідження** є огляд даних літератури щодо особливостей розробки та застосування препаратів біополімерів для підвищення й збереження родючості ґрунтів.

**Методика досліджень.** У роботі використано метод систематичного огляду наукових джерел присвячених дослідженням стану земельних ресурсів, проблеми деградації ґрунтового покриву, шляхів підвищення та збереження родючості ґрунтів, властивостей біополімерів, механізмів їх впливу на ґрунт, а також перспектив їх практичного застосування. Здійснено порівняльний аналіз властивостей різних полімерів та ефективності їх як препаратів у сільськогосподарській практиці. Проведено узагальнення отриманих даних та окреслено перспективи подальших досліджень.

**Результати досліджень.** Розроблення біопрепаратів для використання у сільському господарстві передбачає декілька етапів. В першу чергу необхідно підібрати джерело сировини з природних ресурсів, яке відповідає як економічним, так і технологічним вимогам. Тому найчастіше як джерела розглядаються відходи з високим вмістом рослинної біомаси, морські водорості, побічні продукти харчової промисловості тощо. Далі необхідно розробити технології модифікації сировини: органічні сполуки піддаються хімічній або ферментативній обробці для надання їм необхідних властивостей [10, с. 502–503; 11, с. 164–166]. Важливим етапом також є оптимізація складу комплексного біополімерного препарату, що передбачає створення композицій з органічних полімерів із мікроорганізмами або мінеральними компонентами. Заключним етапом є лабораторні та польові дослідження, які дозволяють скоригувати компонентний склад та визначити ефективність застосування розроблених препаратів біополімерів для покращення фізичних та хімічних властивостей ґрунту, зменшення ступеня їх деградації або підвищення урожайності культур [12; 13].

У рослинництві біополімери можуть застосовуватися у різних формах, в залежності від мети використання: як добавки для стабілізації структури ґрунту, для передпосівної обробки насіння для покращення проростання, в якості гідрогелів для утримання вологи, а також як біорозкладні мульчувальні матеріали [14; 15].

Види полімерів, що використовуються у сільському господарстві, наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

**Види полімерів у сільському господарстві**

Група	Вид	Ефект від застосування
Полісахариди	Крохмаль	Утримання вологи, покращення родючості ґрунту, протиерозійний захист
	Похідні целюлози (КМЦ, МЦ, ГЕЦ, ГПМЦ)	Поліпшення структури ґрунту, утримання вологи
	Альгінати	Пролонгація дії добрив, протиерозійний захист, покращення засвоєння поживних речовин, стимулювання розвитку кореневої системи
	Хітозан	Зміцнення імунітету рослин, пригнічення патогенних мікроорганізмів
	Гуарова камідь	Зменшення ущільнення ґрунту, покращення аерації, розвиток корисної мікрофлори
Мікробні біополімери	Ксантанова камідь	Зменшення руйнування структури ґрунту, покращення водного режиму ґрунту, покращення фізико-хімічних властивостей ґрунту, сприяння росту рослин
	Декстран	Підвищення стійкості до ерозії, покращення водного балансу ґрунту, джерело вулгесю
Протеїни	Желатин	Покращення структури та фізичних властивостей ґрунту
	Казеїн	Покращення фізичних властивостей ґрунтів, підвищення родючості, активізація ґрунтової мікробіоти

Полісахариди є найбільш поширеними складовими біопрепаратів для сільського господарства. До них належать крохмаль, целюлозні похідні, альгінати, хітозан і камеді.

Крохмаль – є основним запасним полісахаридом рослин, щонакопичується у зерні, плодах, бульбах та коренях в результаті фотосинтезу, який знайшов використання у землеробстві. Цей полімер є сировиною для багатьох препаратів для покращення фізичних та хімічних властивостей ґрунтів, завдяки фінансовій доступності, здатність до біологічного розпаду та утворення гелів [16]. Оскільки крохмаль діє як зв'язувальний агент, зокрема склеює ґрунтові частинки, це сприяє утворенню агрегатів та підвищує механічну міцність ґрунту, сприяючи зменшенню ерозії та покращуючи стійкості ґрунтів до руйнувань [17, с. 2806–2807]. Крім того, завдяки здатності утворювати гелі, крохмаль виконує функцію поглинання та утримання води з поступовим її вивільнення для рослин, що дозволяє зменшити випаровування. Ця властивість дозволяє застосовувати такі препарати

для регулювання водообміну в посушливих регіонах. Також крохмаль є цінним джерелом органічної речовини для розвитку корисної мікрофлори ґрунтів, тому внесення біополімерних препаратів на його основі дозволяє активізувати мікробіологічні процеси та сприяє накопиченню гумусу. Крім того, його застосування дозволяє зменшити вимивання азоту й фосфору, а також підвищити ефективність застосування добрив. Здатність крохмалю до утворення захисної плівки дозволяє його використовувати для обробки поверхні ґрунту на схилах для стримування природних зсувів та ерозійних процесів. На основі крохмалю виготовляють мульчувальні біорозкладні плівки, які не забруднюють навколишнє природне середовище, а можуть навіть покращувати стан ґрунтів. Серед недоліків застосування крохмалю слід відмітити його швидке біологічне розкладання, необхідність модифікації для забезпечення тривалого ефекту та високу залежність від умов навколишнього середовища.

Іншими поширеними глікополімерними препаратами для агропромисловості є модифіковані форми природної целюлози, отримані шляхом хімічної обробки рослинної сировини. Серед похідних целюлози найпоширенішими є карбоксиметилцелюлоза (КМЦ), метилцелюлоза (МЦ), гідроксиметилцелюлоза (ГЕЦ) та гідроксипропілметилцелюлоза (ГПМЦ). Целюлозні похідні застосовуються як стабілізатори ґрунту, адже вони мають властивість зв'язувати ґрунтові частинки в агрегати, підвищують стійкість до ерозійних процесів, а також зменшують ущільнення ґрунту [18]. На основі похідних целюлози створюють гідрогелі, які здатні поглинати воду, поступово віддаючи її рослинам, що дозволяє зменшити потреби у зрошенні. Також целюлозні препарати застосовуються як плівкоутворювачі під час передпосівної обробки насіння, що забезпечує рівномірне проростання рослин та їхній захист від патогенів [19, с. 266–269]. На основі целюлози також виготовляють мульчувальні плівки, агроволокно та покривні матеріали, адже вони розкладаються без шкоди для ґрунту й не потребують подальшої утилізації. Перевагами їх використання є екологічна безпечність, сумісність із ґрунтовою мікрофлорою та здатність покращувати водний режим ґрунтів. Недоліками таких матеріалів є чутливість до мікробного розкладання, залежність ефективності від типу ґрунту та висока вартість модифікованих форм.

Альгірати – це полісахариди натурального походження на основі залишків альгінової кислоти, які отримують з бурих водоростей. За своїми властивостями є ефективними природними загусниками, а також гелеутворювачами, тому можуть використовуватися для покращення фізичних властивостей ґрунтів та підвищення їх стійкості [20]. Альгірати утворюють гелеву сітку, яка зв'яже частинки ґрунту, що, відповідно, сприяє зменшенню ерозії та накопиченню води в ґрунті, а також покращує засвоєння поживних речовин рослинами. Також альгірати є ефективними препаратами для передпосівної обробки насіння. Перевагами їх застосування є біорозкладність та позитивний вплив на ґрунт і рослини, а недоліками – залежність їхньої ефективності від рН та обмежений термін дії.

Хітозан – це полісахарид тваринного походження, який отримують із панцирів ракоподібних. Застосування препаратів хітозану дозволяє покращити пористість і підвищити аерацію ґрунту, а також посилити імунітет рослин до фітопатогенів. Цей полімер є природним біостимулятором росту рослин, а також має властивість пригнічувати розмноження патогенних вірусів і грибів та активувати ріст корисної мікрофлори у ґрунті [21, с. 1337–1339]. Передпосівна обробка насіння препаратами хітозану сприяє підвищенню схожості та енергії проростання, забезпечує захист від хвороб і стимулює ріст кореневих волосків. Серед основних переваг

його застосування – зменшення потреби в хімічних пестицидах завдяки фунгіцидним властивостям, а також екологічна безпечність; серед недоліків варто відзначити високу вартість виробництва та відносно обмежену сировинну базу.

Гуарова камідь – це рослинний глікополімер, який отримують із насіння рослини *Cyatopsis tetragonoloba*. Він є природним структуроутворювачем, зокрема, зв'язує частинки ґрунту, забезпечує зменшення ущільнення та покращення аерації. Завдяки поглинанню води та утриманню її у ґрунті дозволяє зменшити потребу в поливі та підвищити стійкість рослин до посухи. Внесення гуарової камеді може стимулювати розвиток корисної мікрофлори ґрунту. Її перевагою є висока ефективність у малих дозах і сумісність з іншими біополімерами. За даними Н. Sulaiman та співавторів [22], препарати гуарової камеді сприяють зменшенню зсувів ґрунту на схилах, що робить їх ефективними для застосування на схилах та для запобігання вітрової ерозії.

Серед біополімерів мікробного походження, які знайшли застосування у сільському господарстві, варто відзначити ксантанову камідь та декстран.

Ксантанова камідь – це глікополімер, що утворюється бактеріями роду *Xanthomonas* та використовується у рослинництві завдяки своїм реологічним властивостям, тобто здатності утворювати в'язкі розчини за низьких концентрацій. Він є природним зв'язувальним агентом, який огортає частинки ґрунту, зменшуючи руйнування його структури та підвищуючи його стійкість до механічних навантажень [23; 24, с. 1881]. Завдяки утворенню захисної плівки та зв'язуванню ґрунтових частинок знижується ризик водної та вітрової ерозії ґрунтів. Таким чином, застосування ксантанової камеді у складі препаратів сприяє покращенню водного режиму ґрунту, особливо на піщаних чи деградованих ґрунтах. Як доступне джерело органічної речовини, такі препарати здатні стимулювати розвиток корисної мікрофлори ґрунту, підвищуючи його біологічну активність. Перевагами застосування ксантанової камеді є висока ефективність за малих концентрацій та можливість застосування на всіх агропромислових групах ґрунтів. Основними недоліками є висока вартість та зниження ефективності за тривалого впливу вологи. Дослідженнями S. Kumar та ін. встановлено, що ксантанова камідь має найкращі показники водонепроникності та високу здатність утримувати воду, що робить її придатною для боротьби з ерозією, для відновлення ґрунту та покращення росту та розвитку рослин [25]. Результати інших науковців показали, що використання ксантанової камеді для обробки ґрунту призводить до часткового заповнення ґрунтових порожнин та утворення додаткових зв'язків між частинками ґрунту, що знижує коефіцієнт проникності та покращує механічні властивості ґрунту [26, с. 170]. Крім того, було відмічено [22], що навіть невелика кількість ксантанової камеді сприяла підвищенню значення рН ґрунтового розчину, знижувала щільність ґрунту, покращувала оптимальний вміст вологи, а також збільшувала індекс пластичності. Своєю чергою, результати дослідження щільності свідчать про підвищення міцності ґрунту після додавання біополімерів [25], що підкреслює їхній перспективний потенціал для застосування у сфері сільського господарства.

Декстран є мікробним полісахаридом, який синтезується бактеріями роду *Leuconostoc* та *Streptococcus* із сахарози. Завдяки зв'язуванню мінеральних частинок він забезпечує покращення фізичних властивостей ґрунтів та підвищення стійкості до вітрової й водної ерозії [24, с. 1882]. Також застосування декстрану дозволяє покращити водний баланс ґрунту, зменшуючи втрати вологи. Цей полісахарид є джерелом вуглецю для ґрунтових мікроорганізмів і здатний стимулювати

процеси гумусоутворення. Основними перевагами застосування декстрану є стимуляція біологічних процесів у ґрунті та сумісність з іншими біополімерами. Серед недоліків варто відзначити швидке розкладання мікроорганізмами та короткотривалий ефект від його застосування.

Білковими полімерами, які застосовують у сільськогосподарській діяльності, є желатин і казеїн. Желатин – це білковий біополімер, який отримують шляхом гідролізу колагену з кісток і шкіри тварин. Желатин діє як зв'язувальний агент, що сприяє покращенню структури та фізичних властивостей ґрунту [27]. Завдяки здатності до гелеутворення препарати, що містять желатин, ефективно поглинають воду та утримують її в ґрунті, покращуючи водний баланс. Внесення таких препаратів також підвищує родючість ґрунту, оскільки вони є доступним для мікроорганізмів джерелом азоту. Передпосівна обробка насіння желатином підвищує їхню схожість. Цей білок є сумісним з іншими біополімерами, але має короткотерміновий ефект і під час розкладання виділяє неприємний запах.

Казеїн – це полімер, який є основним білковим компонентом молока. За хімічною природою цей біополімер належить до фосфопротейнів і має властивість утворювати колоїдні системи та плівки, за рахунок чого може покращувати фізичні властивості ґрунтів. Також казеїн є органічним добривом: при його розкладанні ґрунтовими мікроорганізмами вивільняється азот і фосфор, які використовують рослини. Внесення препаратів казеїну сприяє гумусоутворенню та покращує водний режим ґрунтів [28, с. 5411]. Незважаючи на це, висока вартість робить його непридатним для масштабного використання в агропромисловості.

Найбільш перспективним напрямом застосування препаратів біополімерів у сільському господарстві є проведення передпосівної обробки насіння. Використання біополімерних плівкоутворюючих композицій має позитивний вплив на пророщення насіння, сприяючи підвищенню кількісних та якісних показників урожайності, підвищує енергію проростання насіння та забезпечує захист від патогенних мікроорганізмів та шкідників без застосування хімічних пестицидів. Полісахариди є основою сучасних біополімерних композицій для передпосівної обробки насіння завдяки своїй високій біосумісності, здатності до біодеградації, нетоксичності, адгезивності та структурній гнучкості, що забезпечує ефективне утримання вологи, захист від патогенів та екологічну безпеку [29, с. 92–93; 30]. Використання композиції на основі крохмалю та 20-% мінеральних сполук ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ,  $\text{KNO}_3$ ,  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}$ ) для передпосівної обробки насіння льону, соняшника та ярої пшениці забезпечило підвищення врожайності на 27–31% порівняно з контролем [29, с. 98–99]. Під час проведення польових досліджень на великих площах показано, що прибавка врожаю становить від 15% до 25% на гектар для таких культур, як соняшник, рис і льон, а для сої та кукурудзи – навіть 50–80% на гектар порівняно з контролем [29, с. 100]. Дослідженнями також продемонстровано ефективність передпосівної обробки насіння ячменю композиціями біополімерів з мікроорганізмами (*Pseudomonas flavescens* D5, *Bacillus aerophilus* A2, *Serratia myotis* B5, *Bacillus simplex* B9, *Pseudomonas putida* D7) для забезпечення стійкості рослин до фітопатогенних грибів. Показано, що комбіновані препарати мікроорганізмів з полігідроксикарбонатами та пуллуланом пригнічували ріст штамів *Fusarium solani* та *Fusarium oxysporum*, що вказує на їхній потенціал для захисту ячменю від фузаріозних хвороб. Водночас у польових умовах було відзначено підвищення схожості насіння на 18–20% та швидкості росту рослин на 20–23% [31].

Важливим завданням під час розробки препаратів є модифікація біополімерів для підвищення їхніх водопоглинаючих властивостей та здатності до плівкоутворення в ґрунті. Змінюючи структуру біополімерів можна регулювати властивості препаратів, забезпечуючи необхідні параметри, зокрема щільність склеювання, пористість та хімічний склад поверхні, відповідно до потреб конкретних типів ґрунту та сільськогосподарських культур. Але, однією з проблем широкого впровадження біополімерів в агросекторі є висока вартість їх виробництва. Головним завданням на сьогодні залишається створення економічно ефективних і масштабних технологій отримання біополімерів із доступної сировини, що забезпечить їхнє широке застосування в сільськогосподарській діяльності.

**Висновки та перспективи подальших досліджень.** Отже, застосування препаратів біополімерів має значні перспективи для підвищення стійкості та родючості ґрунтів. Показано, що використання крохмалю, целюлози, хітозану, альгінатів, желатину, казеїну, декстрану, ксантанової й гуарової камеді є екологічно безпечним, забезпечує збереження та підвищення родючості ґрунтів, їхню стійкість до водної та вітрової ерозії, сприяючи забезпеченню сталого аграрного виробництва. Для покращення фізико-хімічних властивостей ґрунту та боротьби з ерозією найефективнішим є препарати на основі крохмалю, декстрану, ксантанової та гуарової камеді, для утримання вологи – целюлози, для пролонгації дії добрив – альгінатів, для зміцнення імунітету рослин – хітозану, для передпосівної обробки насіння – крохмалю, желатину та казеїну. Майбутні дослідження препаратів біополімерів повинні бути спрямовані на вивчення їхньої довгострокової ефективності, мінімізацію впливу на навколишнє середовище та аналіз впливу сезонних коливань на стабільність їхньої дії. Необхідні подальші польові випробування для оцінки ефективності біополімерів у різних ґрунтових і кліматичних умовах, а також для різних видів сільськогосподарських культур.

Стрімке зростання масштабів застосування біополімерів у сільському господарстві вимагає розроблення нормативно-правових стандартів для забезпечення їх відповідального та безпечного використання, а також потребує адаптації вітчизняної законодавчої бази до норм Європейського Союзу. Необхідно розробити рекомендації щодо маркування препаратів, норм внесення та практики утилізації, щоб мінімізувати будь-які потенційні ризики для здоров'я людини та навколишнього середовища. Вирішення цих проблем сприятиме подальшому розвитку та успішному застосуванню біополімерів для підвищення стійкості ґрунтів, що, у підсумку, сприятиме сталому веденню аграрного виробництва та мінімізації його негативного впливу на навколишнє природне середовище.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Балюк С. А., Мірошніченко М. М., Медведєв В. В. Наукові засади сталого управління ґрунтовими ресурсами України. *Вісник аграрної науки*. 2018. № 11. С. 5–12. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovissnyk201811-01>
2. Грищенко О. М., Запасний В. С., Ярмоленко Є. В., Шило Л. Г. Динаміка родючості ґрунтів Переяслав-Хмельницького району Київської області. *Агроекологічний журнал*. 2019. № 3. С. 35–41. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.3.2019.183469>
3. Балаєв А. Д., Задубинна Є. В., Алексєєва В. Гумусоутворення в чорноземах лісостепу за мінімізації обробітку і біологізації землеробства. *Збалансоване використання та відтворення родючості ґрунтів в умовах глобальних змін клімату: матеріали Міжнар. наук.-практ. конф., присв. Всесвітньому Дню ґрунту*. Харків: Держ. біотехнологічний ун-т., 2023. С. 219–220.

4. Бережняк Є. М., Бережняк М. Ф., Іваніна Д. А. Оцінка екологічної стійкості сірих лісових ґрунтів за різного використання. *Рослинництво та ґрунтознавство*. 2020. № 11 (1). С. 52–61. DOI: <http://dx.doi.org/10.31548/agr2020.01.052>.
5. Ліщук А. М., Драга М. В., Городиська І. М. Оцінка стану ґрунтів зони Степу України за екологічними критеріями для ведення органічного виробництва. *Агроекологічний журнал*. 2020. № 1. С. 51–57. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.1.2020.201270>
6. Балюк С. А., Медведєв В. В., Воротинцева Л. І., Шимель В. В. Сучасні проблеми деградації ґрунтів і заходи щодо досягнення нейтрального її рівня. *Вісник аграрної науки*. 2017. № 8. С. 5–11. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201708-01>
7. Min Yao., Benhui F., Fernando L.-C. Reinforcing the mechanical strength of soils under the saturated state by biopolymer treatment. *International Conference on Bio-mediated and Bio-inspired Geotechnics (ICBBG2025)*. 2025. P. 1–10. <https://doi.org/10.53243/ICBBG2025-185>
8. Zhang J., Liu J. A review on soils treated with biopolymers based on unsaturated soil theory. *Polymers (Basel)*. 2023. Vol. 15, № 22.4431. DOI: <https://doi.org/10.3390/polym15224431>
9. Seo S. I., Lee M., Im J., Kwon Y., Chung M., Cho G., Chang I. Site application of biopolymer-based soil treatment (BPST) for slope surface protection: in-situ wet-spraying method and strengthening effect verification. *Construction and Building Materials*. 2021. Vol. 307.124983. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124983>
10. Muguda S., Hughes P. N., Augarde C. E., Perlot C., Walter Bruno A., Gallipoli D. Cross-linking of biopolymers for stabilizing earthen construction materials. *Building Research & Information*. 2022. Vol. 50, № 5. P. 502–514. DOI: <https://doi.org/10.1080/09613218.2021.2001304>
11. Kumar M., Moghal A., Bommisetty J. Efficacy of cross-linking of biopolymers in soil-stabilization. *Indian Geotechnical Conference*. 2022. P. 163–175. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-981-97-1753-8\\_15](https://doi.org/10.1007/978-981-97-1753-8_15)
12. Rasheed R. M., Moghal A. A. B. Efficacy of crustacean and protein-based biopolymer inclusion on the strength characteristics of organic soil. *International Journal of Geomechanics*. Vol. 24, № 11. 10012. DOI: <https://doi.org/10.1061/IJGNAL.GMENG-10012>
13. Vydehi K. V., Moghal, A. A. B. Effect of biopolymeric stabilization on the strength and compressibility characteristics of cohesive soil. *Journal of Materials in Civil Engineering*. 2022. № Vol. 34, № 2. 04021428. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0004068](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0004068)
14. Moghal A. A. B., Vydehi K. V. State-of-the-art review on efficacy of Xanthan gum and Guar gum inclusion on the engineering behavior of soils. *Innovative Infrastructure Solutions*. 2021. Vol. 6. 108. DOI: <https://doi.org/10.1007/s41062-021-00462-8>
15. Im J., Chang I., Cho G. Effects of malonic acid crosslinked starch for soil strength improvement. *Transportation Geotechnics*. 2021. Vol. 31. 100653. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trgeo.2021.100653>
16. Ren F., Ding H., Dong B., Qian X., Liu J., Tan J. Study on the improvement of soil properties using hydrophilic-hydrophobic biopolymer crosslinking. *Construction and Building Materials*. 2024. Vol. 415. 135101. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.135101>
17. Azimi M., Soltani A., Mirzababaei M., Jaksa M. B., Ashwath N. Biopolymer stabilization of clayey soil. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. 2024. Vol. 16, № 7. P. 2801–2812. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2023.12.020>
18. Wang S., Zhao X., Zhang J., Jiang T., Wang S., Zhao J., Meng Z. Water retention characteristics and vegetation growth of biopolymer-treated silt soils. *Soil and Tillage Research*. 2023. Vol. 225.105544. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2022.105544>

19. Zhang J., Niu G., Sun D. A. Hydro-mechanical behavior of expansive soils with different dry densities over a wide suction range. *Acta Geotechnica*. 2020. Vol. 15. P. 265–278. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11440-019-00874-y>
20. Soldo A., Aguilar V., Miletić M. Macroscopic stress-strain response and strainlocalization behavior of biopolymer-treated soil. *Polymers*. 2022. Vol. 14, № 5. 997. DOI: <https://doi.org/10.3390/polym14050997>
21. Renault F., Sancey B., Badot P.-M., Chitosan for coagulation/flocculation processes—an eco-friendly approach. *European Polymer Journal*. 2009. Vol. 45, № 5. P. 1337–1348. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2008.12.027>
22. Sulaiman H. Sulaiman H., Taha M. R., Abd Rahman N., Taib A. M. Performance of soil stabilized with biopolymer materials – xanthan gum and guar gum. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*. 2022. Vol. 128. 103276. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pce.2022.103276>
23. Lee M., Chang I., Park D., Cho G. Strengthening and permeability control in sand using Cr<sup>3+</sup>-crosslinked xanthan gum biopolymer treatment. *Transportation Geotechnics*. 2023. Vol. 43. 101122. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trgeo.2023.101122>
24. Berninger T., Dietz N., González López O. Water-soluble polymers in agriculture: Xanthan gum as eco-friendly alternative to synthetics. *Microbial. Biotechnology*. 2021. Vol. 14, № 5. P. 1881–1896. DOI: <https://doi.org/10.1111/1751-7915.13867>
25. Kumar S., Yadav B. D., Raj R. A review on the application of biopolymers for sustainable improvement of soil. *Discover Applied Sciences*. 2024. Vol. 6. 393. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42452-024-06087-7>
26. Mendonça A., Morais P. V., Pires A. C., Chung A. P., Oliveira P. V. A review on the importance of microbial biopolymers such as xanthan gum to improve soil properties. *Applied Sciences*. 2021. Vol. 11, № 1. P. 170–174. DOI: <https://doi.org/10.3390/app11010170>
27. Verma H., Ray A., Rai R., Gupta T, Mehta N. Ground improvement using chemical methods: A review. *Heliyon*. 2021. Vol. 7, № 7 e07678. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07678>
28. Ni J., Li S. S., Geng X. Y. Mechanical and biodeterioration behaviours of a clayey soil strengthened with combined carrageenan and casein. *Acta Geotechnica*. 2022. Vol. 17. P. 5411–5427. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11440-022-01588-4>
29. Струмінська О., Челядин Л., Байляк М., Челядин В. Передпосівна обробка насіння біополімерною композицією на основі крохмалю. *International Science Journal of Engineering & Agriculture*. 2026. Vol. 5, № 2. P. 92–102. DOI: <https://doi.org/10.46299/j.isjea.20260502.09>
30. Abdul Khalil H. P. S., Jha K., Yahya E. B., Panchal S., Patel N., Garai A., Kumari S., Jameel M. Insights into the potential of biopolymeric aerogels as an advanced soil-fertilizer delivery systems. *Gels*. 2023. Vol. 9, № 8. 666. DOI: <https://doi.org/10.3390/gels9080666>
31. Usmanova A., Brazhnikova Y., Omirbekova A., Kistaubayeva A., Savitskaya I., Ignatova L. Biopolymers as seed-coating agent to enhance microbially induced tolerance of barley to phytopathogens. *Polymers (Basel)*. 2024. Vol. 16, № 3. 376. DOI: <https://doi.org/10.3390/polym16030376>

Дата першого надходження статті до видання: 30.04.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 22.05.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 29.05.2026