

УДК 633.11:631.55:631.811.98:631.67(477.7)
DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2025.142.2.17>

ВПЛИВ БІОТЕХНОЛОГІЙ НА ПРОДУКТИВНІСТЬ ТА ЯКІСТЬ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР В УКРАЇНІ

Тогачинська О.В. – к.с.-г.н., доцент, с.н.с.,

доцент кафедри екології та екоменеджменту,

Національний університет харчових технологій

Капусняк В.В. – аспірант кафедри ґрунтознавства та землеробства,

Поліський національний університет

Тимчий К.І. – к.с.-г.н.,

доцент кафедри біотехнології та безпеки життєдіяльності,

Український державний університет науки і технологій

Сучасне сільське господарство стикається з викликами глобального масштабу, такими як зміни клімату, зростання попиту на продовольство, виснаження ґрунтових ресурсів і необхідність зменшення екологічного впливу. У цих умовах впровадження біотехнологій є перспективним напрямом для забезпечення стійкого розвитку аграрного сектору, підвищення врожайності, покращення якості продукції та зменшення залежності від хімічних добрив і пестицидів. Для України, яка є одним із провідних світових експортерів зернових, інтеграція сучасних біотехнологій у виробництво є не лише потребою, але й стратегічним завданням для забезпечення конкурентоспроможності на міжнародних ринках.

Метою дослідження є аналіз сучасного стану впровадження біотехнологій у сільське господарство України, вивчення ефективності застосування генної інженерії, маркерно-орієнтованої селекції та біостимуляторів росту, а також розробка науково обґрунтованих рекомендацій щодо їх інтеграції в аграрний сектор України.

У дослідженні використано системний підхід, який охоплює аналіз літературних джерел, огляд світових і українських практик застосування біотехнологій.

У результатах дослідження доведено, що впровадження біотехнологій, зокрема використання біопрепаратів для підживлення ґрунтів і захисту рослин, дозволяє підвищити врожайність і якість зернових культур на 20–30%. Застосування генної інженерії забезпечує створення сортів із покращеними характеристиками, зокрема стійкістю до стресових факторів. Маркерно-орієнтована селекція скорочує час на виведення нових сортів і підвищує їхню генетичну стабільність. Біостимулятори росту сприяють оптимізації використання поживних речовин і покращенню стійкості культур до хвороб.

У висновках зазначено, що інтеграція сучасних біотехнологій в аграрний сектор України сприятиме підвищенню ефективності сільськогосподарського виробництва, зменшенню екологічного впливу та забезпеченню продовольчої безпеки.

Ключові слова: генетична модифікація, сільськогосподарські інновації, урожайність культур, екологічна стійкість, технології селекції.

Togachynska O.V., Kapusniak V.V., Timchyi K.I. Impact of biotechnology on the productivity and quality of cereal crops in Ukraine

Modern agriculture is facing global challenges, such as climate change, increasing demand for food, depletion of soil resources and the need to reduce environmental impact. In these conditions, the introduction of biotechnology is a promising direction for ensuring sustainable development of the agricultural sector, increasing yields, improving product quality and reducing dependence on chemical fertilizers and pesticides. For Ukraine, which is one of the world's leading exporters of grain, the integration of modern biotechnology into production is not only a need, but also a strategic task to ensure competitiveness in international markets.

The purpose of the study is to analyze the current state of the introduction of biotechnology into Ukrainian agriculture, to study the effectiveness of the use of genetic engineering, marker-based selection and growth biostimulants, as well as to develop scientifically based recommendations for their integration into the agricultural sector of Ukraine.

The study used a systematic approach that includes an analysis of literary sources and a review of global and Ukrainian practices in the application of biotechnology.

Based on these data, recommendations were formulated for the introduction of biotechnology into the national agricultural sector. The study showed that the introduction of biotechnology, in particular drought-resistant crop varieties, the use of biological products for soil fertilization and plant protection, allows to increase the yield and quality of grain crops by 20–30%. The use of genetic engineering ensures the creation of varieties with improved characteristics, in particular resistance to stress factors. Marker-guided breeding reduces the time for developing new varieties and increases their genetic stability. Growth biostimulants help optimize nutrient use and improve crop resistance to diseases.

Integration of modern biotechnology into the agricultural sector of Ukraine will help increase the efficiency of agricultural production, reduce environmental impact and ensure food security.

Key words: genetic modification, agricultural innovations, crop yield, environmental sustainability, breeding technologies.

Постановка проблеми. У сучасному світі сільське господарство стикається з численними викликами, серед яких збільшення кількості населення, зміни клімату, деградація ґрунтів та обмеженість ресурсів. Ці фактори вимагають впровадження інноваційних підходів до виробництва сільськогосподарської продукції, особливо зернових культур, які є основою продовольчої безпеки України та світу загалом.

В Україні, яка є одним із найбільших світових експортерів зернових, важливість підвищення продуктивності та якості зернових культур важко переоцінити. Проте традиційні методи аграрного виробництва часто не дозволяють ефективно протидіяти негативним наслідкам природних і техногенних факторів. У таких умовах використання сучасних біотехнологій є важливим інструментом для забезпечення стійкого розвитку аграрного сектору.

Біотехнології, зокрема генна інженерія, маркерно-орієнтована селекція та біопрепарати, мають потенціал значно підвищити врожайність, поліпшити якісні показники зерна, підвищити стійкість рослин до шкідників, хвороб і стресових умов навколишнього середовища. Проте їх упровадження в Україні супроводжується низкою проблем, таких як обмежене фінансування наукових досліджень, нечіткість нормативно-правової бази для використання генетично модифікованих організмів (далі – ГМО), а також сумніви щодо безпеки біотехнологічних рішень. Таким чином, постає нагальна потреба в комплексному дослідженні впливу біотехнологій на продуктивність та якість зернових культур в Україні. Це передбачає оцінку їхньої ефективності, екологічної та економічної доцільності, а також розробку рекомендацій щодо їх практичного застосування з урахуванням міжнародного досвіду.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вивчення наукового доробку з обраної проблематики засвідчує, що використання біотехнологій у зерновому господарстві України розглядається як перспективний інструмент для підвищення продуктивності та покращення якості зернових культур в умовах сучасних викликів. Зокрема, дослідники D. Gandasari, D. Dwidienawati, S. Wahyuni [1], L. Xiangjuan, X. Li [2] з'ясували, що зміни клімату, зокрема збільшення температури та зменшення кількості опадів, мають негативний вплив на врожайність, що створює значні труднощі для агрономів і фермерів. У цьому контексті важливою є роль технологічних елементів вирощування, таких як застосування добрив, біопрепаратів, а також покращення агротехнічних заходів для збереження й підвищення врожайності.

Автори І. В. Фурман [3], С. Г. Черемісіна [4] довели, що використання ГМО здатне підвищити стійкість сільськогосподарських культур до впливу шкідників і стресових факторів, що відкриває значні можливості для збільшення

продуктивності в умовах кліматичних змін. Однак науковці також акцентують на ризиках і можливих негативних наслідках для екосистеми, що вимагає додаткових досліджень для оцінювання довгострокових екологічних впливів ГМО на ґрунт та біорізноманіття. Таким чином, хоча вплив ГМО на урожайність був доведений, існує необхідність глибшого аналізу ризиків для екології.

Інші вчені, такі як V. Mykhailenko [5] та Ю. Перегуда [6], зосереджувалися на маркерно-орієнтованій селекції, що дозволяє значно прискорити виведення високопродуктивних сортів пшениці. Автори підтвердили ефективність цього методу у створенні сортів, які мають покращену стійкість до стресових факторів, таких як посуха чи хвороби. Проте зазначили, що на сьогодні ці технології ще не є доступними для широкого використання в аграрному виробництві через високі витрати на їх впровадження та обмежену доступність відповідних ресурсів. Відповідно, важливим завданням є подальше вдосконалення та адаптація маркерно-орієнтованої селекції до конкретних умов.

У контексті впливу технології вирощування на врожайність пшениці озимої варто акцентувати на дослідженнях, що стосуються застосування біопрепаратів. Зокрема, науковці О. Є. Марковська, Т. А. Гречишкіна, Н. М. Лавренко [7], О. О. Вінюков, О. Б. Бондарева, О. М. Коробова, Г. А. Чугрій [8], О. А. Коваленко, К. В. Мельникова [9] вивчали ефективність біопрепаратів для підвищення продуктивності пшениці в умовах Донецької області, виявивши позитивний вплив на стійкість рослин до стресових факторів, таких як посуха, а також значне покращення врожайності та якості зерна. Використання біологічних засобів дозволяє значно поліпшити умови для розвитку сільськогосподарських культур, що підтверджують результати досліджень.

Однак важливо зазначити, що досі існує проблема недостатньої кількості даних, що стосуються економічної ефективності таких технологій, а також їх адаптації до різних регіональних умов, де екологічні й кліматичні фактори можуть істотно варіюватися.

Незважаючи на значний прогрес у цій галузі, існують прогалини, які потребують подальшого вивчення. Йдеться про недостатню кількість досліджень щодо економічної ефективності впровадження біотехнологій в українських умовах, а також екологічних наслідків використання генетично модифікованих культур. Не менш важливими є соціальні аспекти, пов'язані зі сприйняттям біотехнологій суспільством. Розв'язання цих проблем стане важливим кроком на шляху до сталого розвитку аграрного сектору України та підвищення його конкурентоспроможності на міжнародному ринку.

Постановка завдання. Метою статті є визначення впливу сучасних біотехнологій на продуктивність та якість зернових культур в умовах України, а також розроблення рекомендацій щодо їх впровадження в аграрний сектор.

Для досягнення мети сформульовано такі завдання:

- 1) проаналізувати сучасний стан впровадження біотехнологій у сільське господарство України та світу;
- 2) вивчити результати використання генної інженерії, маркерно-орієнтованої селекції та біостимуляторів росту для підвищення врожайності та якості зернових культур;
- 3) розробити науково обґрунтовані рекомендації щодо інтеграції сучасних біотехнологій в аграрний сектор України.

Виклад основного матеріалу дослідження. Ефективне функціонування зернового ринку України є визначальним фактором для забезпечення стабільності

аграрного сектору економіки та отримання значних валютних надходжень [10]. Як одна з провідних галузей зерновий ринок забезпечує щорічно близько 10 мільярдів доларів експортної виручки, водночас створюючи сприятливі умови для прибуткової діяльності сільськогосподарських виробників.

Протягом 2017–2021 років в Україні спостерігався стійкий розвиток зернового ринку. Валовий збір зернових і зернобобових культур за цей період зріс на 38,9% – з 61,9 млн тонн у 2017 році до 86 млн тонн у 2021 році. Найбільшого зростання досягнуто у виробництві кукурудзи, показники якого збільшились на 70,7% (або на 17,4 млн тонн), що пояснюється значним розширенням посівних площ під цією культурою – на 22,3% (або на 1 млн га). Виробництво пшениці зросло на 22,9% (або на 6 млн тонн), а ячменю – на 13,9% (або на 1,2 млн тонн). Загальна площа посівів під зерновими культурами за цей період збільшилась на 9,5%, досягнувши 15,9 млн га [4, с. 81–82].

Проте початок повномасштабної війни з росією у 2022 році суттєво дестабілізував роботу зернового ринку. Зменшення посівних площ та порушення агротехнічного циклу призвели до значного скорочення обсягів виробництва. Загальний валовий збір зернових культур у 2022 році становив 53,9 млн тонн, що на 37,3% менше, ніж у 2021 році. Виробництво пшениці скоротилося на 35,7% (або на 11,5 млн тонн), кукурудзи – на 37,8% (або на 15,8 млн тонн), ячменю – на 40,7% (або на 3,8 млн тонн). Загальна площа посівів зернових культур зменшилась на 23,3% – з 15,9 млн га у 2021 році до 12,2 млн га у 2022 році [4, с. 81–82].

Серед найважливіших зернових культур пшениця озима за посівними площами займає в Україні перше місце (5–7 млн га) і є головною продовольчою культурою. Значний резерв підвищення продуктивності цієї культури криється у використанні генетичного потенціалу нового покоління адаптованих сортів, загалом по країні він реалізується лише на 40–45%. Тому виникає вельми складне біотехнологічне завдання – поєднати в одному сорті високий потенціал продуктивності, стабільну стійкість проти хвороб, шкідників та несприятливих факторів навколишнього середовища, якість продукції.

Основними причинами такого значного скорочення виробництва є окупація частини територій, пошкодження або втрата сільськогосподарської інфраструктури, скорочення доступу до добрив, пального, техніки та інших ресурсів. Блокада чорноморських портів також значно ускладнила експорт зернових, що зумовило перенасичення внутрішнього ринку та падіння цін на продукцію, погіршивши фінансовий стан аграріїв.

Ефективність функціонування зернового ринку України зазнала значного впливу внаслідок воєнних дій. Незважаючи на складні умови, галузь продовжує відігравати важливу роль у забезпеченні продовольчої безпеки країни та світу. Останніми роками в Україні спостерігається помітне зростання інтересу до впровадження біологічних технологій у виробництво зерна. Ця тенденція зумовлена низкою важливих факторів, які визначають сучасний розвиток аграрного сектору.

Одним із головних чинників є зростання суспільного усвідомлення екологічних проблем та необхідності зменшення негативного впливу сільського господарства на довкілля [11, с. 75]. Надмірне використання хімічних добрив та пестицидів призводить до деградації ґрунтів, забруднення водних ресурсів і зниження біорізноманіття. У цьому контексті біологічні технології, які передбачають застосування біологічних мікроорганізмів для підживлення ґрунту, покращення його структури та родючості, а також для захисту рослин від шкідників і хвороб, є альтернативою традиційним хімічним методам.

Попит на екологічно чисті продукти також є важливим стимулом для розвитку біологічних технологій. Споживачі як в Україні, так і за її межами все більше звертають увагу на якість та безпечність харчових продуктів. Це створює потребу у вирощуванні зернових культур із дотриманням принципів екологічної сталості. Особливо актуальним це є для експортної орієнтації українського зернового ринку, оскільки вимоги до екологічності та якості продукції на міжнародних ринках постійно посилюються.

Економічна складова також відіграє важливу роль у популяризації біологічних технологій. Використання біологічних препаратів сприяє зменшенню витрат на дорогі хімічні засоби захисту рослин і мінеральні добрива, водночас підвищуючи врожайність і якість зерна. Крім того, біологічні технології дозволяють забезпечити тривале збереження родючості ґрунтів, що є важливим чинником для стабільного розвитку сільського господарства в умовах зростання світового попиту на продовольство.

Ще одним важливим аспектом є підтримка сталого розвитку сільського господарства. Впровадження біологічних технологій допомагає зменшити негативний вплив аграрної діяльності на екосистему, сприяючи збереженню природних ресурсів для майбутніх поколінь. Це відповідає світовим тенденціям розвитку аграрної політики, де акцент робиться на інтеграцію екологічних і соціальних цілей. У таблиці 1 узагальнено основні чинники впровадження біологічних технологій у виробництво зернових культур в Україні.

Таблиця 1

Основні чинники впровадження біологічних технологій у виробництво зернових культур в Україні

Чинник	Характеристика впливу
Екологічні чинники	Зменшення негативного впливу сільського господарства на довкілля. Запобігання деградації ґрунтів, забрудненню водних ресурсів та зниженню біорізноманіття.
Попит на екологічно чисті продукти	Зростання вимог споживачів до якості й безпечності продукції. Орієнтація на експортні ринки з підвищеними стандартами екологічності.
Економічні переваги	Зниження витрат на хімічні добрива й пестициди. Підвищення врожайності та якості зерна, що забезпечує вищі прибутки. Збереження довгострокової родючості ґрунтів.
Сталий розвиток сільського господарства	Відповідність сучасним тенденціям інтеграції екологічних і соціальних цілей. Збереження природних ресурсів для майбутніх поколінь.
Міжнародні вимоги та стандарти	Підвищення конкурентоспроможності українського зерна на світовому ринку. Зростання важливості сертифікації продукції відповідно до екологічних стандартів.

Джерело: систематизовано авторами на основі [11, с. 75–76]

Посилення інтересу до біологічних технологій у виробництві зерна в Україні є результатом дії комплексу економічних, екологічних і соціальних чинників. Їх широке застосування не лише відповідає вимогам внутрішнього й зовнішнього

ринків, але й створює передумови для стійкого розвитку аграрного сектору та підвищення конкурентоспроможності українського зерна.

До основних біотехнологій належать генна інженерія, маркерно-орієнтована селекція та використання біопрепаратів (табл. 2).

Таблиця 2

**Біотехнології, що використовуються для підвищення ефективності
зернового виробництва**

Назва	Характеристика
Генна інженерія	Підвищення врожайності шляхом модифікації генів, відповідальних за продуктивність рослин. Стійкість до стресових умов, зокрема, до посухи, високих температур, засолення ґрунтів та низьких температур, що є актуальним для регіонів України з різними кліматичними умовами. Резистентність до шкідників і хвороб через створення сортів, які продукують природні інсектициди (наприклад, Вт-зернові культури).
Маркерно-орієнтована селекція	Дозволяє скоротити час виведення нових сортів порівняно з традиційною селекцією. Забезпечує виявлення рослин із заданими характеристиками (наприклад, стійкість до хвороб чи адаптація до певних умов). Дає змогу зменшити потребу в польових випробуваннях та зробити селекційні програми більш ефективними.
Біопрепарати	Біодобрива містять корисні мікроорганізми, які покращують родючість ґрунту та сприяють засвоєнню рослинами поживних речовин (наприклад, азоту та фосфору). Біоінсектициди та біофунгіциди використовуються для боротьби зі шкідниками та хворобами рослин. Їхня дія базується на природних механізмах, що створює безпечність для екосистеми. Біостимулятори росту активізують розвиток кореневої системи, підвищують енергію проростання насіння та покращують загальний стан рослин.

Джерело: власна розробка авторів

Генна інженерія дає змогу створювати сорти зернових культур із покращеними властивостями, спрямованими на підвищення врожайності, стійкості до шкідників і хвороб, а також адаптації до стресових умов, таких як посуха, засолення ґрунтів чи температурні коливання. Наприклад, завдяки модифікації генів, що регулюють продуктивність рослин, створюються культури з вищим рівнем урожайності, а генетичні зміни, спрямовані на посилення природних механізмів захисту, сприяють зниженню потреби в хімічних пестицидах.

Міжнародні компанії та корпорації ставлять за мету збільшити генетичний потенціал урожайності таких основних культур, як пшениця, кукурудза та рис, на 50–100% упродовж наступних 20 років [12, с. 91]. Завдяки впровадженню інноваційних підходів у генетиці та селекції вже створено сорти пшениці озимої та ячменю інтенсивного типу, потенційна врожайність яких сягає 11,0–14,0 т/га.

Проте, незважаючи на значний генетичний потенціал цих сортів, рівень їхньої реальної середньої врожайності в умовах виробництва залишається значно нижчим [13, с. 99]. За оцінками експертів, середній рівень використання генетичного

потенціалу сучасних сортів зернових культур становить лише близько 45% [14, с. 48]. У деяких господарствах цей показник може бути трохи вищим, однак загалом існує значна відмінність між потенційними та фактичними показниками врожайності.

Не менш важливу роль у розвитку біотехнологій відіграє маркерно-орієнтована селекція (далі – МОС), яка дає змогу значно пришвидшити процес виведення нових сортів. Завдяки використанню генетичних маркерів стає можливим ідентифікувати рослини, що мають задані характеристики, наприклад, стійкість до хвороб чи здатність до адаптації в різних кліматичних умовах. МОС забезпечує високу точність і надійність селекційного процесу, що значно скорочує час і витрати на польові випробування, дозволяючи ефективніше впроваджувати інноваційні рішення у виробництві.

Окрім того, у сучасному виробництві зерна активно використовуються біопрепарати, які є екологічно безпечною альтернативою хімічним засобам. До таких біопрепаратів належать біодобрива, які збагачують ґрунт корисними мікроорганізмами, що сприяють засвоєнню рослинами поживних речовин, таких як азот і фосфор. Біоінсектициди та біофунгіци забезпечують природний захист рослин від шкідників і хвороб, знижуючи екологічне навантаження на агроєкосистеми. Також важливим є використання біостимуляторів росту, які сприяють розвитку кореневої системи, підвищують енергію проростання насіння і покращують загальний стан рослин, що позитивно впливає на врожайність і якість зерна.

Україна має кілька провідних підприємств і наукових установ, які активно працюють у сфері розробки та впровадження промислових технологій біологізації рослинництва. Серед них особливе місце посідають Інженерно-технологічний інститут «Біотехніка» (далі – ІТІ «Біотехніка») НААН, Інститут сільськогосподарської мікробіології та агропромислового виробництва (далі – ІСМАВ) НААН і ТОВ «Компанія «БТУ-Центр» [11, с. 75]. Їхня діяльність охоплює виробництво біопрепаратів, що використовуються для захисту та стимулювання росту рослин, а також відповідають вимогам органічного землеробства, підтвердженого сертифікаційним органом «Organic Standard».

Продукція цих підприємств базується на застосуванні корисних мікроорганізмів, які виконують кілька важливих функцій. Зокрема, вони забезпечують ефективний захист рослин від патогенів і шкідників, сприяють кращому засвоєнню поживних речовин із ґрунту, стимулюють розвиток кореневої системи й активізують біологічні процеси, що сприяють формуванню врожаю. Такий підхід дозволяє не лише підвищити врожайність і якість зерна, але й значно зменшити хімічне навантаження на агроєкосистеми.

Однією з переваг використання біопрепаратів є їхня екологічна безпека, яка стає все більш важливим чинником у сучасних умовах. Наприклад, продукти ІТІ «Біотехніка» орієнтовані на оптимізацію біологічних процесів у ґрунті, тоді як ІСМАВ НААН спеціалізується на мікробіологічних розробках, спрямованих на захист і живлення рослин. ТОВ «Компанія «БТУ-Центр» активно впроваджує інноваційні біотехнологічні рішення, розробляючи препарати, які ефективно працюють в умовах органічного землеробства.

Використання таких технологій є стратегічно важливим для забезпечення конкурентоспроможності українського зернового виробництва на міжнародному ринку, де екологічність продукції є одним з основних критеріїв. Прикладом впливу біотехнологій на сільське господарство є суттєве підвищення рівня середньої врожайності сільськогосподарських культур у багатьох країнах світу за

останні два десятиліття. Це свідчить про значний прогрес у впровадженні інноваційних рішень, які стали основою для модернізації агросектору та підвищення його ефективності.

У країнах Північної Америки, зокрема в США і Канаді, завдяки активному використанню біотехнологій, урожайність кукурудзи перевищує 11 тонн із гектара, цукрових буряків – понад 70 тонн, а помідорів – майже 100 тонн із гектара [15]. У європейських країнах, де зосереджено значну кількість біотехнологічних компаній, також спостерігається стійке зростання врожайності. Наприклад, у Нідерландах середня врожайність ячменю становить 6,62 тонни з гектара, пшениці – понад 8 тонн, а цукрових буряків – понад 80 тонн із гектара.

За прогнозами FAO, до 2030 року ресурсоефективна циркулярна біоекономіка може досягти вартості 7,7 трлн доларів. На сьогодні понад 60 країн і регіонів уже мають стратегії розвитку біоекономіки, ще 10 – знаходяться на стадії їх розробки [15]. Концепція біоекономіки, яка отримала офіційне визначення на Глобальному саміті 2020 року, передбачає виробництво, використання, збереження та відновлення біологічних ресурсів у поєднанні з сучасними науковими знаннями та технологіями. Вона спрямована на забезпечення сталого розвитку економіки та подолання екологічних, продовольчих і соціальних викликів.

Світовими лідерами в розвитку біотехнологій є США, Німеччина, Франція, Південна Корея, Іспанія, Італія, Туреччина, Швейцарія, Бельгія та інші країни. Їхній досвід доводить, що активне впровадження інновацій у сільське господарство створює умови для досягнення економічного добробуту та підвищення конкурентоспроможності на світовому ринку.

Ці глобальні тенденції в наступні десятиліття визначатимуть, які країни зможуть успішно впоратися з викликами, що стоять перед аграрним сектором, а які залишаться осторонь. Для України ці процеси є надзвичайно важливими, адже забезпечення стійкого розвитку агробізнесу потребує значних інвестицій у наукові дослідження, особливо в галузі біотехнологій. У сучасних умовах експорт виключно сировинних зернових і технічних культур або продукції первинної переробки вже не може забезпечити необхідний рівень доходів для підтримки конкурентоспроможності аграрного сектору. З огляду на це, інтеграція сучасних біотехнологічних рішень має стати стратегічним пріоритетом для українського агробізнесу. Застосування цих біотехнологій у комплексі відкриває широкі можливості для розвитку українського зернового виробництва.

Для ефективної інтеграції сучасних біотехнологій в аграрний сектор України необхідно розробити науково обґрунтовані рекомендації, які враховуватимуть глобальні тренди, екологічні виклики та економічну доцільність. Одним із важливих напрямів є розробка та впровадження посухостійких сортів і гібридів сільськогосподарських культур. В умовах кліматичних змін і ризиків посухи створення сортів, адаптованих до екстремальних погодних умов, є критично важливим завданням. Використання методів генної інженерії та маркерно-орієнтованої селекції дозволить забезпечити стабільність врожаїв, підвищуючи ефективність аграрного виробництва.

Не менш перспективним напрямом є розвиток біопаливної індустрії другого та третього покоління. Біопаливо другого покоління виготовляється з лігноцелюлозної біомаси, включаючи залишкові нехарчові частини рослин, такі як стебла, листя, лушпиння, а також деревну стружку та інші побічні продукти. Це дозволяє ефективно використовувати відходи сільськогосподарського виробництва, скорочувати залежність від викопного палива та суттєво зменшувати викиди парникових газів.

Інноваційні технології захисту рослин і забезпечення здоров'я тварин також відіграють важливу роль у модернізації аграрного сектору. Використання біопрепаратів на основі корисних мікроорганізмів дозволяє знизити залежність від хімічних засобів захисту рослин, сприяє підвищенню врожайності та якості продукції, а також підтримує розвиток органічного землеробства.

Для успішної інтеграції біотехнологій важливо забезпечити належне фінансування наукових досліджень і розробок. Залучення приватних інвестицій, створення державних програм підтримки та стимулювання співпраці між бізнесом і науковими установами дозволить реалізувати потенціал біоекономіки. Крім того, важливою складовою є розвиток освітніх програм і підготовка висококваліфікованих фахівців, які працюватимуть у галузі біотехнологій.

Висновки і пропозиції. Аналіз сучасного стану впровадження біотехнологій у сільське господарство України та світу засвідчив, що застосування біотехнологій набуває все більшого поширення. У світі це зумовлено глобальними викликами, такими як збільшення кількості населення, кліматичні зміни та необхідність сталого розвитку. В Україні впровадження біотехнологій наразі перебуває на етапі поступового розвитку, зосередженого на адаптації сучасних підходів до місцевих умов. Основними напрямками є використання біологічних препаратів, посухостійких сортів культур і технологій підвищення стійкості рослин до захворювань та стресів.

Вивчення результатів використання генної інженерії, маркерно-орієнтованої селекції та біостимуляторів росту показало, що ці технології значно підвищують врожайність та якість зернових культур. Генна інженерія сприяє створенню сортів, адаптованих до екстремальних умов середовища. Маркерно-орієнтована селекція дозволяє значно пришвидшити процес виведення нових сортів із високими показниками продуктивності. Біостимулятори росту забезпечують підвищення стійкості рослин до стресових факторів, покращують поглинання поживних речовин і сприяють оптимальному розвитку рослин у різних умовах вирощування.

Розроблені науково обґрунтовані рекомендації щодо інтеграції сучасних біотехнологій в аграрний сектор України передбачають впровадження посухостійких сортів культур для зменшення залежності від несприятливих кліматичних умов; розвиток виробництва та використання біопалива другого і третього покоління для забезпечення енергетичної незалежності аграрного сектору; розширення застосування біопрепаратів для підвищення ефективності використання ресурсів і зниження екологічного навантаження; державну підтримку досліджень у галузі біотехнологій та розвиток партнерства між науковими установами, приватним сектором і міжнародними організаціями; популяризацію інноваційних технологій серед агровиробників шляхом впровадження освітніх програм, проведення семінарів і консультацій.

Таким чином, застосування сучасних біотехнологій у сільському господарстві України є необхідною умовою для забезпечення конкурентоспроможності аграрного сектору, підвищення продуктивності та стійкості виробництва, а також задоволення вимог внутрішнього та зовнішнього ринків.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Gandasari D., Dwidenawati D., Wahyuni Sri. Analysis of Innovation Attributes in The Innovation Adoption of Agricultural Mechanization Technology in Farmers. *Journal of Development Communication*. 2020. Vol. 19. № 01. P. 38–51. DOI: 10.46937/19202132705.

2. Xiangjuan L., Li X. The Influence of Agricultural Production Mechanization on Grain Production Capacity and Efficiency. *Processes*. 2023. Vol. 11. № 2. Art. 487. DOI: 10.3390/pr11020487
3. Фурман І. В. Теоретичні основи формування стратегії розвитку аграрних підприємств зернового напрямку. *Інвестиції: практика та досвід*. 2019. № 23. С. 80–87. DOI: 10.32702/2306 6814.2019.23.80.
4. Черемісіна С. Г. Моніторинг ефективності зернового господарства України: фактори впливу та повоєнні перспективи. *Economics: time realities*. 2024. Вип. 3(73). С. 79–93. DOI: 10.15276/ETR.03.2024.8
5. Mykhailenko V. Biological wastewater treatment plants as sources of environmental pollution by persistent organic pollutants (on the example of Odesa industrial-and-urban agglomeration). *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University, series «Geology. Geography. Ecology»*. 2023. № 58. DOI: 10.26565/2410-7360-2023-58-26
6. Перегуда Ю. Дослідження конкурентоспроможності українського молока та молочних продуктів на національному і світовому ринках. *Економіка та суспільство*. 2023. Вип. 52. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-52-7>
7. Марковська О. Є., Гречишкіна Т. А., Лавренко Н. М. Вплив елементів технології вирощування на урожайність та якість зерна сортів пшениці озимої в умовах Південного Степу України. *Colloquium-Journal. Agricultural Sciences*. 2020. Vol. 19. № 71. DOI: 10.24411/2520-6990-2020-12053
8. Вінюков О. О., Бондарева О. Б., Коробова О. М., Чугрій Г. А. Вплив біопрепаратів на продуктивність пшениці озимої на різних фонах живлення в умовах Донецької області. *Вісник аграрної науки*. 2018. № 11(788). С. 41–47 DOI: 10.31073/agrovisnyk201811-06
9. Коваленко О. А., Мельникова К. В. Вплив біопрепаратів на продуктивність пшениці озимої за умов південного степу України. *Розвиток аграрної галузі та впровадження наукових досліджень у виробництво: матеріали III Міжнар. наук.-практ. конф. (м. Миколаїв, 4–6 листопада 2020 р.)*. Миколаїв: МНАУ, 2020. С. 18–20. URL: https://agrobiologiya.btsau.edu.ua/sites/default/files/visnyky/agrobiologiya/grabovska_1_2017.pdf (дата звернення: 20.01.2025).
10. Савенко І., Седікова І., Седіков Д. Російсько-український конфлікт: виклики для зернового ринку. *Food Industry Economics*, 2022. № 14(2). DOI: 10.15673/fe.v14i2.2320.
11. Засць С. О., Онуфран Л. І., Юзюк С. М., Фундират К. С., Пілярський В. Г. Вплив різних систем біологічного захисту рослин на врожайність та якість зерна пшениці озимої в органічному землеробстві. *Аграрні інновації*. 2024. Вип. 23. С. 75–82. DOI: 10.32848/agrar.innov.2024.23.11
12. Пикало С. В., Демидов О. А., Юрченко Т. В., Прокопик Н. І., Харченко М. В., Рибка К. М. Розроблення способів добору in vitro генотипів зернових культур на стійкість до несприятливих чинників довкілля. *Екологічні науки*. 2021. № 4(37). С. 90–97. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.4-37.13>
13. Коць С. Я. Хлібний достаток країни – мета наукового пошуку (до 80-річчя академіка НАН України ВВ Моргуна). *Вісник НАН України*. 2018. № 3. С. 96–108. URL: <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/132273> (дата звернення: 20.01.2025).
14. Васильківський С. П., Гудзенко В. М., Кочмарський В. С., Кириленко В. В. Реалізація потенціалу сортів зернових культур – шлях вирішення продовольчої проблеми. *Фактори експериментальної еволюції організмів*. 2017. Т. 21. С. 47–51. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/feeo_2017_21_10 (дата звернення: 20.01.2025).
15. Кернасюк Ю. Як біотехнологія змінює сільське господарство. *Агрономія сьогодні*. 01.04.2024. URL: <https://agronomy.com.ua/statti/2372-yak-biotekhnolohiia-zminiuiie-silске-hospodarstvo.html> (дата звернення: 20.01.2025).