

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА  
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І  
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ**

Кваліфікаційна наукова  
праця на правах рукопису

**ГУДЗЬ Сергій Олександрович**

УДК 579.64:631.461:631.847.21: 631.86/87

**ДИСЕРТАЦІЯ  
ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ МІКРОБІОЦЕНОЗУ ҐРУНТІВ  
ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ ЗА РІЗНОГО СТУПЕНЯ АНТРОПОГЕННОГО  
НАВАНТАЖЕННЯ КОРОТКОРОТАЦІЙНИХ СІВОЗМІН**

03.00.07 – мікробіологія  
Сільськогосподарські науки

Подається на здобуття наукового ступеня кандидат сільськогосподарських наук. Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

---

Науковий керівник **Сківка Лариса Михайлівна**, доктор біологічних наук, професор

Київ – 2021

## Анотація

**ГУДЗЬ С. О. Особливості формування мікробіоценозу ґрунтів Лісостепу України за різного ступеня антропогенного навантаження короткоротаційних сівозмін.** – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата сільськогосподарських наук за спеціальністю 03.00.07 «Мікробіологія» (06 – сільськогосподарські науки). – Національний університет біоресурсів і природокористування, Київ, 2021.

*Актуальність теми.* В існуючих умовах господарювання в Україні недосконалість технологій вирощування сільськогосподарських культур, забруднення агроценозів полютантами, а також інші негативні процеси, призвели до значного погіршення агроекологічного стану і зниження родючості ґрунтів. Апріорно, що радикальним методом інтенсифікації сільськогосподарського виробництва передбачено запровадження високої культури землеробства, що пов'язано із широким застосуванням добрив, пестицидів, прогресивних сівозмін і способів обробітку ґрунту. В такий спосіб, екологічно не обґрунтоване антропогенне навантаження на агробіогеоценози призводить не тільки до зниження їх біопродуктивності, а й до негативних змін біосфероутворюючих функцій у глобальному аспекті. Все частіше рівень продуктивності та якості сільськогосподарських культур почали обмежувати деформовані антропогенною діяльністю властивості ґрунтів. Погіршення стану сільськогосподарських земель вимагає вжиття невідкладних науково-обґрунтованих заходів, спрямованих на покращення ґрунтової родючості та умов вирощування екологічно чистої продукції рослинництва. Один із шляхів реалізації поставленої мети - це запровадження систем удобрення з елементами біологізації, пріоритетами яких є застосування альтернативних форм органічних добрив (сидерати, нетоварна частина врожаю), екологічно обґрунтованих доз пестицидів, ощадливий обробіток ґрунту. Поштовхом до переорієнтації традиційних способів утримання агрофітоценозів у бік «альтернативних»

технологій стали не тільки екологічні причини, пов'язані з проблемами забруднення довкілля, а й необхідність достатнього забезпечення населення якісною та безпечною продукцією харчування.

Дослідження проведені Добровольським Г.В., Патиною В. П., Волкогоном В. В., Іутинською Г. О., Тихоненко Д. Г., Ємцевим В. Т., Єщенко В. О., Новосад К. Б., Патиною М. В. та іншими вченими створили фундаментальні основи сучасного уявлення про мікробіоту ґрунту. Водночас недостатньо вивчено питання мікробної трансформації органічних речовин за застосування сучасних способі удобрення та нових форм органічних добрив в короткоротаційних сівозмінах. Не в повній мірі досліджені комплексні закономірності та зв'язки між структурою мікробних угруповань і кількісними та якісними показниками стану ґрунтів. Також потребують додаткового вивчення питання формування метабеному та філотипової структури прокаріотних комплексів чорноземних ґрунтів.

Запровадження екологічно зорієнтованих технологій вирощування сільськогосподарських культур вимагає докладного вивчення особливостей функціонування агроценозів з метою встановлення закономірностей перебігу процесу формування продуктивності наземного фітоценозу та забезпечення сталого розвитку агросфери в цілому. А тому тема роботи цілком актуальна, так як вона направлена на вивчення особливостей розвитку мікробіоценозів ґрунту та закономірностей їх впливу на середовище та рослини за різного ступеня антропогенного навантаження короткоротаційних сівозмін.

*Метою досліджень* було встановлення особливостей мікробіологічного різноманіття, мікробіологічної і ферментативної активності, механізмів мікробної трансформації органічної речовини за використання різних систем удобрення культур короткоротаційної сівозміни.

*Наукова новизна одержаних результатів.*

*Вперше* встановлено особливості таксономічної структури еубактеріального комплексу ризосфери культур короткоротаційної сівозміни за різних умов антропогенного навантаження. Показано, що в умовах мінімального

антропогенного навантаження за застосування біологічної та екологічної систем земледобрення збільшується різноманіття мікробіоти ризосфери з підвищенням частки ризо бактерій з ріст стимулювальними (*Acidobacteria*, *Actinobacteria*, *Verrucomicrobia*) властивостями та здатністю посилювати стресостійкість рослин (*Proteobacteria*).

Отримано нові дані стосовно позитивного впливу екологічної та біологічної систем земледобрення на склад ґрунтової мікробіоти. Зокрема доведено, що земледобрення з мінімальним антропогенним навантаженням асоційоване зі збільшенням таксономічного різноманіття мікробних угруповань ґрунту зі збільшенням частки мікроорганізмів, задіяних у біосферному коло обігу макро- та мікроелементів, відсутністю виснаження поживних речовин ґрунту у період активної вегетації культур сівозмін.

Розширено існуючі уявлення стосовно впливу систем удобрення з різним антропогенним навантаженням алелопатичну та ферментативну активність ґрунту. Встановлено, що застосування екологічної та біологічної систем земледобрення супроводжується мінімізацією алелопатичної активності ґрунту та оптимізацією ґрунтових ферментативних процесів.

Проведено розрахунок економічної та енергетичної ефективності вирощування культур короткоротаційних сівозмін за умов використання систем земледобрення з різним ступенем антропогенного навантаження.

**Практичне значення отриманих результатів.** Результати дисертаційного дослідження науково обґрунтовують доцільність використання екологічної та біологічної систем удобрення для підтримання видової та функціональної різноманітності еубактеріального комплексу ризосфери культур короткоротаційної сівозміни та ґрунтової мікробіоти у контексті біологізації сільськогосподарського виробництва.

Оцінка біологічної та економічної ефективності застосування систем земледобрення з низьким рівнем антропогенного навантаження створює науково-обґрунтовану доказову базу для впровадження екологічної та

біологічної систем земледобрення у практику сільськогосподарського виробництва.

Результати проведених досліджень впроваджені в сільськогосподарську практику агропідприємств Київської області. Застосування біологічної системи удобрення у 2019-20 рр. на полях ТОВ «Агрофірма Київська» Макарівського району, Київської області дозволило отримати високий рівень рентабельності сої та кукурудзи і прибуток з площі 20 га на 35,7 тис. грн. більше порівняно з системою мінерального удобрення.

### **Основні результати досліджень.**

За результатами проведених досліджень встановлено, що основу еубактеріального комплексу озимої пшениці складали представники філ *Acidobacteria*, *Actinobacteria*, *Armatimonadetes*, *Bacteroidetes*, *Chlamydiae*, *Chlorobi*, *Chloroflexi*, *Cyanobacteria*, *Elusimicrobia*, *Fibrobacteres*, *Firmicutes*, *Gemmatimonadetes*, *Nitrospirae*, *Planctomycetes*, *Proteobacteria*, *Thermi*, *Verrucomicrobia*, а також архейних філ: *Euryarchaeota* та *Crenarchaeota*. Абсолютними домінантами були представники бактеріальних філ *Proteobacteria* – 79,1 %, *Actinobacteria* – 14,0 %. При цьому в агроценозі пшениці озимої за різних систем удобрення переважне поширення мали представники родин *Alcaligenaceae*, *Pseudomonadaceae*, *Comamonadaceae*, *Enterobacteriaceae*, *Gaiellaceae*, *Geodermatophilaceae*, *Intrasporangiaceae*, *Micrococcaceae*, *Nitrososphaeraceae*, *Nocardiodaceae*, *Rhodobiaceae*, *Solimonadaceae*, *Solirubrobacteraceae*, *Streptomycetaceae*, *Xanthomonadaceae*. А от за біологічної системи удобрення супроводжується збільшенням видового різноманіття мікробіоти ґрунту за рахунок філ *Acidobacteria*, *Actinobacteria*, *Bacteroidetes*, *Firmicutes*, *Proteobacteria*, *Verrucomicrobia*, а застосування екологічної системи удобрення - за рахунок таких філ, як *Actinobacteria*, *Bacteroidetes*, *Firmicutes* та *Proteobacteria*.

Досліджено, що еубактеріальний комплекс сої в середньому по досліді представлений такими філами: *Proteobacteria* – 82,0 %, *Actinobacteria* – 12,1 %, *Acidobacteria* – 0,9 %, *Gemmatimonadetes* – 0,7 %, *Chloroflexi* – 0,5 %, *Firmicutes*

– 0,5 %, *Verrucomicrobia* – 0,4 %, *Bacteroidetes* – 0,2 %, *Planctomycetes* – 0,1 %, а частка інших філ становила 2,6 %.

Встановлено, що основу еубактеріального комплексу буряків цукрових складали представники філ *Proteobacteria*, *Actinobacteria*, *Gemmatimonadetes*, *Chloroflexi*, *Acidobacteria*, *Firmicutes*, *Planctomycetes*, *Verrucomicrobia*, *Bacteroidetes*. Абсолютними домінантами були представники бактеріальних філ *Proteobacteria* – 76,9 %, *Actinobacteria* – 13,4 %. В агроценозі буряків цукрових за різних систем удобрення переважне поширення мали представники родин *Alcaligenaceae*, *Pseudomonadaceae*, *Nitrososphaeraceae*, *Gaiellaceae*, *Micrococcaceae*, *Solirubrobacteraceae*, *Streptomycetaceae*, *Intrasporangiaceae*, *Solimonadaceae*, *Syntrophobacteraceae*, *Xanthomonadaceae*, *Enterobacteriaceae*, *Nocardiodaceae*, *Hyphomicrobiaceae*, *Comamonadaceae*. А от застосування біологічної системи удобрення супроводжується збільшенням видового різноманіття мікробіоти ґрунту за рахунок філ: *Alcaligenaceae*, *Gaiellaceae*, *Solirubrobacteraceae*, *Streptomycetaceae*, *Solimonadaceae*, *Syntrophobacteraceae*, *Xanthomonadaceae*, *Enterobacteriaceae*, *Nocardiodaceae*, *Hyphomicrobiaceae*, *Hyphomicrobiaceae* а от екологічної системи удобрення - за рахунок таких філ як: *Alcaligenaceae*, *Micrococcaceae*, *Streptomycetaceae*, *Intrasporangiaceae*, *Nocardiodaceae*, *Hyphomicrobiaceae* та *Hyphomicrobiaceae*.

Встановлено, що за використання промислової системи удобрення кукурудзи порівняно з біологічною та екологічними системами частка представників порядків *Acidimicrobiales* та *Clostridiales* у структурі ґрунтової мікробіоти була вищою. Застосування екологічної та біологічної систем удобрення сприяло зростанню чисельності представників порядку *Gaiellales*, *Actinomycetales*, *Solirubrobacterales*, *Xanthomonadales*, *Myxococcales*, *Rhizobiales*, *Bacillales*, *Sphingomonadales* та *Gemmatimonadetes*.

Аналіз особливостей перебігу мікробних процесів в ґрунті, за вирощування досліджуваних культур, показав, що найвища чисельність популяцій мікроорганізмів, що використовують органічний азот була сформована за обмеження або ж відмови від застосування засобів хімізації втілених у

екологічній та біологічній системі удобрення. А от застосування мінеральних добрив суттєво посилювало розвиток мікроорганізмів що використовують азот мінеральних сполук, тому переважно за біологічної системи удобрення в ґрунті був представлений мікробний ценоз збіднений видами, здатними утилізувати мінеральні сполуки азоту. Також встановлено, що більше педотрофних мікроорганізмів було в випадку достатньої кількості органічних добрив, тобто за застосування екологічного та біологічного варіантів удобрення. А от чисельність оліготрофів була вищою за промислової системи удобрення. Також, за застосування екологічної та біологічної систем удобрення рослин чисельність мікроскопічних грибів була максимальною порівняно з промисловою системою, адже достатній вміст клітковини в ґрунті стимулював активізацію розвитку грибної мікрофлори.

Порівняно з аналізом чисельності мікроорганізмів в ґрунті нами встановлено що щільність мікробних клітин в одиниці об'єму ризосферного ґрунту була вищою по відношенні до усіх досліджуваних еколого-трофічних угруповань, а виявлені особливості перебігу процесів закономірно зберігались в динаміці вегетації рослин.

За результатами аналізу коефіцієнтів мінералізації–іммобілізації, оліготрофності та педотрофності встановлено, що за біологічної системи удобрення показники коефіцієнту мінералізації–іммобілізації азоту були найнижчим, що свідчить про зрівноваження процесів мінералізації та іммобілізації. А от підвищення величини коефіцієнту педотрофності, що свідчить про збільшення інтенсивності розкладу органічної речовини ґрунту, зокрема гумусових сполук спостерігалась за застосування промислової системи удобрення. Також, встановлено, що показники коефіцієнту оліготрофності екологічної та біологічної систем удобрення свідчать про хорошу забезпеченість ґрунтової мікробіоти легкозасвоюваними органічними речовинами, та формування оптимальних умов для функціонування ґрунтового мікробного комплексу.

Визначено, що вміст токсинів у ґрунті зазнає постійних змін і наприкінці вегетації алелопатична активність ґрунту за промислової системи удобрення максимальна порівняно з іншими варіантами підживлення рослин.

В той же час в ризосферній зоні ґрунту спостережено мінімальні значення фітотоксичності в усіх досліджуваних нами культур.

Виходячи з проаналізованих нами даних фітотоксичності, умови ґрунтового середовища за біологічної системи землеробства виявились найбільш сприятливими для розвитку наступних сільськогосподарських культур: соя, пшениця, цукрові буряки, кукурудза.

Отже, можна узагальнити що активність протеази зростала від початку до кінця вегетаційного періоду, а максимальні показники активності ферменту каталази спостерігались орієнтовно в середині вегетації досліджуваних культур, а до завершення її відбувалось зменшення цього показника. Отримані результати не суперечать з працями інших вчених, в яких стверджується що високі показники вмісту гумусу призводять до вищих значень активності гідролаз: протеаза, фосфатаза, уреаза, інвертаза. В той же час ферменти оксидоредуктази: пероксидаза, каталаза, поліфенолоксидаза мають зворотну залежність від вмісту в ґрунті гумусу.

Відповідно за поганого вмісту в ґрунті органічної речовини та гумусу процеси розкладу органічних решток та синтезу гумусових сполук проходять більш інтенсивно, що й показує активність окисно-відновних ферментів. А отже, протеазна активність ґрунту впродовж вегетації зростає, а активність каталази знижується, що яскраво помітно в другій половині вегетації сільськогосподарських культур досліджуваної сівозміни.

Результатами досліджень показано, що за біологічної системи удобрення сільськогосподарських культур сівозміни створюються оптимальні умови для перебігу мікробіологічних та ферментативних процесів. А висока ферментативна активність в цьому варіанті досліду, очевидно є наслідком активізації трансформаційних процесів у ґрунті.



За результатами проведених досліджень визначено, що за застосування промислової системи удобрення на початку вегетаційного періоду культур попри вище агрохімічне навантаження створювались кращі умови формування поживного режиму ґрунту порівняно з системами удобрення. Відповідно на початку вегетації найменший рівень забезпечення основними елементами живлення відмічено на біологічній системі удобрення, що пояснюється меншою доступністю елементів живлення до початку активних мікробіологічних процесів в ґрунті.

Визначено також, що з початком активних мікробіологічних процесів в ґрунті доступність елементів живлення на біологічній системі живлення культур зростала порівняно з промисловою системою удобрення і до часу активного споживання рослинами елементів живлення, особливо азоту, їх концентрація в ґрунті досягала хороших рівнів забезпечення.

Досліджено, що впродовж вегетації культур сівозміни запаси елементів живлення в ґрунті виснажувались і на час передзбиральної стиглості вони були мінімальними порівняно з іншими досліджуваними фазами росту та розвитку культур. Найбільша інтенсивність споживання елементів живлення з ґрунту спостерігалась у період інтенсивного накопичення вегетативної маси рослин саме для азоту і його вміст для промислової системи удобрення на кінець вегетації досягав критично низьких рівнів забезпечення. В той час як засвоюваність фосфору та калію з мінеральних добрив є відносно низькою, а тому за цієї ж системи удобрення рослини після себе залишали максимальні значення концентрації фосфору та калію в ґрунті.

В той же час динаміка формування поживного режиму ґрунту за застосування екологічної та біологічної систем удобрення була кращою з фізіологічного плану споживання культурами основних макроелементів. А тому, якщо оцінювати результати проведеного досліду, то для стабілізації умов поживного режиму та біологічної активності ґрунту кращі умови були за застосування екологічної і особливо біологічної системи удобрення культур сівозміни.

Досліджено що в середньому по сівозміні максимальний винос азоту спостерігався в сої – 201,8кг/га, фосфору в кукурудзи – 72,7 кг/га а калію в буряків цукрових – 149,9кг/га. Якщо аналізувати усереднене споживання елементів живлення, то найбільш споживаним є азот – 168,3 кг/га. А тому заходи спрямовані на підтримання активності мікробіоти ґрунту повинні бути спрямовані перш за все на раціональне використання азоту.

Досліджено, що за урожайністю сої максимальні показники забезпечувала промислова система удобрення – 4,21 т/га, а от значення біологічної системи удобрення (4,18 т/га) перебували в межах довірчого інтервалу. Причому за вмістом жиру та білку в насінні сої кращою виявилась біологічна система удобрення.

Урожайність зерна пшениці озимої за застосування промислової системи удобрення склала 7,9 т/га, а за біологічної системи 7,7 т/га. Тобто відхилення в 0,3 т/га були статистично недостовірними і перебували в межах параметрів похибки досліду. Однак, приріст біомаси загалом засвідчив що на варіанті промислової системи удобрення ресурси мінерального живлення витрачались не раціонально і прибавка зерна склала лише 0,3 т/га тоді як соломи було сформовано на 0,5 т/га більше.

Досліджено, що за біологічної системи удобрення відмічається підвищення вмісту цукру у коренеплодах буряків цукрових, та зниження врожайності порівняно з промисловою та екологічною системами удобрення. Однак, якщо аналізувати вихід цукру то в умовах досліду найбільшу ефективність якраз і відмічено в біологічній системі землеробства, яка забезпечила збір цукру в досліді на рівні 12,7 т/га .

Встановлено, що використання біологічної системи удобрення дозволило отримати добрі якісні показники зерна кукурудзи за урожайності 11,5 т/га, що відповідала кращим параметрам отриманого рівня продуктивності в досліді.

Аналіз економічної ефективності вирощування культур сівозміни засвідчив високі рівні їх окупності врожаєм. Так, на біологічній системі отримано найвищі показники в: сої отримано прибутку (32410 грн./га) та рівня

рентабельності (183 %), в пшениці озимої прибутку (31185 грн./га) та рівня рентабельності (180 %), в буряків цукрових прибутку – 36516 грн/га та рентабельності – 129 %, в кукурудзи прибутку – 33863 грн./га та рівня рентабельності – 151 %.

***Ключові слова:** мікробні процеси, система удобрення, ґрунтова мікробіота, ферментативна активність ґрунту.*

### Summary

**HUDZ S.O. Peculiarities of formation of microbiocenosis of soils of the Forest-Steppe of Ukraine at different degree of anthropogenic loading of short-rotation crop rotations.** - Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

The dissertation on competition of a scientific degree of the candidate of agricultural sciences on a specialty 03.00.07 "Microbiology" (06 - agricultural sciences). - National University of Life and Environmental Sciences, Kyiv, 2021.

*Actuality of theme.* In the current economic conditions in Ukraine, the imperfection of technologies for growing crops, contamination of agrocenoses with pollutants, as well as other negative processes, have led to a significant deterioration of the agro-ecological condition and reduced soil fertility. A priori, a radical method of intensification of agricultural production involves the introduction of high agricultural crops, which is associated with the widespread use of fertilizers, pesticides, progressive crop rotations and tillage methods. Thus, ecologically unjustified anthropogenic load on agrobiogeocenoses leads not only to a decrease in their bioproductivity, but also to negative changes in biosphere-forming functions in the global aspect. Increasingly, the level of productivity and quality of crops began to be limited by the properties of soils deformed by anthropogenic activity. Deterioration of agricultural land requires urgent scientific measures aimed at improving soil fertility and growing conditions for environmentally friendly crop products. One of the ways to achieve this goal is the introduction of fertilizer systems with elements of biologization, the priorities of which

are the use of alternative forms of organic fertilizers (green manure, non-commercial part of the crop), environmentally friendly doses of pesticides, economical tillage. The impetus for the reorientation of traditional ways of keeping agrophytocenoses towards "alternative" technologies was not only environmental reasons related to environmental pollution, but also the need to provide the population with quality and safe food.

The research was conducted by Dobrovolsky GV, Patika VP, Volkogon VV, Iutynskaya GO, Tikhonenko DG, Yemtsev VT, Yeshchenko VO, Novosad KB, Patika MV and other scientists have created the fundamental foundations of the modern idea of the soil microbiota. At the same time, the issue of microbial transformation of organic substances with the use of modern methods of fertilization and new forms of organic fertilizers in short-rotation crop rotations has not been sufficiently studied. Complex laws and connections between the structure of microbial groups and quantitative and qualitative indicators of soil condition have not been fully studied. They also need additional study of the formation of metagenom and phylotypic structure of prokaryotic complexes of chernozem soils.

The introduction of ecologically oriented technologies for growing crops requires a detailed study of the functioning of agroecosystems in order to establish patterns of the process of formation of productivity of terrestrial phytocenosis and ensure sustainable development of the agrosphere as a whole. Therefore, the topic of the work is quite relevant, as it is aimed at studying the peculiarities of the development of soil microbiocenoses and patterns of their impact on the environment and plants at different degrees of anthropogenic load of short-rotation crop rotations.

*The aim of the research* was to establish the features of microbiological diversity, microbiological and enzymatic activity, mechanisms of microbial transformation of organic matter using different fertilizer systems for short-rotation crops.

*Scientific novelty of the obtained results.*

For the first time the peculiarities of the taxonomic structure of the eubacterial complex of the rhizosphere of cultures of short-rotation crop rotation under different conditions of anthropogenic loading have been established. It is shown that under

conditions of minimal anthropogenic load with the use of biological and ecological fertilization systems the diversity of rhizosphere microbiota increases with increasing proportion of rhizo bacteria with growth stimulating (Acidobacteria, Actinobacteria, Verrucomicrobia) properties and ability to enhance plant stress (Proteobacteria).

New data on the positive impact of ecological and biological fertilizer systems on the composition of the soil microbiota are obtained. In particular, it is proved that soil fertilization with minimal anthropogenic load is associated with an increase in taxonomic diversity of soil microbial groups with an increase in the share of microorganisms involved in the biosphere cycle of macro- and micronutrients, lack of depletion of soil nutrients during the growing season.

The existing ideas about the influence of fertilizer systems with different anthropogenic load, allelopathic and enzymatic activity of the soil are expanded. It is established that the application of ecological and biological fertilization systems is accompanied by minimization of allelopathic activity of the soil and optimization of soil enzymatic processes.

The calculation of economic and energy efficiency of growing crops of short-rotation crop rotations under the conditions of using fertilization systems with different degrees of anthropogenic load is carried out.

*The practical significance of the results.* The results of the dissertation research scientifically substantiate the expediency of using ecological and biological fertilizer systems to maintain the species and functional diversity of the eubacterial complex of the rhizosphere of crops of short-rotation crop rotation and soil microbiota in the context of biologization of agricultural production.

Evaluation of biological and economic efficiency of application of fertilization systems with low level of anthropogenic load creates a scientifically sound evidence base for the introduction of ecological and biological fertilization systems in the practice of agricultural production.

The results of the research are implemented in the agricultural practice of agricultural enterprises of Kyiv region. The application of the biological fertilizer system in 2019-20 in the fields of LLC "Agrofirma Kyivska" Makariv district, Kyiv

region allowed to obtain a high level of profitability of soybeans and corn and a profit of 20 hectares on 35.7 thousand UAH. more compared to the fertilizer system.

### **The main results of research.**

According to the results of the research it was established that the basis of the eubacterial complex of winter wheat was represented by representatives of the phyla *Acidobacteria*, *Actinobacteria*, *Armatimonadetes*, *Bacteroidetes*, *Chlamydiae*, *Chlorobi*, *Chloroflexi*, *Cyanobacteria*, *Elusimicrobia*, *Fibrobactecom*, *Gmatites*, *Thermattetes* also archaic phyla: *Euryarchaeota* and *Crenarchaeota*. The absolute dominants were representatives of bacterial phyto *Proteobacteria* - 79.1%, *Actinobacteria* - 14.0%. In the agrocenoses winter wheat under different fertilizer primary distribution systems were representatives of families *Alcaligenaceae*, *Pseudomonadaceae*, *Comamonadaceae*, *Enterobacteriaceae*, *Gaiellaceae*, *Geodermatophilaceae*, *Intrasporangiaceae*, *Micrococcaceae*, *Nitrososphaeraceae*, *Nocardiodaceae*, *Rhodobiaceae*, *Solimonadaceae*, *Solirubrobacteraceae*, *Streptomycetaceae*, *Xanthomonadaceae*. But in the biological system of fertilizer is accompanied by an increase in species diversity of soil microbiota due to fillets *Acidobacteria*, *Actinobacteria*, *Bacteroidetes*, *Firmicutes*, *Proteobacteria*, *Verrucomicrobia*, and the use of ecological fertilizer system - due to such fillets as *Actinobacteria*, *Bacteroidetes*, *Firmicutes* and *Protector*.

It was investigated that the eubacterial complex of soybeans on average in the experiment is represented by the following phyla: *Proteobacteria* - 82.0%, *Actinobacteria* - 12.1%, *Acidobacteria* - 0.9%, *Gemmatimonadetes* - 0.7%, *Chloroflexi* - 0.5%, *Firmicutes* - 0.5%, *Verrucomicrobia* - 0.4%, *Bacteroidetes* - 0.2%, *Planctomycetes* - 0.1%, and the share of other phyla was 2.6%.

It was found that the basis of the eubacterial complex of sugar beets were representatives of the phylum *Proteobacteria*, *Actinobacteria*, *Gemmatimonadetes*, *Chloroflexi*, *Acidobacteria*, *Firmicutes*, *Planctomycetes*, *Verrucomicrobia*, *Bacteroidetes*. The absolute dominants were representatives of bacterial phyto *Proteobacteria* - 76.9%, *Actinobacteria* - 13.4%. In agrocenoses sugar beets under different fertilizer primary distribution systems were representatives of families

*Alcaligenaceae*, *Pseudomonadaceae*, *Nitrososphaeraceae*, *Gaiellaceae*, *Micrococcaceae*, *Solirubrobacteraceae*, *Streptomycetaceae*, *Intrasporangiaceae*, *Solimonadaceae*, *Syntrophobacteraceae*, *Xanthomonadaceae*, *Enterobacteriaceae*, *Nocardiodaceae*, *Hyphomicrobiaceae*, *Comamonadaceae*. But the use of biological fertilizer system is accompanied by an increase in species diversity microbiota soil through Phil: *Alcaligenaceae*, *Gaiellaceae*, *Solirubrobacteraceae*, *Streptomycetaceae*, *Solimonadaceae*, *Syntrophobacteraceae*, *Xanthomonadaceae*, *Enterobacteriaceae*, *Nocardiodaceae*, *Hyphomicrobiaceae*, *Hyphomicrobiaceae* but the ecological system of fertilization - at the expense of Phil as: *Alcaligenaceae*, *Micrococcaceae*, *Streptomycetaceae*, *Intrasporangiaceae*, *Nocardiodaceae*, *Hyphomicrobiaceae* and *Hyphomicrobiaceae*.

It was established that the share of representatives of the orders *Acidimicrobiales* and *Clostridiales* in the structure of the soil microbiota was higher in comparison with the biological and ecological systems when using the industrial system of corn fertilization. The use of ecological and biological fertilizer systems has contributed to the growth of *Gaiellales*, *Actinomycetales*, *Solirubrobacterales*, *Xanthomonadales*, *Myxococcales*, *Rhizobiales*, *Bacillales*, *Sphingomonadales* and *Gemmatimonadetes*.

Analysis of the peculiarities of microbial processes in the soil, during the cultivation of the studied crops, showed that the highest number of populations of microorganisms using organic nitrogen was formed by limiting or refusing to use chemicals embodied in the ecological and biological fertilizer system. But the use of mineral fertilizers significantly enhanced the development of microorganisms that use nitrogen mineral compounds, so mainly in the biological system of fertilization in the soil was a microbial coenosis depleted of species capable of utilizing mineral nitrogen compounds. It was also found that more pedotrophic microorganisms were in the case of a sufficient amount of organic fertilizers, ie with the use of ecological and biological fertilizer options. But the number of oligotrophs was higher than the industrial fertilizer system. Also, with the use of ecological and biological systems of plant fertilizers, the number of microscopic fungi was maximum compared to the industrial system,

because the sufficient content of fiber in the soil stimulated the activation of the development of fungal microflora.

Compared with the analysis of the number of microorganisms in the soil, we found that the density of microbial cells per unit volume of rhizosphere soil was higher than all studied ecological and trophic groups, and the identified features of the processes were naturally preserved in the dynamics of plant vegetation.

According to the analysis of mineralization-immobilization coefficients, oligotrophicity and pedotrophicity, it was found that in the biological fertilization system the indicators of nitrogen mineralization-immobilization coefficient were the lowest, which indicates the balance of mineralization and immobilization processes. However, an increase in the value of the pedotrophic coefficient, which indicates an increase in the intensity of decomposition of soil organic matter, in particular humic compounds, was observed with the use of industrial fertilizer system. Also, it was found that the indicators of the oligotrophic coefficient of ecological and biological fertilizer systems indicate a good supply of soil microbiota with easily digestible organic matter, and the formation of optimal conditions for the functioning of the soil microbial complex.

It was determined that the content of toxins in the soil undergoes constant changes and at the end of the growing season the allelopathic activity of the soil under the industrial fertilization system is maximal in comparison with other variants of plant nutrition.

At the same time, minimal phytotoxicity values were observed in the rhizosphere zone of the soil in all the cultures studied by us.

Based on the phytotoxicity data analyzed by us, the soil environment under the biological system of agriculture was the most favorable for the development of the following crops: soybeans, wheat, sugar beets, corn.

Thus, we can generalize that the protease activity increased from the beginning to the end of the growing season, and the maximum activity of the enzyme catalase was observed approximately in the middle of the growing season of the studied crops, and before its completion there was a decrease. The obtained results do not contradict



the works of other scientists, who claim that high levels of humus lead to higher values of hydrolase activity: protease, phosphatase, urease, invertase. At the same time, the enzymes of oxidoreductase: peroxidase, catalase, polyphenol oxidase are inversely dependent on the content of humus in the soil.

Accordingly, due to the poor content of organic matter and humus in the soil, the processes of decomposition of organic residues and synthesis of humic compounds are more intense, which shows the activity of redox enzymes. Consequently, the protease activity of the soil during the growing season increases, and the activity of catalase decreases, which is clearly visible in the second half of the growing season of crops under study crop rotation.

The results of research show that the biological system of crop rotation fertilization creates optimal conditions for microbiological and enzymatic processes. And the high enzymatic activity in this version of the experiment is obviously a consequence of the activation of transformation processes in the soil.

According to the results of research, it was determined that the use of industrial fertilizer system at the beginning of the growing season, despite the higher agrochemical load, created better conditions for the formation of soil nutrient regime compared to fertilizer systems. Accordingly, at the beginning of the growing season, the lowest level of supply of basic nutrients was observed in the biological fertilizer system, which is explained by the lower availability of nutrients before the beginning of active microbiological processes in the soil.

It is also determined that with the beginning of active microbiological processes in the soil the availability of nutrients in the biological nutrition system of crops increased compared to the industrial fertilizer system and by the time of active consumption of nutrients by plants, especially nitrogen, their concentration in soil reached good levels.

It was investigated that during the vegetation of crop rotations the reserves of nutrients in the soil were depleted and at the time of pre-harvest maturity they were minimal in comparison with other studied phases of growth and development of crops. The highest intensity of nutrient consumption from the soil was observed during the

period of intensive accumulation of vegetative mass of plants for nitrogen and its content for the industrial fertilizer system at the end of the growing season reached critically low levels of supply. While the digestibility of phosphorus and potassium from mineral fertilizers is relatively low, and therefore under the same fertilizer system the plants left behind the maximum values of the concentration of phosphorus and potassium in the soil.

At the same time, the dynamics of soil nutrient formation with the use of ecological and biological fertilizer systems was the best from the physiological plan of crop consumption of basic macronutrients. Therefore, if we evaluate the results of the experiment, then to stabilize the conditions of nutrient regime and biological activity of the soil, the best conditions were for the use of ecological and especially biological system of fertilization of crops.

It was investigated that on average after crop rotation the maximum removal of nitrogen was observed in soybeans - 201.8 kg/ha, phosphorus in corn - 72.7 kg/ha and potassium in sugar beets - 149.9 kg/ha. If we analyze the average consumption of nutrients, the most consumed is nitrogen - 168.3 kg/ha. Therefore, measures aimed at maintaining the activity of soil microbiota should be aimed primarily at the rational use of nitrogen.

It was investigated that the maximum indicators of soybean yield were provided by the industrial fertilizer system - 4.21 t/ha, but the values of the biological fertilizer system (4.18 t/ha) were within the confidence interval. Moreover, the biological fertilizer system turned out to be the best in terms of fat and protein content in soybean seeds.

The grain yield of winter wheat using the industrial fertilizer system was 7.9 t/ha, and the biological system 7.7 t/ha. That is, deviations of 0.3 t/ha were statistically insignificant and were within the parameters of the experiment error. However, the increase in biomass in general showed that in the case of the industrial fertilizer system, mineral nutrition resources were used irrationally and the grain increase was only 0.3 t / ha, while straw was formed by 0.5 t / ha more.

It is investigated that under the biological fertilizer system there is an increase in sugar content in the roots of sugar beets, and a decrease in yield compared to industrial and ecological fertilizer systems. However, if we analyze the yield of sugar in the conditions of the experiment, the greatest efficiency is observed in the biological system of agriculture, which provided the collection of sugar in the experiment at the level of 12.7 t/ha.

It was found that the use of biological fertilizer system allowed to obtain good quality indicators of corn grain with a yield of 11.5 t / ha, which corresponded to the best parameters of the obtained level of productivity in the experiment.

The analysis of economic efficiency of cultivation of crops of crop rotation testified to high levels of their payback by a crop. Thus, the biological system has the highest indicators in: soybeans made a profit (32410 UAH/ha) and the level of profitability (183%), in winter wheat profits (31185 UAH/ha) and the level of profitability (180%), in sugar beets profit - 36516 UAH / ha and profitability - 129%, in corn profit - 33863 UAH / ha and the level of profitability - 151%.

***Key words:*** *microbial processes, fertilizer system, soil microbiota, enzymatic activity of soil.*

## СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

*Статті в наукових фахових виданнях:*

1. Гудзь С.О. Особливості формування чисельності мікроорганізмів та спрямованість мікробних процесів ґрунту за вирощування пшениці озимої. *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків : зб. наук. праць.* 2019. Вип. 27. С. 131-139. Режим доступу: <http://bioenergy.gov.ua/uk/content/vypusk-27-2019>. (Здобувачем проведено дослідження, обробку матеріалів і формування висновків).
2. Гудзь С.О., Сківка Л.М., Присяжнюк О.І., Цвей Я.П. Мікробіологічна активність ґрунту за вирощування сої з різними варіантами добрив. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Біологія.* 2020. Том 80. № 1. С. 57-63. Режим доступу: <http://biovestnik.com/index.php/biology/article/view/433>. (Здобувачем проведено дослідження, обробку матеріалів і формування висновків).
3. Skivka L.M., Hudz S.O., Prysiazhniuk O.I., Svystunova I.V., Voitsekhivska O.V., Poltoretskyi S.P., Belava V.N. Enzymatic activity of soil microbiota under different fertilizer systems. *EurAsian Journal of BioSciences.* 2020. 14, 1-3. Режим доступу: <http://www.ejobios.org/article/enzymatic-activity-of-soil-microbiota-under-different-fertilizer-systems-8338>. (Здобувачем проведено дослідження, обробку матеріалів і формування висновків)..
4. Гудзь С.О., Сківка Л.М. Особливості формування еубактеріального комплексу ризосфери пшениці озимої (*Triticum durum*) за різних систем удобрення. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Біологія.* 2020. Том 81. № 2. С. 31-36. Режим доступу: <http://biovestnik.com/index.php/biology/article/view/441>. (Здобувачем проведено дослідження, обробку матеріалів і формування висновків).
5. Сківка Л.М., Гудзь С.О., Присяжнюк О.І., Цвей Я.П. Економічна ефективність вирощування культур сівозміни. *Наукові праці Інституту*

*біоенергетичних культур і цукрових буряків : зб. наук. праць. 2020. Вип. 28. С. 121-129. Режим доступу: [http://bioenergy.gov.ua/sites/default/files/articles/28\\_121-129\\_0.pdf](http://bioenergy.gov.ua/sites/default/files/articles/28_121-129_0.pdf). (Здобувачем проведено дослідження, обробку матеріалів і формування висновків).*

6. Сківка Л.М., Гудзь С.О., Присяжнюк О.І., Цвей Я.П. Біологічна ефективність вирощування культур агроценозу. *Новітні агротехнології*, 2019, №

7. Режим доступу: [http://plant.gov.ua/sites/default/files/rosl-vo\\_-skivka\\_-verstka\\_-gotovo\\_-bez\\_doi.pdf](http://plant.gov.ua/sites/default/files/rosl-vo_-skivka_-verstka_-gotovo_-bez_doi.pdf) (Здобувачем проведено дослідження, обробку матеріалів і формування висновків).

7. Гудзь С.О., Сківка Л.М. Динаміка фітотоксичності ґрунту за різних систем удобрення. *Наукові доповіді НУБІП України: Біологія, біотехнологія, екологія*, 2021, том 89, №1 (Здобувачем проведено дослідження, обробку матеріалів і формування висновків).

8. **Hudz S.O., Skivka L.M.** Formation of the eubacterial complex of the rhyosphere of sugar beet (*Beta vulgaris*) under different fertilization systems. (2021) *Biotechnologia acta*; 14 (1): 81-87. (Здобувачем проведено дослідження, обробку матеріалів і формування висновків).

#### *Тези доповідей наукових конференцій*

9. **Гудзь С.О.** Мікробіологічні аспекти впливу на формування продуктивності буряків цукрових на чорноземах типових малогумусних Правобережного Лісостепу України. Всеукраїнська науково-практична конференція присвячена Всесвітньому дню ґрунтів. Київ, 10-11 грудня 2019 року. С 39.

10. **Гудзь С.О.** Аспекти екологізації землеробства та стан мікробних угруповань ґрунту, як активного компоненту агробіогеоценозів. VIII Міжнародна науково-практична конференція молодих учених «Селекція, генетика та технології вирощування сільськогосподарських культур» (с. Центральне, 24 квітня 2020 р. ). С 49.

## ЗМІСТ

|   |           |
|---|-----------|
| АНОТАЦІЯ.....   | 2         |
| ВСТУП.....  | 25        |
| <b>РОЗДІЛ 1. ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ МІКРОБІОЦЕНОЗУ ҐРУНТІВ ЗА РІЗНОГО СТУПЕНЯ АНТРОПОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ (огляд літератури).....</b> | <b>33</b> |
| 1.1. Вплив різних рівнів агрогенного навантаження на особливості функціонування мікробіоти ґрунту.....                                | 33        |
| 1.2 Біологічний стан ґрунту – детермінанта ґрунтової родючості та екологічної стійкості агробіогеоценозів.....                        | 38        |
| 1.3 Мікробіологічні параметри родючості ґрунту як основа формування біопродуктивності агрофітоценозів.....                            | 42        |
| 1.4 Вплив абіотичних і біотичних факторів на мікробіоту ґрунту та культури сівозміни.....   | 47        |
| <b>РОЗДІЛ 2. ОБ’ЄКТИ, УМОВИ ТА МЕТОДИ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ.....</b>  | <b>52</b> |
| 2.1 Програма і методика.....  | 52        |
| 2.2 Ґрунт проведення досліджень.....  | 54        |
| 2.3 Погодні умови в роки досліджень.....  | 55        |
| 2.4 Методи дослідження.....   | 61        |
| 2.5. Характеристика варіантів удобрення застосовуваних в досліді.....   | 67        |
| <b>РОЗДІЛ 3. ТАКСОНОМІЧНИЙ СКЛАД ОСНОВНИХ ГРУП ПРОКАРІОТ ҐРУНТУ В УМОВАХ РІЗНИХ СИСТЕМ АНТРОПОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ.....</b>           | <b>72</b> |
| 3.1. Особливості формування еубактеріального комплексу ризосфери пшениці озимої.....  | 73        |
| 3.2. Особливості формування еубактеріального комплексу ризосфери сої  | 80        |

|  |    |
|--|----|
| 3.3. Особливості формування еубактеріального комплексу ризосфери цукрових буряків..... | 85 |
| 3.4. Особливості формування еубактеріального комплексу ризосфери кукурудзи.....        | 89 |

#### **РОЗДІЛ 4 ЧИСЕЛЬНІСТЬ МІКРООРГАНІЗМІВ ТА СПРЯМОВАНІСТЬ МІКРОБНИХ ПРОЦЕСІВ ЗА РІЗНИХ СИСТЕМ УДОБРЕННЯ..... 97**

|   |     |
|---|-----|
| 4.1. Чисельність мікроорганізмів та спрямованість мікробних процесів за вирощування сої з різними варіантами удобрення.....                       | 97  |
| 4.2. Чисельність мікроорганізмів та спрямованість мікробних процесів ґрунту за вирощування пшениці озимої.....                                    | 109 |
| 4.3. Чисельність мікроорганізмів та спрямованість мікробних процесів ґрунту за вирощування буряків цукрових з різними варіантами удобрення        | 118 |
| 4.4. Чисельність мікроорганізмів та спрямованість мікробних процесів ґрунту за вирощування кукурудзи на зерно з різними варіантами удобрення..... | 130 |

#### **РОЗДІЛ 5 ФІТОТОКСИЧНІСТЬ ТА ФЕРМЕНТАТИВНА АКТИВНІСТЬ ҐРУНТУ ЗА РІЗНИХ СИСТЕМ УДОБРЕННЯ КУЛЬТУР СІВОЗМІНИ..... 141**

|  |     |
|--|-----|
| 5.1. Динаміка фітотоксичності ґрунту за різних систем удобрення.....           | 142 |
| 5.2. Динаміка ферментативної активності ґрунту за різних систем удобрення..... | 150 |

#### **РОЗДІЛ 6. ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ПОЖИВНОГО РЕЖИМУ ҐРУНТУ..... 162**

|  |     |
|--|-----|
| 6.1. Динаміка вмісту нітратного азоту в орному шарі ґрунту за різних систем удобрення..... | 163 |
|--|-----|

|   |     |
|---|-----|
| 6.2. Вплив різних систем удобрення на формування поживного режиму ґрунту..... | 170 |
|---|-----|

|  |            |
|--|------------|
| <b>РОЗДІЛ 7. БІОЛОГІЧНА ТА ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИРОЩУВАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР ЗА РІЗНИХ СИСТЕМ УДОБРЕННЯ.....</b> | <b>182</b> |
| 7.1. Біологічна ефективність продуктивності культур агроценозу.....  | 183        |
| 7.2. Економічна ефективність культур агроценозу.....   | 196        |

|   |            |
|---|------------|
| <b>УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ.....</b> | <b>204</b> |
| <b>ВИСНОВКИ.....</b>                            | <b>212</b> |
| <b>ПРОПОЗИЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ.....</b>              | <b>216</b> |
| <b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....</b>          | <b>217</b> |
| <b>ДОДАТКИ.....</b>                             | <b>240</b> |



## ВСТУП

Сучасна екологічна ситуація у сільському господарстві будь-якого регіону України є результатом тривалого впливу людини на родючість землі, інтенсифікації виробництва, його орієнтації на максимальний економічний ефект без належного врахування негативних змін, що відбуваються в природному середовищі. Існуюча система ведення сільського господарства, що базується на надмірному використанні агроресурсного потенціалу, пріоритеті економічних переваг призвела до значного зниження продуктивності земельних ресурсів, зменшення врожайності багатьох культур і як наслідок - недобору важливих видів продукції, інтенсивного розповсюдження негативних екологічних явищ.

В умовах технократичного розвитку сільського господарства досить важко забезпечити стабільне функціонування порушених людиною екосистем через широке залучення агровиробничих ресурсів синтетичного походження та потужних технічних засобів інтенсифікації рільництва. Дегресивне зміщення структурно-функціональних зв'язків між окремими об'єктами агроєкосистеми та суміжними природними екотопами часто породжує «екологічні аномалії» локального, а згодом і глобального характеру, що особливо актуалізується в контексті змін кліматичної ситуації. Це спонукає до розвитку комплексних міждисциплінарних підходів до вивчення взаємообумовлених закономірностей компонентного функціонування агробіоценозів з метою оптимізації, прогнозування та управління провідними процесами, що визначають продуктивність, стабільність та еволюцію екосистем в умовах посиленого антропогенного впливу на хід природних процесів.

На жаль, досі не до кінця вивчена функціональна роль біотичних складових агробіотопів (рослинність, мезофауна та мікрофлора), їх трофічні зв'язки з іншими організмами у ґрунтах. Одним із завдань наших досліджень є розробка методичних підходів, що дозволили б викрити місце та функціональну роль мікробіоти у формуванні трофічних ланцюгів, їх вплив на біохімічну

трофодинаміку та гомеостаз екосистеми. При цьому важливо це прослідкувати у призмі взаємовідносин із сільськогосподарськими культурами, які є домінантами агробіоценозів, в напрямку забезпечення формування максимальної біопродуктивності.

Як відомо, біологічний потенціал будь-якої культури оптимально реалізовується залежно від того, наскільки задовольняється її потреби в елементах живлення, теплі, волозі тощо. З огляду на несприятливі метеоумови в останні роки, для підвищення біопродуктивності зернових та інших культур необхідно розробити такі прийоми, які б давали змогу диференційовано використовувати технології вирощування відповідно до вимог культури з врахуванням ґрунтових і погодно-кліматичних умов.

Виходячи з вищезазначеного, на сьогодні більш ніж актуальним є пошук шляхів компромісного управління агробіоценозами, за яких би їх висока продуктивність поєднувалась зі сталим їх розвитком та стійкістю природних екосистем. В свою чергу, це вимагає детальних знань та аналізу закономірностей функціонування агробіоценозів з позицій причинно-наслідкових взаємовідносин, оскільки це б не лише сприяло створенню сучасної системи оцінки та контролю за процесами, що відбуваються в агросфері, але й могло б попереджувати забруднення ще на етапі планування тих чи інших агротехнічних заходів. Крім того, виявлення закономірних обумовленостей функціонування агробіогеоценозів за різних рівнів антропо техногенного навантаження, дозволить регулювати обмінні енергетичні та матеріальні процеси формування родючості ґрунту і продуктивності вирощуваних культур при дотриманні принципів екологічної стабільності агросфери в цілому. При цьому варто також відмітити, що лише комплексні дослідження біотичних (мікро-, фітоценози) та абіотичних компонентів (екологічні умови середовища) агроєкосистеми і суміжних з нею об'єктів довкілля у їх динамічній взаємодії дозволять змодельовати, а отже, спрощено формалізувати процеси речовинно-енергетичних потоків, які й забезпечують сталість агроєкосфери в цілому.

**Актуальність теми.** В існуючих умовах господарювання в Україні недосконалість технологій вирощування сільськогосподарських культур, забруднення агроценозів політантами, а також інші негативні процеси, призвели до значного погіршення екологічного стану довкілля і зниження родючості ґрунтів. Радикальним напрямом інтенсифікації сільськогосподарського виробництва передбачено інтенсивне застосування добрив, пестицидів, прогресивних сівозмін і способів обробітку ґрунту. В такий спосіб, екологічно не обґрунтоване антропогенне навантаження на агробіогеоценози призводить не лише до зниження їх біопродуктивності, а й до негативних змін біосфероутворюючих функцій у глобальному аспекті. Все частіше рівень продуктивності та якості сільськогосподарських культур почали обмежувати деформовані антропогенною діяльністю властивості ґрунтів. Погіршення стану сільськогосподарських земель вимагає вжиття невідкладних науково-обґрунтованих заходів, спрямованих на покращення ґрунтової родючості та умов вирощування якісної продукції рослинництва. Один із шляхів реалізації поставленої мети - це запровадження систем удобрення з елементами біологізації, пріоритетами яких є застосування альтернативних форм органічних добрив (сидерати, нетоварна частина врожаю), екологічно обґрунтованих доз пестицидів, ощадливий обробіток ґрунту. Поштовхом до переорієнтації традиційних способів утримання агрофітоценозів у бік «альтернативних» технологій стали не лише екологічні причини, пов'язані з проблемами забруднення довкілля, а й необхідність достатнього забезпечення населення якісною та безпечною продукцією харчування.

Дослідження, проведені Добровольським Г.В., Патиною В.П., Волкогоном В. В., Іутинською Г. О., Тихоненко Д.Г., Ємцевим В.Т., Єщенко В.О., Новосад К.Б., Патиною М.В. та іншими вченими, створили фундаментальні основи сучасного уявлення про мікробіоту ґрунту. Водночас недостатньо вивчено питання мікробної трансформації органічних речовин за застосування сучасних способів удобрення та нових форм органічних добрив у короткочасних сівозмінах. Не в повній мірі досліджені комплексні закономірності та зв'язки між

структурою мікробних угруповань і кількісними та якісними показниками стану ґрунтів. Також потребують додаткового вивчення питання формування метабеному та філотипової структури прокаріотних комплексів чорноземних ґрунтів.

Запровадження екологічно зорієнтованих технологій вирощування сільськогосподарських культур вимагає докладного вивчення особливостей функціонування агроценозів з метою встановлення закономірностей перебігу процесів формування продуктивності наземного фітоценозу та забезпечення сталого розвитку агросфери в цілому. Зважаючи на вищезазначене, тема роботи актуальною, оскільки спрямована на вивчення особливостей розвитку мікробіоценозів ґрунту та закономірностей їх впливу на середовище та рослини за різного ступеня антропогенного навантаження в умовах короткоротаційних сівозмін.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота виконана в рамках теми наукових досліджень Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України (№ держреєстрації 0116U003169) «Вивчити зміни родючості ґрунту в умовах Лісостепу залежно від антропогенних чинників і розробити способи його відтворення і збереження».

#### **Мета та завдання досліджень:**

*Метою досліджень* було встановлення особливостей мікробіологічного різноманіття, мікробіологічної і ферментативної активності, механізмів мікробної трансформації органічної речовини за використання різних систем удобрення культур короткоротаційної сівозміни.

#### *Завдання досліджень:*

— встановити чисельність представників різних фізіологічних груп мікроорганізмів за різних систем удобрення культур короткоротаційної сівозміни;

- оцінити особливості формування метагеному за різних систем удобрення культур короткоротаційної сівозміни з використанням класичних та молекулярно-генетичних методів аналізу;
- визначити спрямованість мікробних процесів за різних систем удобрення культур короткоротаційної сівозміни;
- встановити показники фітотоксичності та ферментативної активності ґрунту за різних систем удобрення культур сівозміни;
- визначити особливості формування поживного режиму ґрунту за різних систем удобрення культур короткоротаційної сівозміни;
- встановити особливості формування біологічної та економічної ефективності вирощування сільськогосподарських культур.

*Об'єкт досліджень:* процеси зміни мікробіому ґрунтів за різного удобрення культур сільськогосподарських культур.

*Предмет досліджень:* структура та таксономічний склад мікробіому, фізіологічні групи мікроорганізмів, кількісні та якісні показники ґрунту, продуктивність сільськогосподарських культур.

### **Методи дослідження.**

Аналітичні – для визначення технологічних якостей і хімічного складу основної та побічної продукції сільськогосподарських культур. Лабораторний – для аналізу показників якості. Польовий – для спостереження за ростом і розвитком рослин, умовами зовнішнього середовища. Мікробіологічні - визначення чисельності представників окремих еколого-трофічних груп мікроорганізмів; спектрофотометричний і фотоколориметричний - визначення вмісту білка. Вимірювально-ваговий – для обліку динаміки росту і врожайності. Математично-статистичний – для оцінки достовірності відмінностей між варіантами досліджень. Розрахунково-порівняльний – для встановлення економічної і енергетичної ефективності результатів досліджень.

### **Наукова новизна одержаних результатів.**

*Вперше* встановлено особливості таксономічної структури еубактеріального комплексу ризосфери культур короткоротаційної сівозміни за різних умов антропогенного навантаження. Показано, що в умовах мінімального антропогенного навантаження за застосування біологічної та екологічної систем земледобрення збільшується різноманіття мікробіоти ризосфери з підвищенням частки ризобактерій з рістстимулювальними (*Acidobacteria*, *Actinobacteria*, *Verrucomicrobia*) властивостями та здатністю посилювати стресостійкість рослин (*Proteobacteria*).

Отримано нові дані стосовно позитивного впливу екологічної та біологічної систем земледобрення на склад ґрунтової мікробіоти. Зокрема доведено, що удобрення сільськогосподарських культур з мінімальним антропогенним навантаженням сприяє зростанню таксономічного різноманіття мікробних угруповань ґрунту зі збільшенням частки мікроорганізмів, задіяних у біосферному колообігу макро- та мікроелементів; унеможлиблює виснаження поживних речовин ґрунту у період активної вегетації культур сівозміни.

Розширено існуючі уявлення стосовно впливу систем удобрення з різним антропогенним навантаженням на алелопатичну та ферментативну активності ґрунту. Встановлено, що застосування екологічної та біологічної систем удобрення супроводжується мінімізацією алелопатичної активності ґрунту та оптимізацією ґрунтових ферментативних процесів.

### **Практичне значення отриманих результатів.**

Результати дисертаційного дослідження науково обґрунтовують доцільність використання екологічної та біологічної систем удобрення для підтримання видової та функціональної різноманітності еубактеріального комплексу ризосфери культур короткоротаційної сівозміни та ґрунтової мікробіоти у контексті біологізації сільськогосподарського виробництва.

Оцінка біологічної та економічної ефективності застосування систем удобрення з низьким рівнем антропогенного навантаження створює науково-

обґрунтовану доказову базу для впровадження екологічної та біологічної систем земледобрення у практику сільськогосподарського виробництва.

Результати проведених досліджень впроваджені в практику агропідприємств Київської області. Застосування біологічної системи удобрення у 2019-20 рр. на полях ТОВ «Агрофірма Київська» Макарівського району, Київської області дозволило отримати високий рівень рентабельності сої та кукурудзи і прибуток з площі 20 га на 35,7 тис. грн. більше порівняно з системою мінерального удобрення.

### **Особистий внесок здобувача.**

Дисертаційну роботу автором виконано самостійно. Зроблено аналіз літературних джерел за темою дисертаційної роботи, розроблено програму і схему дослідів, закладено і проведено польові та лабораторні досліді, визначено економічну ефективність досліджень, сформовано загальні висновки та рекомендації виробництву, за результатами проведених досліджень підготовлено наукові публікації.

### **Апробація результатів дисертації.**

Основні положення та результати досліджень доповідались і були опубліковані у матеріалах: Міжнародної науково-практичної конференції «Новітні агротехнології: теорія та практика» (м. Київ, 11 липня 2017 р.); Міжнародної науково-практичної конференції «Всеукраїнська науково-практична конференція присвячена Всесвітньому дню ґрунтів. (Київ, 10-11 грудня 2019 року).

### **Публікації.**

За результатами дослідження опубліковано 10 наукових праць – 8 наукових статей у фахових виданнях (з них 5 статей у виданнях, які входять до наукометричних баз даних) та 1 – в іноземному науковому виданні включеному до бази Scopus, та 2 матеріали тез доповідей на наукових конференціях.

### **Структура та обсяг дисертації.**

Дисертаційна робота викладена на 240 сторінках комп'ютерного тексту. Складається з анотації, вступу, семи розділів, висновків, обговорення, пропозицій виробництву, додатків та списку використаних джерел. Робота містить 66 таблиць, 9 рисунків. Список використаних джерел охоплює 224 найменувань, з яких 54 латиницею.



# РОЗДІЛ 1

## ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ МІКРОБІОЦЕНОЗУ ҐРУНТІВ ЗА РІЗНОГО СТУПЕНЯ АНТРОПОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ

### ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

#### 1.1. Вплив різних рівнів агрогенного навантаження на особливості функціонування мікробіоти ґрунту

За декілька століть частина біосфери по суті трансформувалась в агросферу, до складу якої входять всі типи агроландшафтів, агробіоценозів і агроєкосистем, що є результатом взаємодії різних природних чинників [181].

Ґрунтоживучі мікроорганізми представлені складною системою різноманітних видів, взаємодії яких спостерігаються з часто прямо протилежними властивостями [96; 108].

Причому диференціація видів мікроорганізмів в межах ґрунтового покриву теж присутня і в верхніх шарах ґрунту традиційно присутнє більше різноманіття. Це не тільки викликане доступністю поживних речовин, а й відповідно і кисню, що для багатьох видів є критично [63; 68].

Відповідно за результатами досліджень інших вчених можна стверджувати, що в шарі ґрунту 5-20 см існує найбільша чисельність мікроорганізмів, а от на глибині понад 25 см їх в 10 – 20 раз менше чим на поверхні ґрунту [126; 127].

Також спостерігається зменшення диференціації видів мікроорганізмів за застосування оранки з оборотом пласта, а от за умови використання технологій безвідвального обробітку ґрунту, чи no-till, mini-till або ж strip-till за розподілом мікроорганізмів по шарах ґрунту отримуємо дані близькі за характеристиками до цілини [161; 162].

А отже, серед найбільш поширених видів можна виділити амоніфікувальні мікроорганізми *Pseudomonas*. також нітрифікатори та целюлозоруйнівні мікроорганізми [187; 189].

В чорноземах ґрунтах чисельність бактерій та мікроміцетів знижується по профілю ґрунту, а стрептоміцети та бацили розподілені більш рівномірно [8; 32].

Серед сапротрофів можна виділити *Aspergillus*, *Dematium*, *Penicillium*, *Trichoderma*, *Torula*, а серед вільноживучих азотфіксаторів: *Azotobacter* та *Clostridium*, а серед дріжджів: *Cryptococcus* і *Lipomyces* [193].

Також мікроорганізми ґрунту можуть бути класифіковані за розвитком близько до кореневої системи рослин або ж віддалено, за потребою в елементах живлення або мінеральних компонентах, або ж реакцією на особливостей ґрунтового середовища, що дозволяють сформувати певний тип мікробіологічних взаємодій [198; 202; 204].

Попри те що необхідно ґрунт в першу чергу сприймати середовище для розвитку мікроорганізмів [205], не варто забувати що в ньому можуть траплятись різні середовища існування навіть з точки зору фізичних процесів формування твердої, рідкої та газоподібної фаз. Навіть спрощений поділ на середовища існування істотно ускладнює систему взаємовідносин мікробіоти ґрунту, а в випадку застосування факторів впливу людини – ці взаємодії ще більш ускладнюються [215; 200].

Причому одні мікроорганізми розташовуються між агрегатними частками ґрунту, або ж перебувають в ґрунтовому розчині, чи проростають скрізь ґрунтові агрегати наскрізь, або ж здатні утворювати біоплівки на їх поверхні [69; 73].

А тому слід розрізняти таксономічну, просторову та функціональну структуру мікробіоти ґрунту [73; 98].

Під впливом застосування чергування культур, проведення агротехнічних операцій, внесення добрив та догляду за рослинами мікробіота ґрунту трансформується в часі, на ці перетворення накладається також і сезонна динаміка, що в результаті виливається в зміни якісного та чисельного складу, спрямованості і інтенсивності мікробіологічних процесів, тощо [72; 123].

Зважаючи на особливості згадані вище в трофічній структурі ґрунтової мікробіоти виділяють чотири умовних групи: автохтонна – розкладає гумусові сполуки, зимогенна – розкладає органічні рештки, автотрофи – споживають

енергію мінеральних сполук, оліготрофи – ефективно використовують залишки після мінералізації органічних решток [142; 12].

Автохтонна мікрофлора ґрунту класифікується на актиноміцети *Nocardia* та бактерії *Pseudomonas*, а також окремими представниками: *Arthrobacter*, *Bactoderma*, *Flavobacterium*, *Micromonospora*, *Mycobacterium*, *Rhodotula*. Причому вони мінералізують виключно гумусові сполуки, що викликає виснаження запасів органічної речовини в ґрунті [25; 23].

Зимогенна мікрофлора представлена родами бактерій: *Arthrobacter*, *Bacillus*, *Pseudomonas*, мікроміцетів: *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Fusarium*, *Penicillium* та дріжджів: *Candida*, *Cryptococcus*, *Lypomyces* [56; 104].

А от оліготрофна мікробіота складається з: *Ancalomicrobium*, *Agrobacterium*, *Caulobacter*, *Microcyclis*, *Hyphomicrobium*, *Prosthemicrobium*, *Seliberia*, *Stella Renobacter* [58; 106].

За сучасних методів ведення сільськогосподарського виробництва активно використовуються добрива, пестициди, регулятори та стимулятори росту рослин, тощо. Проте інтенсифікація рослинництва по суті створює проблематику іншого роду – погіршення екологічних та природоохоронних питань. А от збереження біорізноманіття, в тому числі й мікробного, можливо за рахунок суворого нормування антропогенних навантажень. А тому зростання навантаження на окремі ланки ценозу веде до загального його ослаблення та деструкції [1; 39; 60].

Адже перш за все, виробництво рослинницької продукції має бути спрямоване на забезпечення біологічно повноцінної і чистої продукції харчування. Проте, нещадна експлуатація ґрунтів та погіршення екологічного середовища створюють як мінімум нестійкі агроєкосистеми. Якщо раніше мікробіота в певній мірі нівелювала негативний вплив заходів з інтенсифікації, то нині спостерігається стабільне погіршення фізико-хімічних і біологічних властивостей ґрунту [61]. В результаті ґрунти істотно збіднюються на органічну речовину, забруднюються пестицидами, хімічними речовинами, що в кінцевому

рахунку ще більш істотно зменшує представленість мікробіоти ґрунту та порушує стабільність біогеоценозів, приводячи до їх деградації [16].

Вклад сучасного сільського господарства в забруднення і деградацію навколишнього середовища становить 35-40 %, земельних ресурсів 50 %, а поверхневих вод – 40-50 % [3].

Відомо, що найбільш важливим для стійкості агроєкосистем параметром ґрунту є його буферність та родючість, що істотно залежать від фізико-хімічного та мікробіологічного стану ґрунту. Антропогенний вплив викликає зміни поживного та структурно-функціонального стану живої речовини ґрунту, що в кінцевому рахунку визначає особливості реагування агроєкосистеми в цілому на несприятливі впливи.

Так, досліджено, що поширеність ґрунтових мікроорганізмів залежить не тільки від вмісту органічної речовини в ньому а й активності та інтенсивності застосування удобрення вирощуваних культур. Адже саме згідно таких вихідних умов створюються певні локації мікроорганізмів, що ефективно трансформують ті чи інші сполуки [149].

Технології вирощування сільськогосподарських культур, недосконалість агротехнічних обробітків та способів застосування добрив створює у ґрунті мікрозони з нестачею або надлишком поживних речовин. А тому такі ділянки в свою чергу сприяють зростанню або зменшенню чисельності певних трофічних груп мікроорганізмів [15; 102; 109].

Негативні антропогенні впливи на агроєкосистеми України уже викликали зміни усталених природних взаємозв'язків між окремими їх компонентами, та частково призвели до втрати природних функцій саморегуляції та здатності до самоочищення ґрунту.

Трендом останніх років було підвищення попиту на нешкідливі для організму людини продукти, що може забезпечити екологічно збалансоване землекористування, яка передбачає припинення застосування мінеральних добрив та хімічних засобів, раціональну експлуатацію природних ресурсів, збереження і відтворення мікробіоти та родючості ґрунтів [22].

Відповідно шалений попит на здорове харчування породив стихійний перехід на біологічне землеробство з недотриманням основних його принципів: досягнення бездефіцитного балансу органічної речовини, дотримання сівозмін, ґрунтозахисних технологій, ефективного контролю бур'янів, шкідників та хвороб. По суті були створені цілі течії, що базуються на нещадній експлуатації природньої родючості ґрунту, за відмови від науково обґрунтованих питань збереження та підтримання його функціонального стану. А низькі врожаї та значне ушкодження продукції патогенами списується якраз на «екологічність» її [2; 181].

Питання біологізації рослинництва доволі складне, адже в цьому контексті різко знижується або й зовсім нівелюється вплив факторів інтенсифікації, які часто-густо були вирішальною ланкою у формуванні високого рівня продуктивності. А за біологізації потрібно не тільки застосувати органічні добрива а й також досягати оптимального співвідношення вуглецю до азоту в системах удобрення для запобігання непродуктивним втратам органічної речовини та зменшенню емісії CO<sub>2</sub> у повітря. Також слід з особливою увагою відноситись до представленості та функціонального складу ґрунтових мікроорганізмів, адже вони здатні суттєво вплинути на процеси розкладу та накопичення органічної речовини ґрунту.

Відповідно без дотримання цих умов за короткий період часу створюється від'ємний баланс гумусу, а також мінерального азоту фосфору та калію з наступним стрімким падінням родючості ґрунту [181].

З агрономічної точки зору запровадження біологічного землеробства на ґрунтах західного Лісостепу України призвело до отримання показників продуктивності польової сівозміни не гірше чим за традиційного удобрення. Так, середньому за 10 років за мінерального удобрення продуктивність становила 6,5 т/га кормових одиниць і 0,54 т/га перетравного протеїну, а за біологічного відповідно – 6,1 і 0,52 т/га.

Загалом же визначено, що за біологізації посилюється мікробіологічна активність ґрунту на 6,5-7,5%, поліпшуються агрофізичні та агрохімічні

показники, зменшується чисельність бур'янів та шкідників на 25-40%, вміст нітратів у продукції менший на 10-12 % [178; 181].

В масштабі інших країн біологізація сільського господарства розглядається комплексно – з точки зору оптимізації всіх процесів та основних компонентів впливу. А тому, як наслідок, у США майже 40 % населення споживають органічну продукцію [208].

Таким чином, біологізація рослинництва дозволяє не тільки поліпшити умови живлення сільськогосподарських культур, а й істотно підвищити родючість ґрунту, стійкість мікробіоти до несприятливих факторів, що в цілому позитивно впливає на функціональний стану агробіогеоценозів.

Відповідно питання сталого функціонування агробіогеоценозів з точки зору комплексного впливу мікробіоти ґрунту вивчено частково та різнопланово, тому залишається актуальним здійснення дослідження не тільки функціонування агроценозів а й встановлення взаємозв'язків компонентного складу мікробіоти ґрунту, що обумовлені впливом біотичних та абіотичних факторів.

## **1.2. Біологічний стан ґрунту – детермінанта ґрунтової родючості та екологічної стійкості агробіогеоценозів**

Життєдіяльність мікрофлори ґрунту фактично визначає ефективність основних факторів ґрунтоутворення, родючості, самоочищувальної здатності і кругообігу речовин. Адже саме мікроорганізми надзвичайно ефективно та швидко реагують на зміну умов середовища, що за гарного екологічного стану ґрунту при впливі засобів антропогенного навантаження супроводжується перебудовою в мікробному ценозі та його функціональній діяльності, а за поганого екологічного стану – до непередбачуваних наслідків та загибелі певних груп мікроорганізмів [6; 7; 59].

Попри важливість функціонального стану мікробіоти ґрунту в Україні при оцінці систем удобрення практично не використовуються кількісні показники

біологічних властивостей ґрунтів. В той же час за кордоном широко оперують параметрами загальної біомаси ґрунту, мікробної біомаси, загальної чисельності бактерій та мікроскопічних грибів, продукування двоокису вуглецю (базальне та субстрат ініційоване дихання), ферментативної активності ґрунту [46; 168].

Мікробний ценоз пристосовуючись до нових умов існування, проявляє стійкість до них або необоротно змінює свої функціональні властивості, що може негативно позначитись на родючості ґрунту [6; 30; 101].

Відповідно деградація ґрунтів проявляється у зміні чисельності мікроорганізмів, зменшенні видового різноманіття і порушенні оптимального співвідношення різних видів ґрунтової мезо- і мікрофауни, розвитку патогенної мікрофлори та зміні інтенсивності протікання біохімічних процесів [6; 7; 59].

Стійкість мікробного ценозу можна розглядати як властивість зберігати структуру і характер функціонування за впливу несприятливих факторів природного або антропогенного походження та повертатись у вихідний стан після відхилень [57].

Високу екологічну стійкість, як правило, мають добре гумусовані ґрунти важкого, середньо- та легкосуглинкового гранулометричного складу, середню стійкість мають дерново-карбонатні, сірі та темно-сірі опідзолені ґрунти, а от нестійкими та слабостійкими є малогумусні, кислі дерново-підзолисті піщані, супіщані й глинисто-піщані, низові торфовища і торфоболотні ґрунти. [111].

Ґрунтові мікроорганізми дуже чутливі до змін умов існування, а тому у забруднених ґрунтах змінюється чисельність мікробних угруповань, пригнічується або стимулюється їх розвиток, з'являються резистентні до забруднювачів види мікроорганізмів. При внесенні пестицидів гинуть мікроорганізми, що перетворюють органічні сполуки в неорганічні та азотфіксуючі бактерії [6; 7; 57; 91].

Відповідно оцінити рівень впливу на факторів на мікробіоту ґрунту можна за такими показниками як її загальна чисельність і чисельність основних еколого-трофічних груп мікроорганізмів та їх співвідношення (показники оліготрофності і мінералізації-іммобілізації азоту), ферментативна активність

грунту, інтегральні біологічні показники (продукування двоокису вуглецю, нітрифікаційна, амоніфікувальна здатність тощо) [88; 103; 140]. Характер змін біологічних показників залежить від типу антропогенного навантаження, його тривалості та інтенсивності впливу на ґрунт, взаємодії з іншими природними та антропогенними факторами [6; 7; 25; 101].

Переважаання певних груп мікроорганізмів забезпечує відповідні напрями біохімічних процесів у ґрунтах, адже вони формують певні ферменти, що які іммобілізуються на частинках породи та загалом визначають перебіг мікробіологічних процесів в ґрунті [86].

Відповідно на ферментативну активність ґрунту впливають не тільки його мікроорганізми а й тип та фізико-хімічні властивості ґрунту та інтенсивність антропогенного навантаження і власне вирощувані на певних ділянках ґрунту культурні рослини [177; 118; 216; 138].

Так в процесі фіторекультивзації ґрунтів виявлено зростання активності каталази, дегідрогенази, поліфенолоксидази та протеази за впливу рослин кукурудзи [199].

В дослідженнях з вивчення впливу системи землеробства на формування й функціонування мікробного комплексу встановлено, що у чорноземі типовому за екологічної системи землеробства параметри ферментативної активності були істотно вищими у порівнянні з промисловою системою. Так, протеазна активність була вищою на 48 %, каталазна – на 19 %, фосфатазна – на 25 %. А от за біологічної системи землеробства каталазна активність була на 24 % нижча у порівнянні з екологічною системою землеробства [221].

Водночас зустрічаються дані щодо підвищення активності ферментів під впливом мінеральних (фосфорно-калійних) і органо-мінеральних добрив у 1,5–2 рази [219]. Встановлено, що мінеральні добрива підвищували активність інвертази, а от активність каталази і пероксидази – пригнічували [207].

Дослідження інших авторів показали що спостерігається тенденція зростання ферментативної активності ґрунту від посіву до збирання врожаю. Застосування біологічної системи зумовлювало зростання різноманіття



мікробного комплексу ризосфери буряків цукрових, а інтенсивної – його зниження [206; 175].

Дані отримані Чебановою В.В. за вивчення впливу органо-мінеральних добрив у дозі гній 8 т/га +  $N_{45}P_{50}K_{45}$  та гній 8 т/га +  $N_{90}P_{100}K_{90}$  на стан біохімічної активності чорнозему типового під різними культурами на початку вегетації та під час збору врожаю також підтверджують суттєві відмінності в характері і спрямованості ферментативних процесів та процесів трансформації органічної речовини [176].

Аналіз каталазної та уреазної активності ґрунту показав що верхній шар (0–20 см) чорнозему типового найбільш чутливий до змін, а вглиб за профілем відбувається зниження уреазної та каталазної активностей [138].

Щодо сезонного характеру зміни активності ґрунту, то висока уреазна активність спостерігається у період весна-літо, а каталазна у червні-серпні [81; 155].

Гідролази представлені протеазою, уреазою, целюлазою, інвертазою, амілазою, фосфатазою відіграють важливу роль у процесах кругообігу речовин. Сприяють збагаченню ґрунту доступними для рослин елементами живлення, розщеплюють складні зв'язки в органічних речовинах [45; 62; 4].

Протеази мають прямий зв'язок з колообігом азоту в ґрунті, оскільки тісно по'язані з процесами амоніфікації. Відповідно за їх участі відбувається розкладання органічних решток унаслідок гідролізу білків до пептидів і амінокислот [62].

Уреаза каталізує розщеплення сечовини на аміак і діоксид карбону і відповідно робить доступними рослинам органічні нітрогеновмісні сполуки. А тому цей тип активності є інформативним специфічним показником, адже тісно корелює з аграрним впливом та чутлива до застосування добрив, ніж каталазна й інвертазна активності [9; 110; 10].

Ензиматична активність ґрунтів змінюється за впливу мінеральних добрив, що підвищують активність інвертази, фосфатази й уреаз, знижуючи каталазну

активність ґрунту. Тому зміна ензиматичної активності може бути показником ранньої діагностики стану ґрунту [118; 62].

На фоні збільшення чисельності актинобактерій, олігонітрофільних бактерій і мікробіоти чисельність амоніфікувальних, азотофіксувальних бактерій, міксобактерій і мікроміцетів знижується, а целюлозоруйнівна активність у ґрунтах зменшується істотно [17].

Целюлазна активність є досить об'єктивним інтегральним показником загальної мікробіологічної активності ґрунту [51; 153], яка залежить від абіотичних факторів (температури) і розвитку інших мікроорганізмів. Так, найвища чисельність целюлозоруйнівних мікроорганізмів у шарі 0–20 см дерново-підзолистого ґрунту спостерігається у липні: 41,8–74,3 % – в антропогенно навантаженій екосистемі [53; 14].

Целюлозоруйнівні мікроорганізми сприяють утворенню гумусових речовин із продуктів розщеплення целюлози, тому за інтенсивністю цього процесу можна оцінювати роль целюлозоруйнівних мікроорганізмів у формуванні родючості ґрунту [129].

Отже, ферментна активність ґрунту визначається видовим різноманіттям його мікробіоти, їх активністю та іншими пов'язаними процесами взаємодії мікробних ценозів. А тому зміна ферментної активності ґрунту тісно пов'язана з впливом на його родючість.

### **1.3. Мікробіологічні параметри родючості ґрунту як основа формування біопродуктивності агрофітоценозів**

За сучасного розвитку сільського господарства застосування мінеральних добрив і пестицидів стає все більш необхідним заходом підтримання стабільності агроєкосистем. Разом з тим, застосування значної кількості нетипових речовин призводить до порушення екологічної рівноваги з точки зору розвитку мікробіоти ґрунту. Відповідно накопичуються невикористані

сільськогосподарськими культурами та не перероблені належним чином мікробіотою ґрунту поживні речовини, що все більше стають джерелом забруднення навколишнього середовища [134; 56].

Відповідно суттєві погіршення як мікробіологічного стану ґрунтів, так і викликані цим порушення продуктивності рослин зумовили появу та активне поширення альтернативних напрямків удобрення, які передбачають широке застосування побічної продукції рослинництва та органічних відходів тваринництва (біогумусу, компостів, зелених добрив) та систематичне поліпшення стану ґрунтової мікробіоти [67].

А тому найбільш раціональним способом удобрення з точки зору підтримання функціональної активності мікробіоти та родючості ґрунту є використання помірних доз мінеральних добрив (40-60 кг/га). Що дає можливість відновити родючість ґрунту й одержувати сталі врожаї сільськогосподарських культур високої якості [40; 42].

Проте такі технології навряд чи зможуть конкурувати з інтенсивними, особливо за оптимізації останніх за параметрами застосування засобів хімізації, внесення нових високоефективних препаратів, заміни декількох операцій однією, тощо. Тому основним спрямуванням органічних систем удобрення сільськогосподарських культур залишається питання підтримання високого рівня біорізноманіття та активності мікробіоти ґрунту, що може в свою чергу забезпечити розширене відтворення родючості та екологічну рівновагу в агроєкосистемах.

Запаси азоту в ґрунті переважно зосереджені в органічній речовині і лише незначна їх кількість знаходиться в мінеральних сполуках доступним рослинам. А тому оптимізація азотного живлення ґрунту під культурами сівозміни забезпечує високі врожаї та хорошу якість продукції [19].

Відповідно надходження азоту з добривами складає десяті частки відсотка від загального вмісту його в ґрунті. Попри досить незначні надходження, які не можуть істотно змінити напрям процесів перетворення азотних речовин в ґрунті, аналіз тривалих досліджень свідчить, що при внесенні мінеральних добрив у

кількості еквівалентній 13,5 т/га гною, спостерігалась тенденція до збільшення вмісту загального азоту в сірому лісовому ґрунті [29].

За результатами тривалих польових досліджень інших вчених не встановлено позитивної тенденції до накопичення азоту в ґрунті за систематичному внесення добрив в зерно-просапних сівозмінах [34; 82]. Також дослідники стверджують, що мінеральні добрива в меншій мірі впливають на поповнення запасів загального азоту, ніж органічні [92].

Під впливом систематичного внесення азотного удобрення кількості мінеральних та легкогідролізованих форм азоту помітно підвищується. Нагромадження їх відбувається як за рахунок азоту добрив, так і в результаті посиленої мінералізації складних органічних речовин ґрунту. З іншого боку, застосування добрив викликає інтенсифікацію біологічного синтезу нових органічних сполук, що призводить до підвищення вмісту стійких до розкладу форм ґрунтового азоту [65].

Мікроорганізми при застосуванні добрив адаптуються до нових умов ґрунтового середовища, активізуючи або гальмуючи свою діяльність. У результаті цього порушується синхронність процесів азотного циклу, відбувається розбалансування потоку азоту. Найвідомішим фактом дестабілізації азотного циклу добривами, є феномен екстра- азоту [28; 65; 147; 144]. Феномен екстра-азоту пов'язаний з мінералізуючою частиною біомаси ґрунтових мікроорганізмів і продуктів їх метаболізму та не є наслідком підсилення мінералізації гумусу під дією азотних добрив і вміст його не слід пов'язувати з дегуміфікацією ґрунту [121; 164].

Фосфор присутній в ґрунтах у вигляді неорганічних і органічних сполук, частка останніх більша в багатих гумусом ґрунтах [55; 156]. У процесі мікробіологічного перетворення гумусу та його мінералізації також проходить утворення мінеральних солей фосфорної кислоти, які засвоюються рослинами [155].

Окультурювання ґрунтів приводить до зміни фізико-хімічних, водно-фізичних та інших властивостей, а також балансу фосфору, компенсувати втрати

якого можливо при систематичному внесенні мінеральних і органічних добрив [79].

Зміна рухомості і доступності рослинам фосфору пов'язані зі зміною загального рівня родючості ґрунту так, внесення гною тривалий час може зберігати підвищений вміст рухомих фосфатів. Так, при довготривалому внесенні органічних добрив на сірому лісовому ґрунті кількість фосфатів першої і другої груп збільшилася на 2,35 мг на 100 г ґрунту [166].

При комплексному застосуванні добрив і гербіцидів вміст рухомого фосфору збільшився на 74-91 % порівняно з варіантами де бур'яни вегетували без обмежень [78].

Систематичне застосування фосфорних добрив пригнічує фосфатазну активність ґрунту та гальмує вивільнення фосфору з нерозчинних мінеральних сполук [54; 114].

Водорозчинний та обмінний калій є основним джерелом калійного живлення рослин, але на ці форми припадає незначна частка від валового його вмісту: 0,02-1,0 % та 0,5-5,0 % відповідно [152].

Внесення гною впродовж сівозміни дозволило збільшити кількість обмінного калію в ґрунті лише на 1,5 мг на 100 г ґрунту порівняно з контролем [20].

Більш ефективним є сумісне застосування органічних і мінеральних добрив [29]. Так, на сірих лісових ґрунтах при сумісному внесенні помірних доз гною і мінеральних добрив ( $12\text{т/га} + \text{N}_{60}\text{P}_{50}\text{K}_{65}$ ) було отримано позитивний баланс калію [22]. Також доведено, що при комплексному використанні добрив і пестицидів вміст обмінного калію зростає на 44-56 % [78].

Мікроорганізми ґрунту мають істотний вплив на формування основних показників родючості його, за рахунок того що визначають інтенсивність і напрямок ґрунтоутворюючих процесів [137; 77]. Адже майже 80-90 % органічних решток мінералізується і лише 10-20 % бере участь в формуванні гуматів [170; 125].

Так, органічні рештки трансформуються ґрунтовими мікроорганізмами [80], а от швидкість та спрямованість процесу залежать від ґрунтово-кліматичних умов та представленості основних груп мікроорганізмів [224]. Низький вміст азоту обмежує швидкість розмноження мікроорганізмів, тому й зменшується швидкість трансформації вуглецю в ґрунті [154].

Досліджено, що на дерново-підзолистих ґрунтах навіть внесення  $N_{60}P_{60}K_{60}$  викликає істотні зміни в формуванні мікробіоти [224]. А дози  $N_{120}P_{180}K_{270}$  та вище пригнічують активність фіксації азоту, нітрифікації, та активізують процеси денітрифікації [150].

Встановлено, що навіть 30 кг/га азоту знижує симбіотичну фіксацію на 20-87 кг/га [95]. Також систематичне застосування мінеральних добрив стимулює зростання чисельності денітрифікаторів [211] та викликає зниження целюлозолітичних та нітрифікуючих мікроорганізмів [212].

Також доведено, що за внесення підвищених доз мінеральних добрив зростає чисельність фітопатогенних і токсиноутворюючих мікроміцетів, тощо [145; 157].

А от за застосування органічних добрив окрім повернення органічної речовини різко активізуються мікробіологічні процеси [196]. Як наслідок зростає чисельність та біомаса мікроорганізмів [148] відбувається формування стійких трофічних зв'язків [151].

Також підтверджено, що за внесення органічних та сидеральних видів добрив істотно збільшилась чисельність бактерій, що використовують органічні форми (на 20-40 %), а целюлозоруйнівних видів мікроорганізмів стало більше на 17-30 % [218].

Отже, за умов інтенсифікації, ефективність вирощування сільськогосподарських культур залежить від застосування органічних і мінеральних добрив, але їх нераціональне використання може мати негативний вплив на навколишнє середовище [133] та погіршення якості сільськогосподарської продукції [79].

#### **1.4. Вплив абіотичних і біотичних факторів на мікробіоту ґрунту та культури сівозміни**

В сучасних умовах агровиробничники стараються максимально повно використовувати потенційні можливості регіону вирощування, родючості ґрунту, вирощуваних культур для забезпечення максимуму потенціалу врожайності. Відповідно за умови адаптації сільськогосподарського виробництва до ринкових умов часто забувається той факт що обсяг отриманого нами урожаю не завжди відіграє ключову роль в його привабливості для ринку. Адже якість отриманої продукції для багатьох культур визначає не тільки спрямованість врожаю (чи на зерно, чи для перероблення чи на фуражні цілі) а й завжди є важливим показником, що визначає вартість та відповідно й окупність даного виду виробництва.

Так, надзвичайно проблематичним питанням отримання якісної продукції для сільського господарства України залишається вирощування зерна озимої пшениці вище фуражного рівня класності. Попри те що пшениця озима щонайкраще використовує біокліматичний потенціал осінньої вегетації не завше виробничники здатні забезпечити високий рівень вимог культури після відновлення вегетаційного періоду навесні. В цьому далеко не останню роль відіграють мінеральні способи удобрення культури та значний негативний вплив, що чиниться на мікробіоту ґрунту за таких систем ведення сільськогосподарської діяльності.

А відповідно резервом збільшення врожайності і поліпшення якості є максимальне використання потенціалу ґрунту, умов вирощування та біологічних особливостей культур [48]. Причому за останні десятиріччя в Україні зросла сумарна кількість несприятливих погодних умов у період вегетації рослин [35]. Внаслідок зменшення буферної стійкості ґрунту, збіднення його мікробіоти та накопичення патогенно мікрофлори, зміни клімату ще більш істотноше впливають на формування урожайних та якісних характеристик рослинної

продукції. Сукупність цих керованих і некерованих факторів, що визначають умови росту і розвитку рослинного організму, обумовлюють формування різноякісного врожаю незадовільної якості [139].

Якість продукції рослинництва це сукупність біологічних, фізико-хімічних, технологічних і споживчих якостей, які визначають здатність до використання. Вона змінюється в процесі формування, дозрівання, збирання та на неї можуть впливати різні причини: генетичні, кліматичні, технологічні та мікробіологічні чинники.

Щоб допомогти рослинам і агроценозу в цілому зберегти оптимальну кількість елементів продуктивності і таким чином максимально спрацювати на урожай, необхідно забезпечити оптимальні параметри їх росту та розвитку. Адже ці параметри в більшій мірі залежать від, агрометеорологічних умов конкретного року, властивостей ґрунту і агротехніки, причому перші два чинника істотно перевершують вплив останнього [66; 84].

Зниження запасів ґрунтової вологи до 40 % від повної вологоємкості викликає падіння продуктивності рослин порівняно з оптимальним зволоженням на 27-30 %, а збільшення до 80 % - на 18-20%.

Підвищена температура ґрунту прискорює ріст рослин, а також сприяє накопиченню азоту і вуглеводів. Крім того, більш висока температура посилює процес нітрифікації в ґрунті, що веде до збагачення його азотом.

Відмінності в якості продукції зумовлені не лише впливом різних метеорологічних умов, але й пов'язані з різною родючістю ґрунту. Хоч ґрунтові й агрокліматичні умови органічно й пов'язані між собою, проте можна до деякої міри виділити їх різний вплив на формування якості зерна. Зерно вирощене на ґрунтах із великим вмістом гумусу, має кращі показники, ніж вирощене на менш родючих.

Рослини залежно від фізіологічних особливостей, вегетації та агротехніки, використовують різну кількість води, та поживних речовин і по різному впливають на фізичні властивості ґрунту та його мікробіоту, внаслідок цього створюються різні умови для вирощування наступної культури.



Потреба культур в елементах живлення забезпечується завдяки ґрунтовій родючості, а також застосування різноманітних добрив. Причому переважна більшість культур потребує азотного живлення не залежно від типу ґрунту, адже доволі багато його виноситься з врожаєм. В той же час застосування мінеральних форм удобрення може негативно відзначитись як на доступності елементів живлення рослинам так і на якості. Адже, за умови перезволоження ґрунту на час наливання зерна в ньому накопичується більше сірковмісних амінокислот, які погіршують якість борошна.

А тому система удобрення повинна бути розроблена з врахуванням взаємодії не тільки з рослинами а й мікробіотою ґрунту і сприяти підтриманню ґрунтової родючості на високому рівні.

Використання занадто складнозасвоюваних рослинами добрив теж не варіант забезпечення хорошого стану ґрунтів, так як хороша продуктивність культур формується тільки за достатнього і своєчасного забезпечення ґрунту та як наслідок і рослин елементами мінерального живлення [132].

Інтенсивність розкладу азотовмісних сполук залежить від багатьох факторів: запасів азоту, чисельності мікробіоти, погодних умов, тощо [203; 179]. Причому якраз мінералізація азотовмісних органічних сполук та іммобілізація мінерального азоту є важливими процесами колообігу азоту [182].

Встановлено, що значна роль належить пліснявим грибам, целюлозоруйнуючим бактеріям та неспоровій мікрофлорі в іммобілізації мінерального азоту [184]. Причому вклад іммобілізованого мікроорганізмами азоту може становити 30-50 %, від загальної частки споживання азоту рослинами [214]. А от інтенсивність та швидкість іммобілізації азоту в різних типах ґрунтів залежить від вмісту основних елементів живлення та погодних умов [195].

Спосіб засвоєння молекулярного азоту з повітря вважається найбільш екологічним варіантом забезпечення потреб рослин [185]. Засвоювати його можуть: *Azotobacter*, *Bradyrhizobium*, *Clostridium*, *Rhizobium*, *Sinorhizobium*, *Mezorhizobium*, мікобактерії, ціанобактерії, мікроміцети [195].

А от трансформувати фосфати ґрунту в доступну рослинам форму можуть: *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Penicillium*, *Aspergillus*, *Rhizopus*, деякі стрептоміцети, дріжджі [220]. Також перетворювати нерозчинні сполуки фосфорної кислоти у розчинний стан можуть: *Aspergillus*, *Bacillus*, *Micobacterium*, *Pseudomonas*, *Penicillium* [107; 115].

Сприятливі умови для фосфатмобілізуючих мікроорганізмів забезпечують для рослинництва загальне зростання ефективності використання фосфатів з ґрунту, а також зменшення потреби в мінеральних добривах [160].

Отже, за наявності знань про вплив елементів технології вирощування рослин та погодних умов на спрямованість мікробних процесів в ґрунті, можна стимулювати чи пригнічувати певні напрямки мікробіологічної активності ґрунту та брати участь в управлінні мікробними процесами, що визначають поживний режим ґрунту. Однак, мікробіота надзвичайно делікатна складова агроєкосистеми, тому вивчення впливів повинно відбуватись в комплексі взаємодій з умовами середовища та рослинами.

Якщо узагальнити особливості впливу критичних факторів на формування якості продукції то тільки за підтримання активного стану мікробіоти ґрунту та дотримання агротехнологій можна отримати хороший рівень якості врожаю всіх без виключення культур сівозміни.

### **Висновки за розділом 1:**

За результатами аналізу досліджень вчених визначено роль мікроорганізмів у функціонуванні ґрунту, та встановлено що структура і різноманіття їх в значній мірі залежить від удобрення культур сівозміни. А тому дослідження взаємодії мікробного комплексу під впливом зовнішніх чинників технології вирощування культурних рослин має значення з визначення механізмів у системі взаємодій: мікроорганізми – ґрунт – рослина.

Також визначено, що в свою чергу виникає необхідність у пошуку агроприйомів, спрямованих на оптимізацію складу та активності

мікроорганізмів ґрунту. Це дозволить активізувати процеси підвищення родючості ґрунту та отримувати стабільно високі врожаї вирощуваних культур, адже, як було встановлено, ґрунти в умовах інтенсивної сільськогосподарської експлуатації стають біологічно деградованими.

Відповідно виявлені розбіжності в знаннях щодо комплексної взаємодії мікроорганізмів під впливом удобрення (особливо нової формуляції) та за динамічних змін спричинених сучасними методами вирощування культур у короткоротаційних сівозмінах є одним з завдань мікробіології. Адже детальне вивчення закономірностей розвитку мікробного біому чорноземних ґрунтів та його внеску у формування родючості ґрунту в кінцевому підсумку призведе до раціонального використання мікробіоти у сучасному рослинництві.

## РОЗДІЛ 2

### ОБ'ЄКТИ, УМОВИ ТА МЕТОДИ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 2.1. Програма і методика

Дослідження виконувались в 2016–2019 рр. на Білоцерківській дослідно-селекційній станції Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України (БЦДСС), яка розташована в Центральному Лісостепу України, у зоні нестійкого зволоження. Клімат регіону – помірно-континентальний, з нестабільним рівнем зволоження.

Основною метою проведення досліджень було вивчення мікробіологічних процесів, що відбуваються в агробіогеоценозах короткоротаційної сівозміни за різного антропогенного навантаження, а зокрема: впливу систем удобрення.

Досліджувана нами короткоротаційна сівозміна має чотирирічний цикл ротації та передбачає вирощування наступних культур: соя – пшениця озима – буряки цукрові – кукурудза на зерно.

Відповідно обліки та спостереження мікробіоти ґрунту проводили протягом основних фенологічних фаз росту та розвитку рослин з врахуванням найбільш критичних періодів:

- соя – в фазу сходів, бутонізації та побуріння бобів;
- пшениця озима – в фазу кущення, колосіння та молочно-воскової стиглості;
- буряки цукрові – в фазу 2-4 листочки, змикання рядків та технічної стиглості;
- кукурудза на зерно – в фазу 5-7 листків, викидання волоті та молочно-воскової стиглості.

Детально інформація про систему та норми удобрення застосовувані для удобрення культур короткоротаційної сівозміни наведена в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

## Система удобрення культур короткоротаційної сівозміни

| № з/п              | Система удобрення | Основне удобрення   | Передпосівне удобрення  | Удобрення по вегетації   |
|--------------------|-------------------|---|---|--|
| Соя                |                   |   |   |  |
| 1                  | Біологічна        | пожнивні рештки кукурудзи (8-12 т/га) + Біогумус (вермикомпост) «ЕКОЧУДО» 200 кг/га             | обробка насіння біодобрином Вермісол 10 л/т   | Квантум – ГУМАТ, 1 л/га  |
| 2                  | Екологічна        | пожнивні рештки кукурудзи (8-12 т/га) + P <sub>30</sub> K <sub>30</sub>                         | обробка насіння біодобрином Вермісол 10 л/т + під культивуацію N <sub>30</sub>                              | -  |
| 3                  | Промислова        | P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>   | під культивуацію N <sub>60</sub>  | -  |
| Пшениця озима      |                   |   |   |  |
| 1                  | Біологічна        | пожнивні рештки сої (2-3 т/га) + Біогумус (вермикомпост) «ЕКОЧУДО» 500 кг/га                    | обробка насіння біодобрином Вермісол 10 л/т   | Квантум – ГУМАТ, 0,7 л/га                                      |
| 2                  | Екологічна        | пожнивні рештки сої (2-3 т/га) + N <sub>22</sub> P <sub>22</sub> K <sub>22</sub>                | обробка насіння біодобрином Вермісол 10 л/т + під культивуацію N <sub>8</sub> P <sub>8</sub> K <sub>8</sub> | підживлення весною N <sub>16,5</sub>                           |
| 3                  | Промислова        | N <sub>44</sub> P <sub>44</sub> K <sub>44</sub>   | під культивуацію N <sub>16</sub> P <sub>16</sub> K <sub>16</sub>  | підживлення весною N <sub>33</sub>                             |
| Буряки цукрові     |                   |   |   |  |
| 1                  | Біологічна        | пожнивні рештки пшениці (8-10 т/га) + Біогумус (вермикомпост) «ЕКОЧУДО» 1000 кг/га              | обробка насіння біодобрином Вермісол 10 л/т   | Квантум – ГУМАТ, 0,7 л/га                                      |
| 2                  | Екологічна        | пожнивні рештки пшениці (8-10 т/га) + N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>90</sub>           | обробка насіння біодобрином Вермісол 10 л/т + під культивуацію N <sub>55</sub>                              | -  |
| 3                  | Промислова        | P <sub>90</sub> K <sub>120</sub>  | під культивуацію N <sub>120</sub> P <sub>30</sub> K <sub>40</sub>   | в підживлення N <sub>120</sub> P <sub>20</sub> K <sub>30</sub> |
| Кукурудза на зерно |                   |   |   |  |
| 1                  | Біологічна        | пожнивні рештки буряків цукрових (30-40 т/га) + Біогумус (вермикомпост) «ЕКОЧУДО» 750 кг/га     | обробка насіння біодобрином Вермісол 10 л/т   | Квантум – ГУМАТ, 1 л/га  |
| 2                  | Екологічна        | пожнивні рештки буряків цукрових (30-40 т/га) + N <sub>15</sub> P <sub>30</sub> K <sub>30</sub> | обробка насіння біодобрином Вермісол 10 л/т + під культивуацію N <sub>30</sub>                              | підживлення N <sub>15</sub>                                    |
| 3                  | Промислова        | N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>   | під культивуацію N <sub>60</sub>  | підживлення N <sub>30</sub>                                    |

Площа елементарної дослідної ділянки – 208 м<sup>2</sup> (13,0 × 16,0), повторність досліду чотирьохразова, площа під дослідом 1 га.

Якщо коротко охарактеризувати відмінності систем удобрення то:

- в якості контрольного варіанту використовували сучасну промислову систему удобрення культур, що передбачає використання інтенсивних технологій вирощування та пріоритет застосування промислових засобів удобрення доступних на ринку (переважно мінеральних добрив);
- в екологічній системі удобрення використовували збалансоване поєднання мінеральних та органічних добрив (переважно рослинні залишки попередньої культури сівозміни) в екологічно регламентованих нормах;
- за застосування біологічної системи удобрення, для удобрення культур сівозміни, використовували виключно сучасні органічні добрива, рослинні рештки та гумати.

## **2.2. Ґрунт проведення досліджень**

Дослідження з вивчення закономірностей розвитку мікробіоти короткоротаційних сівозмін проводились на чорноземі типовому глибокому малогумусному крупнопилувато середньо суглинкового гранулометричного складу. Такий тип ґрунту належить до категорії одних з найбільш переважаючих в умовах Правобережного Лісостепу України та Київської області зокрема. Так, чорноземи займають майже 60 % території України, та основна маса їх зосереджена в Лісостеповій частині регіону. А тому отримані нами закономірності розвитку мікробіоти правомірно поширювати на переважну частину чорноземів типових глибоких малогумусних крупнопилувато середньо суглинкового гранулометричного складу.

Відповідно ґрунт дослідного поля де були закладені короткоротаційні сівозміни чорнозем типовий глибокий малогумусний крупнопилувато середньо суглинковий добре забезпечений елементами живлення та за правильного підбору основних елементів технології вирощування може забезпечувати

високий рівень урожайності усіх досліджуваних нами культур сівозміни.

Загалом структуру ґрунту та його основних генетичних горизонтів можна охарактеризувати за наступними показниками: в орному шарі (0–30 см) міститься близько 17 % мулистих частинок і від 46 до 54 % крупного пилу. Карбонати магнію та кальцію залягають на глибині 55–65 см. Питома маса твердої фази ґрунту – 2,61; максимальна гігроскопічність ґрунту – 5,5 %; польова вологоємність за об'ємної маси 1,2 г/см<sup>3</sup> – близько 26 %, а за 1,3 г/см<sup>3</sup> – 18 %.

Рельєф розташування дослідної ділянки рівнинний, глибина залягання ґрунтових вод – 8 м.

Відповідно агрофізичні та агрохімічні властивості орного (0–30 см) шару ґрунту можна охарактеризувати наступними показниками: вміст гумусу – 3,5 %, загального азоту – 0,31 %; гідролітична кислотність – 2,41 мг-екв., кислотність – близька до нейтральної, вміст легкогідролізованого азоту (N) – 13,4 мг/100 г ґрунту, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 27,6 мг/100 г ґрунту, K<sub>2</sub>O – 9,8 мг/100 г ґрунту, ступінь насиченості основами – 90 %.

А отже, за результатами визначення параметрів орного шару ґрунту можна стверджувати, що забезпеченість основними елементами живлення ґрунту була: легкогідролізованими формами азоту – середня, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – висока, K<sub>2</sub>O – підвищена.

Якщо аналізувати ділянку загалом, то вона типова для Білоцерківського агроґрунтового району центральної частини Лісостепу України. Середній бонітет ґрунту – 81 бал, а отже придатна для вирощування усіх сільськогосподарських культур.

### **2.3. Погодні умови в роки досліджень**

На розвиток мікробіоти ґрунту так же як і на ріст і розвиток рослин суттєво впливають умови вегетаційного періоду. А тому розглядати особливості перебігу мікробіологічних процесів в ґрунті слід опираючись на особливості років проведення досліджень. Адже ефективність добрив, особливо інтенсивність засвоєння та спрямованість процесів трансформації мінеральних добрив істотно

залежить від наявності вологи та температури.

Показники забезпеченості дослідів опадами в роки виконання досліджень наведені в таблиці згідно даних метеопоста БЦДСС (табл. 2.2).

Таблиця 2.2

**Кількість опадів в роки проведення досліджень за даними метеопоста  
БЦДСС**

| Місяць                 | Декада    | Середньо-багаторічні | 2016  | 2017  | 2018  | 2019  |
|------------------------|-----------|----------------------|-------|-------|-------|-------|
| Січень                 |           | 36,0                 | 57,5  | 23,1  | 26,6  | 55,3  |
| Лютий                  |           | 33,0                 | 44,5  | 42,0  | 36,2  | 27,1  |
| Березень               |           | 29,0                 | 22,8  | 33,0  | 72,6  | 22,3  |
| Квітень                | I         | 14,0                 | 0,0   | 9,5   | 1,7   | 0,0   |
|                        | II        | 17,0                 | 55,6  | 5,4   | 0     | 27,5  |
|                        | III       | 16,0                 | 3,8   | 0,0   | 8,5   | 4,7   |
|                        | за місяць | 47,0                 | 59,4  | 14,9  | 10,2  | 32,2  |
| Травень                | I         | 16,0                 | 24,7  | 12,5  | 5,2   | 31,1  |
|                        | II        | 12,0                 | 61,8  | 14,8  | 38,4  | 7,8   |
|                        | III       | 18,0                 | 8,7   | 17,7  | 0     | 35,9  |
|                        | за місяць | 46,0                 | 95,2  | 45,0  | 43,6  | 74,8  |
| Червень                | I         | 23,0                 | 13,2  | 0,0   | 4,0   | 61,8  |
|                        | II        | 27,0                 | 14,2  | 3,9   | 13,3  | 0,0   |
|                        | III       | 23,0                 | 10,3  | 22,8  | 66,7  | 37,9  |
|                        | за місяць | 73,0                 | 37,7  | 26,7  | 84,0  | 99,7  |
| Липень                 | I         | 35,0                 | 7,0   | 11,5  | 5,2   | 2,0   |
|                        | II        | 24,0                 | 0,5   | 14,8  | 15,8  | 6,4   |
|                        | III       | 26,0                 | 17,0  | 21,8  | 32,2  | 14,7  |
|                        | за місяць | 85,0                 | 24,5  | 48,1  | 53,2  | 23,1  |
| Серпень                | I         | 16,0                 | 4,2   | 5,4   | 5,5   | 17,1  |
|                        | II        | 25,0                 | 11,3  | 0,0   | 2,5   | 4,3   |
|                        | III       | 19,0                 | 6,5   | 10,7  | 7,0   | 0,0   |
|                        | за місяць | 60,0                 | 22,0  | 16,1  | 15,0  | 21,4  |
| Вересень               | I         | 13,0                 | 0,0   | 24,4  | 39,8  | 0,0   |
|                        | II        | 11,0                 | 0,0   | 4,7   | 2,5   | 2,0   |
|                        | III       | 11,0                 | 4,6   | 6,9   | 12,9  | 20,1  |
|                        | за місяць | 35,0                 | 4,6   | 36,0  | 55,2  | 22,1  |
| Жовтень                | I         | 16,0                 | 37,2  | 27,0  | 13,3  | 0,3   |
|                        | II        | 13,0                 | 16,6  | 17,0  | 0,0   | 0,0   |
|                        | III       | 8,0                  | 5,5   | 6,0   | 11,9  | 0,7   |
|                        | за місяць | 37,0                 | 59,3  | 50,0  | 25,2  | 1,0   |
| За вегетаційний період |           | 346,0                | 303,0 | 236,8 | 286,4 | 274,3 |



За період ефективного розвитку мікробіоти ґрунту, з квітня по вересень 2016 році випало 486,8 мм опадів, що відповідає нестачі опадів за середньобагаторічними показниками на 205,2 мм.

Найбільша нестача опадів була спостережена в червні (35,3 мм), липні (60,5 мм), серпні (38,0 мм) та вересні (30,4 мм). А от решта місяців зі значеннями близькими до багаторічного оптимуму мали надзвичайно нерівномірних характер розподілу опадів, що негативно вплинуло на мікробіоту ґрунту в тому числі та трансформацію неоорганічної і мінеральної складової добрив.

Ще більш сухим виявився 2017 рік, коли кількість опадів з квітня по вересень становила 373,6 мм, а дефіцит опадів в порівнянні з багаторічними показниками спостерігався на рівні 318,4 мм. Фактично, за роки досліджень даний дефіцит опадів був найбільш істотним та суттєво вплинув як на продуктивність сільськогосподарських культур так і закономірності розвитку мікробіоти ґрунту.

Відповідно найбільший дефіцит вологи було спостережено в квітні (32,1 мм), червні (46,3 мм), липні (36,9 мм) та серпні (43,9 мм). Що фактично відповідало періоду найбільш активного розвитку мікробних угруповань ґрунту

В 2018 році нестача опадів в порівнянні з минулими роками, була не такою критичною і за період з квітня по вересень включно випало 522,4 мм опадів, що лише на 169,6 мм менше багаторічної норми. Відповідно дефіцит опадів по місяцях теплового періоду року спостерігався в квітні (36,8 мм), липні (64,0 мм) та серпні (45,0 мм).

Кількість опадів за період з квітня по вересень 2019 року становила 546,6 мм, що було максимально близько до багаторічних значень за весь спостережуваний період, а дефіцит опадів за цей проміжок часу склав всього 145,4 мм.

В цілому нестача опадів впродовж 2016-2019 років спричиняла зниження загальних запасів продуктивної вологи в ґрунті, а в результаті впливала як на активність мікробіоти ґрунту так і на врожайності сільськогосподарських культур.

Показники температури повітря в роки проведення досліджень за даними метеопоста БЦДСС наведено в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3

**Температура повітря в роки проведення досліджень за даними метеопоста  
БЦДСС**

| Місяць                 | Декада    | Середньо-багаторічні | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 |
|------------------------|-----------|----------------------|------|------|------|------|
| Січень                 |           | -5,9                 | -5,9 | -4,2 | -3,1 | -4,3 |
| Лютий                  |           | -4,4                 | 2,2  | 2,0  | -4,9 | 1,8  |
| Березень               |           | 0,3                  | 4,1  | 3,7  | -2,5 | 5,2  |
| Квітень                | I         | 7,0                  | 11,9 | 11,6 | 9,9  | 9,7  |
|                        | II        | 7,8                  | 13,1 | 7,5  | 13,5 | 8,5  |
|                        | III       | 10,4                 | 10,8 | 11,8 | 15,2 | 13,8 |
|                        | За місяць | 8,4                  | 11,9 | 10,3 | 12,9 | 10,7 |
| Травень                | I         | 13,5                 | 13,1 | 13,6 | 20,6 | 13,9 |
|                        | II        | 15,3                 | 10,8 | 12,8 | 15,5 | 18,8 |
|                        | III       | 15,8                 | 11,9 | 18,3 | 19,1 | 19,4 |
|                        | За місяць | 14,9                 | 11,9 | 14,9 | 18,4 | 17,4 |
| Червень                | I         | 17,3                 | 16,0 | 18,8 | 19,3 | 22,0 |
|                        | II        | 17,4                 | 19,3 | 18,8 | 22,2 | 24,4 |
|                        | III       | 18,7                 | 24,2 | 21,6 | 19,0 | 22,1 |
|                        | За місяць | 17,8                 | 19,8 | 19,7 | 20,2 | 22,8 |
| Липень                 | I         | 18,5                 | 19,5 | 19,0 | 19,1 | 18,9 |
|                        | II        | 19,4                 | 22,6 | 20,1 | 20,3 | 17,8 |
|                        | III       | 19,1                 | 21,5 | 21,9 | 22,0 | 21,9 |
|                        | За місяць | 19,0                 | 21,2 | 20,3 | 20,5 | 19,5 |
| Серпень                | I         | 19,7                 | 21,6 | 23,9 | 22,1 | 19,6 |
|                        | II        | 18,6                 | 17,5 | 24,6 | 22,9 | 22,2 |
|                        | III       | 17,0                 | 21,0 | 17,2 | 20,7 | 22,1 |
|                        | За місяць | 18,4                 | 20,0 | 21,9 | 21,9 | 21,3 |
| Вересень               | I         | 16,0                 | 19,3 | 16,6 | 18,7 | 20,7 |
|                        | II        | 13,7                 | 15,1 | 18,9 | 17,8 | 15,0 |
|                        | III       | 11,8                 | 11,0 | 13,3 | 12,0 | 12,9 |
|                        | За місяць | 13,8                 | 15,1 | 16,3 | 16,2 | 16,2 |
| Жовтень                | I         | 10,1                 | 13,2 | 12,3 | 10,1 | 11,3 |
|                        | II        | 8,1                  | 3,4  | 9,8  | 11,0 | 11,6 |
|                        | III       | 5,4                  | 4,2  | 10,0 | 8,9  | 11,0 |
|                        | За місяць | 7,8                  | 6,8  | 10,7 | 10,0 | 11,3 |
| За вегетаційний період |           | 15,4                 | 16,7 | 17,2 | 17,2 | 17,0 |

Середньодобова температура повітря у 2016 році також мала переважання середньомісячних температур повітря, особливо це проявлялось в квітні на 3,5°C, червні на 2,0°C, липні на 2,2°C, серпні на 1,6°C та вересні на 1,3°C порівняно з середніми багаторічними значеннями.

Аналогічно, в період активного розвитку мікробіоти та рослин в 2017 році середньомісячна температура повітря в квітні на 1,9°C, червні на 1,9°C, липні на 1,3°C, серпні на 3,5°C та вересні на 2,5°C була вище багаторічної норми.

Якщо проаналізувати температурні показники періоду 2018 року, то середньомісячні температури повітря в квітні на 4,5°C, травні на 3,5°C, червні на 2,4°C, липні на 1,5°C, серпні на 3,5°C та вересні на 2,4°C були вище багаторічної норми.

Глобальні зміни клімату та тенденція до підвищення середньомісячних температур повітря не оминула й період активного росту та розвитку в 2019 році. Так, визначено що в квітні температура повітря була на 2,3°C, в травні на 2,5°C, в червні на 5,0°C, в липні на 0,5°C, в серпні на 2,9°C та в вересні на 2,4°C вище багаторічних значень.

Мінливість погодних умов в порівнянні з даними багаторічних вимірювань виконували опираючись на визначення коефіцієнту суттєвості відхилень ( $K_c$ ) кількості опадів та середньомісячних температур місяців років проведення досліджень за наступною формулою:

$$K_c = \frac{(X_i - \bar{X})}{S} \quad (2.1)$$

де  $K_c$  – коефіцієнт суттєвості відхилень,  $X_i$  – поточні значення погодних умов,  $\bar{X}$  – дані середнього багаторічного показника,  $S$  – середнє квадратичне відхилення.

При цьому значення коефіцієнта суттєвості відхилень кількості опадів або ж середньомісячних температур відповідає наступній класифікації:  $K_c$  = від 0 до 1 – умови близькі до звичайних,  $K_c$  = від 1 до 2 – умови істотно відрізняються від багаторічних,  $K_c > 2$  – умови наближені до екстремальних.

Результати визначення коефіцієнту суттєвості ( $K_c$ ) відхилень кількості опадів та середньомісячних температур від середніх багаторічних показників, 2016–2019 рр. наведено в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4

**Коефіцієнт суттєвості ( $K_c$ ) відхилень кількості опадів та середньомісячних температур від середніх багаторічних показників, 2016–2019 рр.**

| Місяць   | $(K_c)$ опадів |       |       |      | $(K_c)$ температури повітря |      |      |      |
|----------|----------------|-------|-------|------|-----------------------------|------|------|------|
|          | 2016           | 2017  | 2018  | 2019 | 2016                        | 2017 | 2018 | 2019 |
| Квітень  | 0,5            | -8,3  | -10,0 | -2,3 | 3,7                         | 1,0  | 2,0  | -0,5 |
| Травень  | 2,2            | -0,5  | -0,1  | -1,7 | -3,2                        | 0,0  | 1,6  | 2,2  |
| Червень  | -21,3          | -4,7  | 0,4   | 2,4  | 0,6                         | 1,4  | 1,7  | 2,7  |
| Липень   | -8,9           | -8,6  | -2,9  | -0,3 | 1,7                         | 1,1  | 1,3  | -1,0 |
| Серпень  | -12,8          | -10,0 | -24,1 | -0,1 | 0,9                         | 1,0  | 3,8  | 1,1  |
| Вересень | -14,0          | 0,1   | 1,3   | 1,9  | 0,4                         | 1,1  | 0,8  | 0,3  |

На основі проведеного аналізу погодних умов можна зробити висновок про те, що за кількістю опадів найістотніші відхилення спостерігались в 2016, 2017 та 2018 роках. Причому в 2016 році за зволоженням ґрунту умови наближені до екстремальних були в травні, червні, липні, серпні і вересні, в 2017 році в квітні, червні, липні, серпні, в 2018 році в квітні, липні та серпні, а в 2019 році в квітні та червні.

За показниками середньодобової температури повітря стабільно за роки досліджень в період з квітня по вересень спостерігалось 2 місяці з умовами наближеними до екстремальних. Загалом же можна спостерігалось стабільне перевищення середньодобових температур по усіх місяцях в 2017 та 2018 роках досліджень, а 2016 та 2019 роки за коефіцієнтом суттєвості відхилень показували як від'ємні так і екстремально високі значення.

Встановлено, що кліматичні умови в роки проведення досліджень були

характерними для зони нестійкого зволоження центрального Лісостепу України і сприятливими для вирощування усіх культур короткоротаційної сівозміни.

## **2.4. Методи досліджень**

*Агрохімічні властивості ґрунту визначали за наступними методиками:*

- вміст гумусу за ДСТУ 4289:2004 Якість ґрунту. Методи визначання органічної речовини;
- визначення вмісту нітратного, амонійного та загального розчинного азоту за ДСТУ ISO 14255:2005 ЯКІСТЬ ҐРУНТУ. Визначення нітратного азоту, амонійного азоту і загального розчинного азоту в повітряно-сухих ґрунтах з застосуванням розчину хлориду кальцію для екстрагування;
- визначення рухомих сполук фосфору та калію за ДСТУ 4114-2002 Ґрунти. Визначення рухомих сполук фосфору і калію за модифікованим методом Мачигіна;
- визначення кислотності ґрунту (рН водний; рН ґрунтової пасти; рН in situ.) за ДСТУ 7862:2015 Якість ґрунту. Визначення активної кислотності;
- визначення гідролітичної кислотності за ДСТУ 7537:2014 Якість ґрунту. Визначення гідролітичної кислотності;
- визначення ємності поглинання за ДСТУ 8345:2015 Якість ґрунту. Методи визначення ємності катіонного обміну.

## ***Мікробіологічні методи досліджень***

Під час проведення мікробіологічного моніторингу ґрунтів агроєкосистем використовували методичні підходи розроблені В. Патиною і О. Шерстобоевою [117; 122; 206].

Відбирання зразків ґрунту з дослідних ділянок короткоротаційної сівозміни проводили з шару ґрунту 0-20 см та ризосфери рослин. А на посівах буряків цукрових проби відбирали з шару ґрунту 0-10 та 10-25 см [56; 91; 101; 147].

Для визначення чисельності ґрунтової мікробіоти з кожної проби відбирали в колби по 10 г ґрунту та, додаючи 90 мл води, диспергували мікроорганізми з ґрунтових часточок за методом Звягінцева Д.Г. [101]. Десятикратні розведення вихідної ґрунтової суспензії використовували для висівання на селективні середовища.

Чисельність мікроорганізмів основних еколого-трофічних і таксономічних груп визначали методом висівання ґрунтової суспензії на стандартні поживні середовища: загальна кількість мікроорганізмів – на пептон-глюкозному агарі з ґрунтовою витяжкою (ПГА), амоніфікуючі мікроорганізми – м'ясо-пептонний агар (МПА), спороутворювальні бактерії – на МПА із сушлом після прогріву при 75°C упродовж 20 хв, оліготрофні мікроорганізми – на голодному агарі (ГА), стрептоміцети і бактерії, що використовують мінеральний нітроген (амілолітичні) – на крохмаль-аміачному агарі (КАА), педотрофні – на ґрунтовому агарі (ГрА), азотфіксувальні бактерії – на безнітрогенних середовищах Ешбі та Виноградського, *Azotobacter* – на середовищі Федорова методом обростання грудочок ґрунту, мікроміцети – на середовищі Чапека, фосформобілізуючі – на середовищі Муромцева, нітрифікувальні – на голодному агарі з амонійно-магнієвою сіллю, мікроорганізми, які синтезують полісахариди – на середовищі Мартіна, мікроорганізми, які синтезують меланіни – на середовищі Чапека з рН = 5,0, мікроорганізми, які розкладають гумати – на середовищі з гуматом натрію. Чисельність целюлозолітичних мікроорганізмів – на середовищі Виноградського в модифікації Пушкінської [13; 43; 56; 84; 85].

Відповідно склад середовищ детально наводити немає потреби, так як він загальноприйнятий в ґрунтовій мікробіології та описаний у відповідних літературних джерелах [56; 91; 101].

Після засіву біологічного матеріалу на живильні середовища їх інкубували при температурі 28°C протягом 5–14 діб (залежно від швидкості росту відповідних груп мікроорганізмів).

Колонії, що вирости на середовищах, підраховували припускаючи, що з кожної життєздатної клітини формується одна колонія. Кількість мікроорганізмів виражали в колоній-утворюючих одиницях (КУО) на 1 г абсолютно сухого ґрунту з урахуванням коефіцієнту вологості та розведення ґрунтової суспензії. Для цього термостатно-ваговим методом визначали вологість зразка ґрунту, взятого для дослідів, і перераховували отриману кількість колоній з урахуванням коефіцієнта вологості та розведення ґрунтової суспензії.

Посіви проводили в трьох повтореннях, отримані дані обробляли статистичними методами, розраховуючи найменшу істотну різницю кількості мікроорганізмів [11].

**Аналіз метагеному прокаріот мікробного комплексу ґрунту** проводили методом поліморфізму довжин рестрикційних фрагментів (terminal restriction fragment length polymorphism, T-RFLP) за методикою розробленою Патиною М.В. та співавторами [119].

Для виділення тотальної ДНК ґрунтових мікроорганізмів використовували наважки проби 0,5 г, а як детергенту для екстракції використовували СТАВ-буфер (cetyl trimethyl ammonium bromid: NaCl+Tris (оксиметил –  $C_4H_{11}O_3N$ ) + EDTA ( $C_{10}H_{14}O_8N_2Na_2 \cdot 2H_2O$ ) +  $H_2O$ ). До суміші додавали склобісер з розміром зерна 0,25 мм. Інкубування проводили 3 години при температурі 65°C, з періодичним перемішуванням. А от подальшу депротейнізацію проводили хлороформом. Екстраговану ДНК осаджували 96 % етанолом з 5 М NaCl та розчиняли в ТЕ-буфері для елюції.

Екстракт ДНК очищали від гумінових компонентів, для цього його поміщали в 1 % агарозний гель та проводили електрофорез в ТАЕ-буфері при напрузі 3-5 В/см до повного відділення гумінових кислот від ДНК, що

спостерігали на електрофореграмі. В подальшому блок гелю з ДНК екстрагували інкубуванням при 65°C з сумішшю 3 М гуанідіна ізотіоціанату з 20 mM TRIS-HCl та 20 мг/мл Tritona X-100 до повного розчинення гелю.

Наступне осадження ДНК проводили з очисткою розчинами 25 % етанолу та ізопропанолу з 100 mM NaCl, 10 mM TRIS-HCl. Елюцію очищеної ДНК виконували в буфері (10 mM TRIS-HCl+1 mM EDTA).

Для ампліфікації фрагменту 16S рРНК проводили ПЛР з праймерами *EU3 (63f (WellRed)/1494r)*.

*Склад ПЛР суміші (20 мкл):* буфер для ПЛР (10х) 2 мкл; dNTP (10х), 2 мкл; Tag-полімераза (5 од/мкл), 0,2 мкл. *Режим ампліфікації:* початкова денатурація (95°C) – 3 хв; 30 циклів (94°C) – 30 с, (55°C) – 30 с, (72°C) – 1 хв; завершальний синтез (72°C) – 5 хв.

Візуальну детекцію фрагментів проводили на транслюмінаторі після електрофоретичного розділення в 1 % агарозному гелі з 0,5х TAE-буфера та маркера молекулярних мас 100-3000 п. н. Axugen Biosciences.

Ампліфікований фрагмент (100-200 нг) піддавали рестрикції синтетичними ендонуклеазами *HaeIII* та *MspI* протягом 12 год. при 37°C.

Інтенсивність флуоресценції визначали в секвенаторі Beckman CEQ 8000. Структуру мікробного комплексу описували за допомогою двох параметрів – довжини термінального рестрикційного фрагмента маркерного гена (положення окремого піка на T-RFLP профілі) і долі цього фрагменту в сумарній ДНК (площ під піком). Піки, що складали менше 1 % від їх сумарної площі, не враховувались.

Для аналізу профілів T-RFLP використовували програму Fragment Sorter – T-RFLP Fragsort. На основі ідентифікованих філотипів по 16S-рРНК проводили філогенетичний аналіз за допомогою Vector NTI [119].

**Спрямованість мікробіологічних процесів ґрунту визначали за наступними коефіцієнтами [56; 147]:**



*Коефіцієнт мінералізації–іммобілізації* ( $K_{m-i}$ ) – відношення кількості мікроорганізмів, що іммобілізують мінеральні форми азоту, до чисельності органотрофів:

$$K_{m-i} = C_{КАА} / C_{МПА}, \quad (2.2)$$

де  $C_{КАА}$ ,  $C_{МПА}$  – кількість мікроорганізмів, що вирости, відповідно, на крохмально-аміачному та м'ясо-пептонному агарі.

*Коефіцієнт оліготрофності* ( $K_{ол}$ ) розраховували як відношення чисельності мікроорганізмів, що засвоюють елементи живлення з дуже бідних розчинів до загальної чисельності евтрофних мікроорганізмів:

$$K_{ол} = C_{ГА} / (C_{КАА} + C_{МПА}), \quad (2.3)$$

де  $C_{ГА}$  – кількість мікроорганізмів, що вирости на голодному агарі.

*Коефіцієнт педотрофності* ( $K_{пед}$ ) – відношення кількості мікроорганізмів на ґрунтовому агарі ( $C_{ГрА}$ ) до кількості мікроорганізмів, що вирости на м'ясопептонному агарі ( $C_{МПА}$ ):

$$K_{пед} = C_{ГрА} / C_{МПА}, \quad (2.4)$$

***Біологічну активність ґрунту визначали наступним чином:***

Каталазну активність ґрунту визначали газометричним методом, що базується на вимірюванні об'єму кисню, що виділився за певний проміжок часу за рахунок розкладання перекису водню при його взаємодії з ґрунтом [56; 222; 186].

Протеазну активність ґрунту визначали за методом И.Н. Ромейко. Даний метод дозволяє визначити ступінь протеолітичного розкладу казеїну шляхом титрування хлорним залізом [222; 186].

Фітотоксичність ґрунту визначали за методикою Гродзинського А.М. представлений у модифікації Мочалова-Шерстобоева із застосуванням ґрунтових пластинок та тест-культури *Raphanus sativum* [16; 37; 47].

Оцінку ґрунту за ступенем збагаченості мікроорганізмами та ферментами проводили за застосування шкал Д. Звягінцева [101].

Різноманіття мікробіоти ґрунту визначали за індексами різноманіття Шеннона та Сімсона і насиченості ChaoI (порівняння прогнозованої кількості операційних таксономічних одиниць (ОТО) за параметрів вибірки з кількістю експериментально виявлених у зразках) [164; 194].

Для проведення аналізу таксономічної структури та метагеному виділяли нуклеїнові кислоти із мікроорганізмів ґрунту. Для аналізу використовували метод піросеквенування з наступними етапами роботи: створення бібліотеки з флуоресцентними праймерами, подвійна очистка ПЛР-продукту, піросеквенування, аналіз нуклеотидних послідовностей, визначення таксономічної структури та їх порівняльний аналіз [209].

Аналіз фітотоксичності ґрунтів проводили за методикою А.М. Гродзинського [37]. Для приготування водних витяжок використовували свіжовідібрані зразки ґрунту доведені до повітряно сухого стану висушуванням у сушильній шафі за температури не вище 40°C. Просушені зразки просіювали через сито з дрібними отворами та заливали дистильованою водою у співвідношенні 1:1. Отриману суспензію перемішували впродовж однієї години на ротаторі та відстоювали впродовж доби, після чого профільтрували надосадову рідину через подвійний складчастий фільтр [47].

Біотестування виконували в чашках Петрі в наступній послідовності: на фільтрувальний папір викладали 30 штук насіння редьки *Raphanus sativus* L та заливали 5-7 мл фільтрату. Для кожного варіанту досліду вивчення фітотоксичності проводили в трикратній повторності [47].

Через 96 годин вимірювали довжину кореневої системи та наземної частини та чисельно виражали за допомогою шкали умовних кумаринових одиниць (УКО) розробленої А. М. Гродзинським [37; 47].

**Обліки та спостереження за культурами короткоротаційної сівозміни проводили наступним чином:**

Облік урожайності досліджуваних культур проводили шляхом суцільного збирання та зважування маси з кожної ділянки з наступним перерахунком її на гектар.

Визначення показників якості зерна озимої пшениці проводили за ДСТУ 3768:2019 «Пшениця. Технічні умови», а сої: ДСТУ 4964:2008 «Соя. Технічні умови».

Вміст сахарози в коренеплодах цукрових буряків визначали оптичним методом з використанням гарячої дигестії, а також інші якісні характеристики коренеплодів буряків досліджували згідно методик проведення досліджень у буряківництві [131].

Статистичний аналіз результатів досліджень виконували методом дисперсійного аналізу за допомогою використання комп'ютерних програм Excel та Statistica – 12.0 [128].

Економічну ефективність оцінювали згідно методики оцінки завершених наукових досліджень на основі технологічних операцій та відповідно до ринкових цін. Після визначення витрат і отриманої вартості продукції розраховували собівартість та рівень рентабельності.

## **2.5. Характеристика варіантів удобрення застосовуваних в досліді**

При розрахунках варіантів удобрень з застосуванням пожнивних решток важливим питанням є встановлення обсягів надходження з ним в ґрунт поживних речовин. Інформація стосовно характеристики варіантів удобрення та видів добрив застосовуваних в досліді наведена нижче.

При розрахунку кількості поживних решток та вмісту основних елементів живлення в побічній продукції культур (таблиця 2.5) користувались даними

дослідної станції щодо середньо багаторічного формування досліджуваними культурами багаторічних решток.

Таблиця 2.5

**Вміст основних елементів живлення в побічній продукції культур  
короткоротаційної сівозміни**

| Культура              | Поживні<br>рештки, т/га | Вміст елементів живлення, кг/га |                               |                  |
|-----------------------|-------------------------|---------------------------------|-------------------------------|------------------|
|                       |                         | N                               | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O |
| Соя                   | 2                       | 24,0                            | 7,2                           | 10,0             |
|                       | 3                       | 36,0                            | 10,8                          | 15,0             |
| Пшениця озима         | 8                       | 45,6                            | 15,2                          | 85,6             |
|                       | 10                      | 57,0                            | 19,0                          | 107,0            |
| Кукурудза на<br>зерно | 8                       | 56,0                            | 19,2                          | 120,8            |
|                       | 12                      | 84,0                            | 28,8                          | 181,2            |
| Буряки цукрові        | 30                      | 99,6                            | 24,3                          | 128,4            |
|                       | 40                      | 132,8                           | 32,4                          | 171,2            |

**Біогумус (вермикомпост) «ЭКОЧУДО»**

Органічне комплексне добриво високої якості, яке є результатом переробки відходів тваринництва дощовими хробаками. Випускається у вигляді сипучої гранульованої маси (розмір гранул 1-3 мм)

Склад біогумусу: волога – 40-45 %; зола – 35-45 %; вміст органічних речовин – 55-65 %; вміст гумінових речовин – 25-32 %; азоту загального – 1,0-2,0 %; фосфору загального (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) – 1,5-3,0 %; калію загального (K<sub>2</sub>O) – 1,2-2,0 %; кальцію – 4,0-6,0 %; марганцю – 60-80 мг/кг; заліза – 0,6-2,5 %; магнію – 0,6-2,3 %.

Масова частка важких металів перебуває в межах значень нижче ГДК для ґрунтів. Личинки та лялечки санітарних мух не виявлені.

Крім того біогумус (вермикомпост) «ЭКОЧУДО» в своєму складі містить загальну чисельність мікроорганізмів 7,68 млн. клітин/г. Кількість бактерій групи кишкових паличок менше ніж 3 клітин/г, ентерококів менше 3 клітин/г, патогенні мікроорганізми в тому числі сальмонели не виявлено, патогенні мікроорганізми титр *Clostridium perfringens* менше 0,1 г/см<sup>3</sup>, життєздатні яйця та личинки гельмінтів та цисти кишкових патогенних найпростіших не виявлено.

### **Квантум - Гумат**

Рідкий висококонцентрований гумат калію, виготовлений з якісного леонардиту і збагачений розчинними формами кремнію для підсилення антистресового ефекту та зміцнення імунітету рослин

Хімічний склад та властивості:

Гумат калію з високим вмістом фульвокислот – 15-18 % (150-180 г/л);

K<sub>2</sub>O - 5-6 % (50-60 г/л);

SiO<sub>2</sub> – 1 % (10 г/л).

Густина – 1,05-1,17 кг/л

Позакоренеve внесення з нормою витрати робочого розчину 200-400 л/га.

Для сої обприскування проводять в фазу 3-5 трійчасті листки (ВВСН 14-16) та/або бутонізація – початок цвітіння (ВВСН 51-61) з нормою витрати 0,5-1,0 л/га. За застосування на пшениці озимій рекомендується проводити обприскування в фазу виходу в трубку – появи прапорцевого листка (ВВСН 30-49) з нормою витрати 0,5-0,7 л/га. На посівах буряків цукрових застосовують препарат в фазу 4-6 листків (ВВСН 14-16) (0,3-0,5 л/га), змикання листків в рядках (ВВСН 19-34) чи змикання листків в рядках (ВВСН 19-34) з нормою витрати 0,5-0,7 л/га. А на посівах кукурудзи рекомендовано використовувати в фазу 3-5 листків (ВВСН 13-15) та/або 6-8 листків (ВВСН 16-18) з нормою витрати 0,5-1,0 л/га.

### **Органічне добриво Вермісол.**

Добриво це екстракт, отриманий з біогумусу та містить гумати, амінокислоти, вітаміни, природні фітогормони, мікро- і макроелементи, а також спори корисних бактерій.

Кислотність, рН 7,8, масова частка сухого залишку 1,37 %, в ньому органічної речовини 18,5 %, гумусових сполук в сухому залишку 452 мг/л, загального азоту 15,1 мг/л, загального фосфору 16,2 мг/л, загального калію 101,4 мг/л, кальцію 47,4 мг/л, магнію 12,6 мг/л, заліза 11,6 мг/л, марганцю 0,1 мг/л, вміст важких металів не перевищує ГДК.

Комплексне органічне добриво Вермісол: пригнічує розвиток патогенної мікрофлори; знижує вміст важких металів, радіонуклідів та нітратів у вирощуваних культурах; підвищує стійкість до захворювань та пригнічує більшість хвороб рослин; підвищує декоративні якості рослини; покращує ріст і цвітіння; сприяє утворенню більшої кількості бутонів і квіток; покращує фотосинтез листа, збільшує зелену масу; збільшує інтенсивність живлення кореневої системи; прискорює дозрівання ягід і плодів; збільшує врожайність, підвищуючи харчову цінність та збереження плодів і овочів.

Органічне добриво Вермісол можна вносити кількома способами: передпосівна обробка насіння; кореневе підживлення (в тому числі полив рослин за допомогою щілинної або емітерної крапельної стрічки); позакореневе підживлення (обприскування).

## **Висновки за розділом 2:**

Дослідження з вивчення закономірностей розвитку мікробіоти короткоротаційних сівозмін проводились на чорноземі типовому глибокому малогумусному крупнопилувато середньо суглинкового гранулометричного складу впродовж 2016-2019 рр.

Як підсумок, аналіз погодних умов що склались в Білоцерківській дослідно-селекційній станції в 2016-2019 рр. показує відповідність умовам зони нестійкого зволоження, що відповідає опису умов регіону проведення

досліджень. Хоча нестача опадів впродовж 2016-2019 років та високі температури повітря спричиняли зниження загальних запасів продуктивної вологи в ґрунті, а в результаті впливали як на активність мікробіоти ґрунту так і на врожайності сільськогосподарських культур.

Мікробіологічний моніторинг ґрунтів, чисельність мікроорганізмів основних еколого-трофічних і таксономічних груп, спрямованість мікробіологічних процесів, біологічну активність ґрунту, аналіз фітотоксичності ґрунтів, аналізу таксономічної структури та метабеному проводили згідно загальновизнаних або спеціальних методик описаних в відповідних наукових джерелах та легко повторюваних з метою отримання аналогічного результату.

### РОЗДІЛ 3

## ТАКСОНОМІЧНИЙ СКЛАД ОСНОВНИХ ГРУП ПРОКАРІОТ ҐРУНТУ В УМОВАХ РІЗНИХ СИСТЕМ АНТРОПОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ

Формування мікробного комплексу ґрунту залежить від багатьох чинників, отримані знання набувають особливої цінності коли ґрунти активно експлуатують для вирощування сільськогосподарських культур. Адже землекористування кардинально видозмінює мікробіологічні процеси обміну речовин та енергії порівняно з цілиними ґрунтами [33].

Застосування певних агротехнічних операцій викликає формування нових трофічних зв'язків ґрунтової мікробіоти. А тому такі заходи впливу не тільки кардинально видозмінюють чисельність основних таксономічних груп мікроорганізмів а й обмежують їх біорізноманіття та призводять до значного домінування окремих видів. Функціональна активність окремих домінуючих видів мікроорганізмів агроценозів не завше спрямована на підтримання родючості ґрунту або ж на корисну взаємодію з рослинами [174].

Ситуація погіршується в зв'язку з тим що українські ґрунти потребує активно забруднюються пестицидами, мінеральними добривами, важкими металами, тощо. Перш за все на застосування негативних чинників реагує ґрунтова мікробіота і попри те що вона може швидко адаптуватись до нових умов існування та утилізувати пестициди, детергенти, полімери, ці можливості не безмежні.

А тому питання особливостей формування мікробного комплексу ґрунту за різного агрогенного навантаження та використання сучасних систем удобрення варто досліджувати більш детально з позиції ефективного управління ґрунтово-мікробіологічними процесами. Адже підтримання різноманіття мікробіоти та й відповідно родючості ґрунту неможливе без удосконалення систем удобрення. А в свою чергу створення стійких агроєкосистем дозволяє не тільки підтримувати родючість ґрунту на високому рівні а й забезпечувати високий потенціал продуктивності сільськогосподарських культур в цілому.



### **3.1. Особливості формування еубактеріального комплексу ризосфери пшениці озимої**

Роль мікроорганізмів ґрунту визначається перш за все за рахунок їх біохімічної активності та здатності адаптуватись до впливу абіотичних та біотичних компонентів середовища існування [5; 7].

Однак, межа стійкості мікроорганізмів часто є умовним поняттям і не визначена для певних умов середовища їх існування. А отже, навіть здавалося б незначні заходи впливу можуть мінімізувати здатність мікроорганізмів протистояти антропогенному навантаженню [7].

Ефективність функціонування ґрунтових мікроорганізмів визначає родючість ґрунтів, екологічний та фітосанітарний стан їх. Метаболізм ґрунту пов'язує в єдине ціле його фракції та діяльність організмів, а виключення будь-якого з компонентів призводить до порушення біодинаміки ґрунту [52; 197; 201].

Природні біоценози більш різноманітні та стійкі до впливу несприятливих чинників навколишнього середовища а ніж агробіоценози. Біорізноманіття, численні трофічні зв'язки та високий адаптивний потенціал робить такі екосистеми такими що створюють хороші умови для компенсації у разі порушення певних ланцюгів системи [25].

А от штучні ценози набагато вразливіші, а тому варто зосередитись більш детально на вивчення їх біорізноманіття та встановленні процесів та взаємодій мікроорганізмів що відбуваються в цих екосистемах. Адже систематичні помилки в агротехнологіях, що спричиняють руйнування біорізноманіття мікроорганізмів агроценозу та викликають зниження їх загальної кількості ведуть до глобальних змін родючості ґрунту та втрати рівня продуктивності і стабільності вирощування сільськогосподарських культур. Причому зміни глобального характеру відбуваються поступово, в той час як зниження чисельності мікроорганізмів спостерігається практично одразу після застосування антропогенного впливу [31].

Мікроорганізми ґрунту є головними факторами впливу на мінералізацію, синтез та накопичення органічної речовини в агроценозах всіх без виключення

сільськогосподарських культур [121]. Збалансованість мікробіоти ґрунту визначає передусім підтримання екологічної рівноваги та збереженість ґрунтових агроєкосистем [120]. Дослідження вітчизняних вчених показують, що різноманіття мікроорганізмів ґрунту, їх структурна організація та чисельність є головними факторами що визначають особливості формування ґрунту, його структурних елементів та родючості [122]. Як наслідок – різні ґрунти характеризуються відмінностями у видовому різноманітті мікроорганізмів. Кількість функціонуючих у ґрунті мікробних популяцій, які мають приналежність до різних видів, може свідчити про різноманіття ґрунтової біоти та спрямованість перебігу мікробіологічних процесів у ньому [201; 210].

Важливим питанням вивчення ґрунтової мікробіоти залишається ідентифікація видів які є домінантними, адже переважання певних мікроорганізмів є визначальним показником для характеристики типу агроєкосистеми [43]. Варто окремо відмітити, що різноманіття ґрунтових мікроорганізмів визначає гомеостаз агроценозу та певною мірою нівелює вплив антропогенного навантаження. У свою чергу система, яка перебуває під тиском антропогенного навантаження, реагує за рахунок перерозподілу домінантних видів мікроорганізмів, що може бути індикативним показником екологічного стану ґрунту [172].

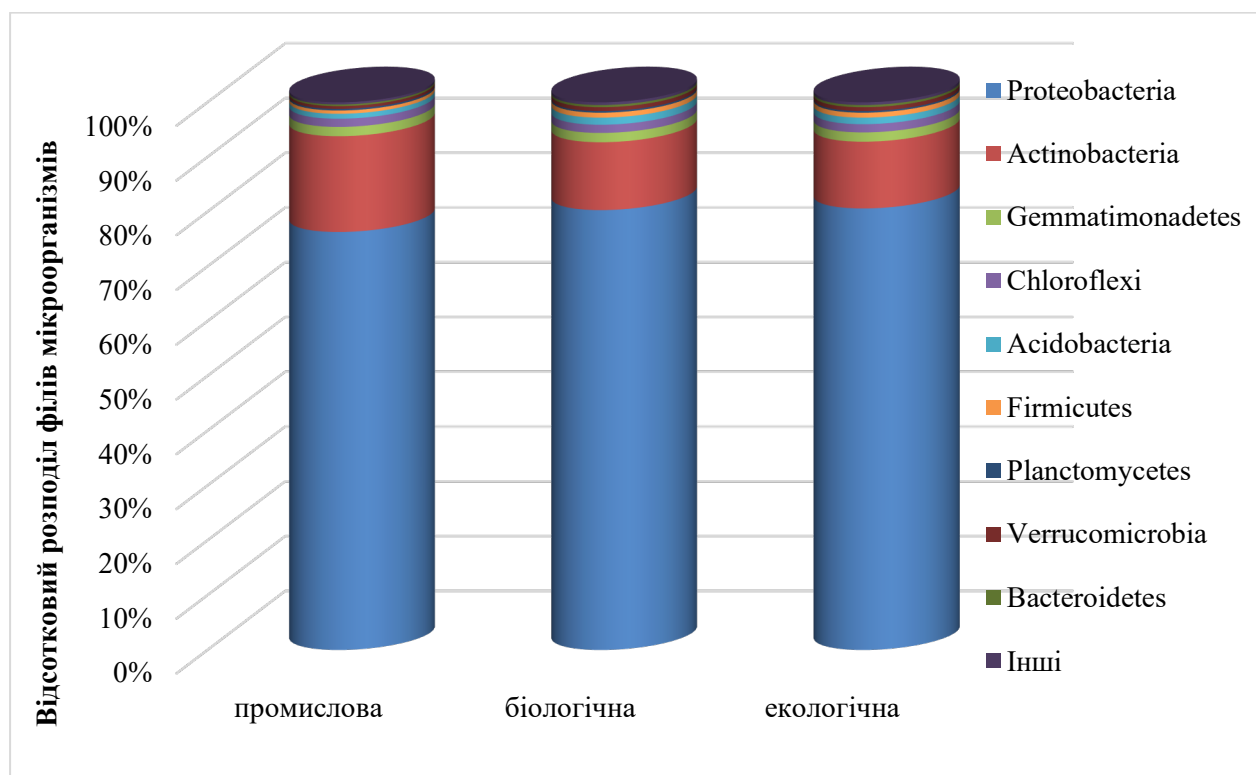
Класичні методи вивчення мікробіоти ґрунту мають свої обмеження та дозволяють ідентифікувати лише мікроорганізми, здатні рости на відповідних селективних середовищах. За різними підрахунками такі мікроорганізми складають від 0,1 до 10 % загального різноманіття мікроорганізмів ґрунту [191; 197].

Застосування молекулярно-біологічних методів для вивчення комплексу мікроорганізмів ґрунту дозволяє визначити закономірності перебігу мікробіологічних процесів у багатокомпонентних екосистемах, незалежно від можливості культивування окремих видів мікроорганізмів [183]. Такий аналіз дозволяє доволі точно ідентифікувати окрім головних і мінорні філи мікробіоти,

зокрема: *OD1*, *TM7*, *Thermi*, *WS3*, *WYO* та визначити кількісні показники поширеності певних таксонів [188].

Проведені дослідження з вивчення особливостей формування еубактеріального комплексу за різних систем удобрення пшениці озимої показали що на усіх без виключення варіантах удобрення ідентифіковано представників філ: *Acidobacteria*, *Actinobacteria*, *Armatimonadetes*, *Bacteroidetes*, *Chlamydiae*, *Chlorobi*, *Chloroflexi*, *Cyanobacteria*, *Elusimicrobia*, *Fibrobacteres*, *Firmicutes*, *Gemmatimonadetes*, *Nitrospirae*, *Planctomycetes*, *Proteobacteria*, *Thermi*, *Verrucomicrobia*, а також архейних філ: *Euryarchaeota* та *Crenarchaeota*.

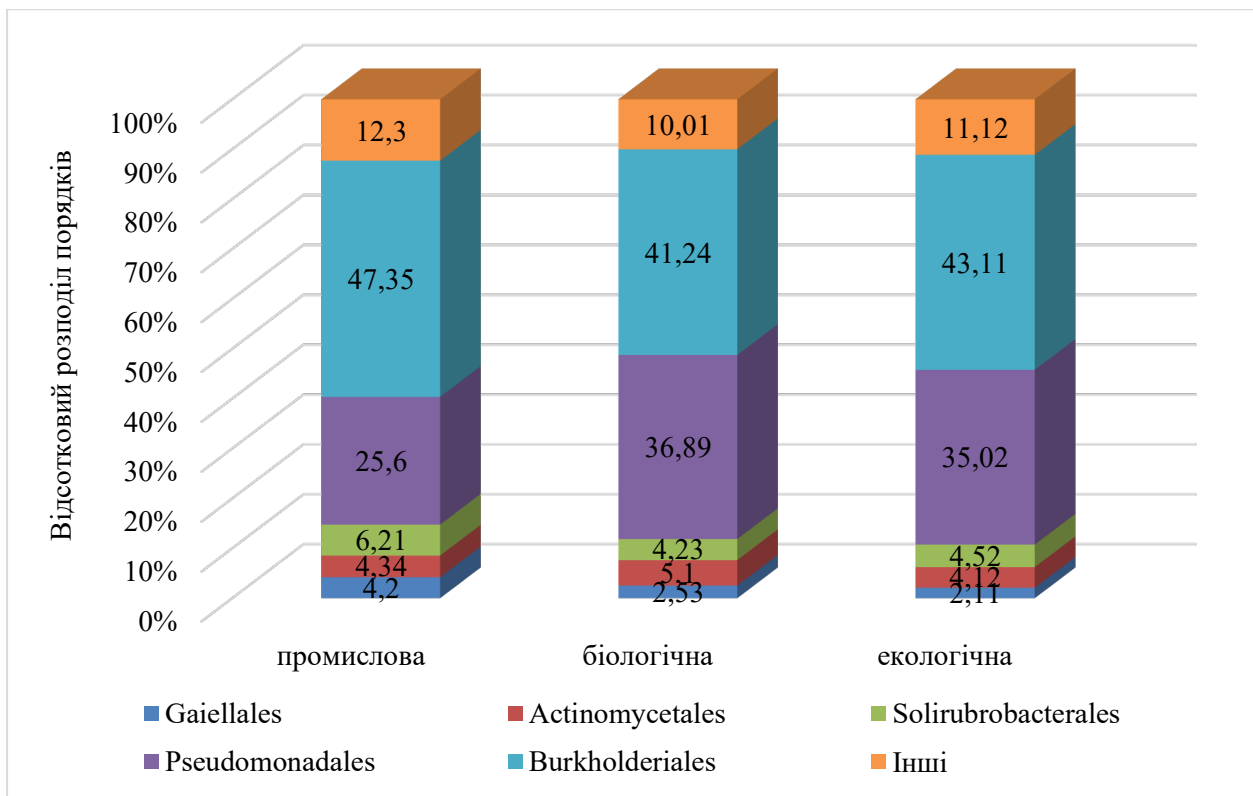
Якщо аналізувати в середньому представленість ідентифікованих філ, то їх чисельність була доволі різною та найбільш поширеними були наступні: *Proteobacteria* – 79,1 %, *Actinobacteria* – 14,0 %, *Gemmatimonadetes* – 1,7 %, *Chloroflexi* – 1,5 %, *Acidobacteria* – 1,1 %, *Firmicutes* – 0,8 %, *Planctomycetes* – 0,3 %, *Verrucomicrobia* – 0,6 %, *Bacteroidetes* – 0,4 %, а частка інших філ становила 0,5 % (рис. 3.1).



**Рис. 3.1. Розподіл основних бактеріальних філ мікробного комплексу ризосфери пшениці озимої за різних систем удобрення**

Застосування різних систем удобрення не впливало на якісний склад мікробіоти ґрунту, але відображалось зміною кількісних характеристики представників різних філ. Так, серед великих філ на варіантах біологічної системи удобрення зростала частка *Proteobacteria* до 80,3 %, а чисельність представників *Actinobacteria* зменшувалась до 12,4 % порівняно з контрольним варіантом, для якого ці показники складали 76,3 та 17,5 % відповідно. Аналогічні результати зростання були відмічені нами і на варіанті екологічної системи удобрення. Отримані нами дані узгоджуються з результатами дослідження Патики М.В., Танчика С.П. та Колодяжного О.Ю. [120].

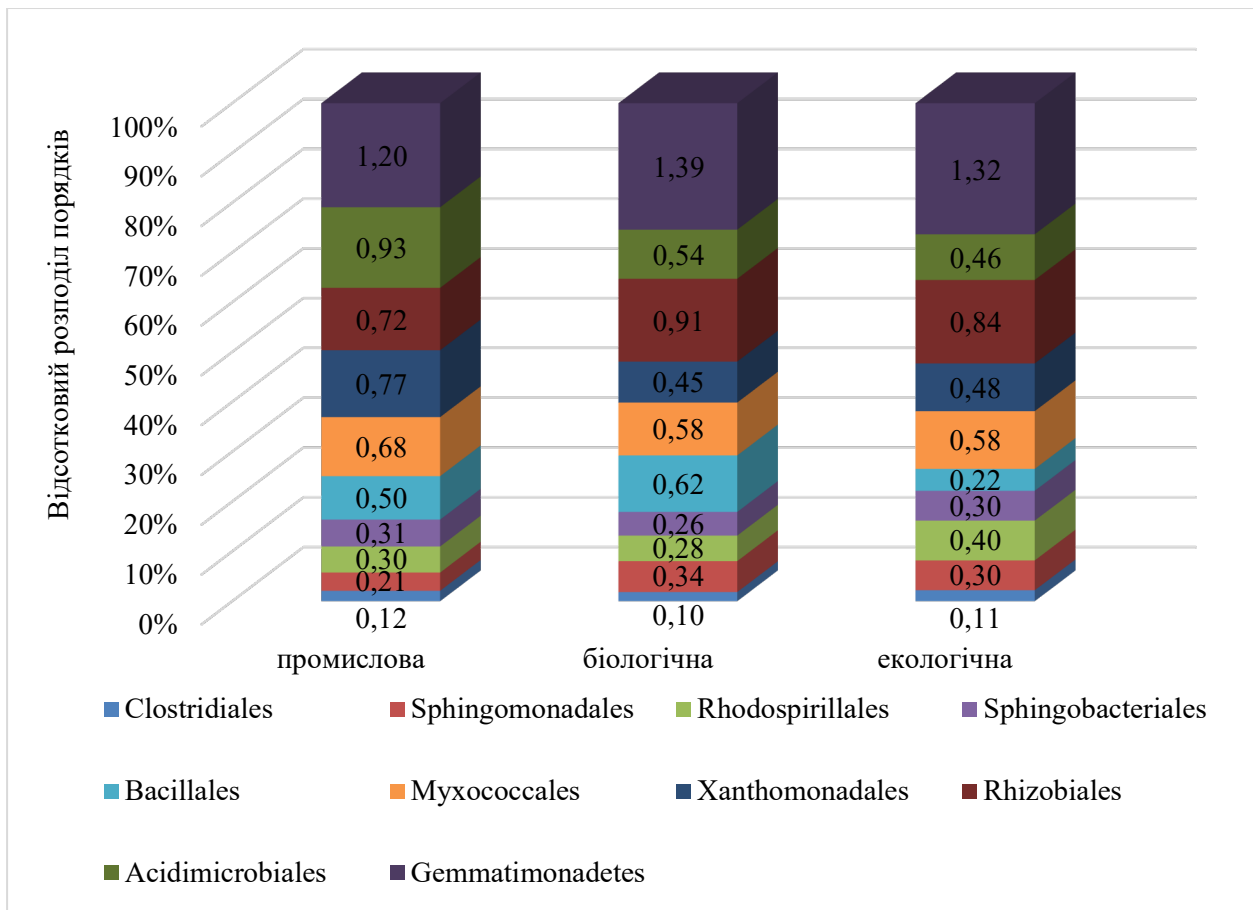
Вивчення метагеному прокариот ризосфери пшениці озимої за різних варіантів удобрення засвідчує домінування таких порядків, як *Burkholderiales* та *Pseudomonadales*. Відмінності в структурі домінуючих порядків залежно від системи удобрення пшениці озимої наведено на рис. 3.2.



**Рис. 3.2. Структура домінуючих порядків прокариот ризосфери пшениці озимої за різних систем удобрення**

Застосування біологічної та екологічної систем удобрення сприяло зростанню чисельності представників порядку *Pseudomonadales* до 36,89 та 35,02 % одночасно зі зниженням чисельності представників порядку *Burkholderiales* до 41,24 % та 43,11 %.

Відмінності в структурі субдомінуючих порядків залежно від системи удобрення пшениці озимої наведено на рис. 3.3.



**Рис. 3.3. Структура субдомінуючих порядків прокариот ризосфери пшениці озимої за різних систем удобрення**

Найбільша чисельність серед субдомінуючих порядків була зареєстрована для представників *Gemmatimonadetes*. Встановлено, що за умови використання біологічної та екологічної систем удобрення чисельність представників даного порядку зростала до 1,39 та 1,32 % відповідно.

Встановлено, що за використання промислової системи удобрення пшениці озимої порівняно з біологічною та екологічними системами частка

представників порядків *Acidimicrobiales*, *Мухососкалі* і *Xanthomonadales* у структурі ґрунтової мікробіоти була вищою. Застосування екологічної та біологічної систем удобрення сприяло зростанню чисельності представників порядку *Rhizobiales*.

Результати вивчення поширеності родин еубактеріального комплексу за різних систем удобрення пшениці озимої наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

**Поширеність родин еубактеріального комплексу за різних систем  
удобрення пшениці озимої, %**

| Родина                      | Промислова | Біологічна | Екологічна |
|-----------------------------|------------|------------|------------|
| <i>Alcaligenaceae</i>       | 45,87      | 38,08      | 41,01      |
| <i>Pseudomonadaceae</i>     | 24,66      | 36,63      | 34,88      |
| <i>Comamonadaceae</i>       | 0,18       | 0,34       | 0,25       |
| <i>Enterobacteriaceae</i>   | 0,24       | 0,41       | 0,18       |
| <i>Gaiellaceae</i>          | 4,07       | 2,34       | 1,95       |
| <i>Geodermatophilaceae</i>  | 0,35       | 0,53       | 0,37       |
| <i>Intrasporangiaceae</i>   | 0,35       | 0,47       | 0,30       |
| <i>Micrococcaceae</i>       | 1,05       | 1,04       | 0,96       |
| <i>Nitrososphaeraceae</i>   | 0,89       | 1,17       | 1,17       |
| <i>Nocardioideaceae</i>     | 1,07       | 1,14       | 0,76       |
| <i>Rhodobiaceae</i>         | 0,31       | 0,27       | 0,39       |
| <i>Solimonadaceae</i>       | 0,21       | 0,15       | 0,08       |
| <i>Solirubrobacteraceae</i> | 6,21       | 3,89       | 4,26       |
| <i>Streptomycetaceae</i>    | 0,70       | 0,66       | 0,63       |
| <i>Xanthomonadaceae</i>     | 0,71       | 0,41       | 0,45       |
| Інші                        | 13,12      | 12,46      | 12,37      |

Встановлено, що на посівах пшениці озимої за застосування різних варіантів удобрення домінуючими виявились такі родини як *Alcaligenaceae* та

*Pseudomonadaceae*. Причому за промислової системи удобрення частка представників родини *Alcaligenaceae* була найбільш високою, а за застосування біологічної та екологічної систем знижувалась, в той час як частка представників родини *Pseudomonadaceae* навпаки зростала.

Окрім того, за застосування промислової системи удобрення пшениці озимої представники родин *Gaiellaceae* та *Solirubrobacteraceae* були максимально поширені, тоді як за біологічної та екологічної систем удобрення їх частка знижувалась.

Загалом в межах родин еубактеріального комплексу такі порядки, як *Clostridiales*, *Sphingomonadales*, *Rhodospirillales*, *Sphingobacteriales*, *Bacillales*, *Mycococcales*, *Acidimicrobiales* та *Gemmatimonadetes* були представлені різними родинками, тому поширеність представників родин була меншою, ніж сукупна поширеність представників порядків.

Встановлено, що за біологічної та екологічної систем удобрення відбувалося зниження чисельності представників *Solimonadaceae*, *Streptomycetaceae* та *Xanthomonadaceae* та зростання кількості представників родин *Comamonadaceae* та *Nitrososphaeraceae*.

За результатами проведених досліджень вираховано індекси різноманіття еубактеріального комплексу за різних систем удобрення пшениці озимої (табл. 3.2).

Таблиця 3.2

**Різнманіття еубактеріального комплексу за різних систем удобрення  
пшениці озимої**

| Система<br>удобрення | Кількість ОТО | Індекс ChaoI | Індекс<br>Шеннона | Індекс Сімсона |
|----------------------|---------------|--------------|-------------------|----------------|
| Промислова           | 274           | 1123,04      | 3,90              | 0,83           |
| Біологічна           | 342           | 1275,63      | 4,82              | 0,88           |
| Екологічна           | 321           | 1207,05      | 4,75              | 0,85           |

Встановлено, що індекс насиченості ChaoI був більше чисельності ідентифікованих операційних таксономічних одиниць (ОТО), та залежно від варіанту досліджуваного перевищував цей показник від 3,7 до 4,1 разів. Такі розбіжності між індексом ChaoI та ОТО засвідчують реально більші рівні біорізноманіття еубактеріального комплексу порівняно з ідентифікованим метагеномом.

Існує думка, що індекс Шеннона надає більшого значення рідкісним видам [43]. У наших дослідженнях встановлено, що найбільше різноманіття прокаріотів за індексом Шеннона було за біологічної системи удобрення – 4,82, а найменше – за промислового варіанту удобрення пшениці озимої. Отже, застосування органічних добрив, порівняно з мінеральними, сприяло формуванню різноманіття бактерій.

### 3.2. Особливості формування еубактеріального комплексу ризосфери сої

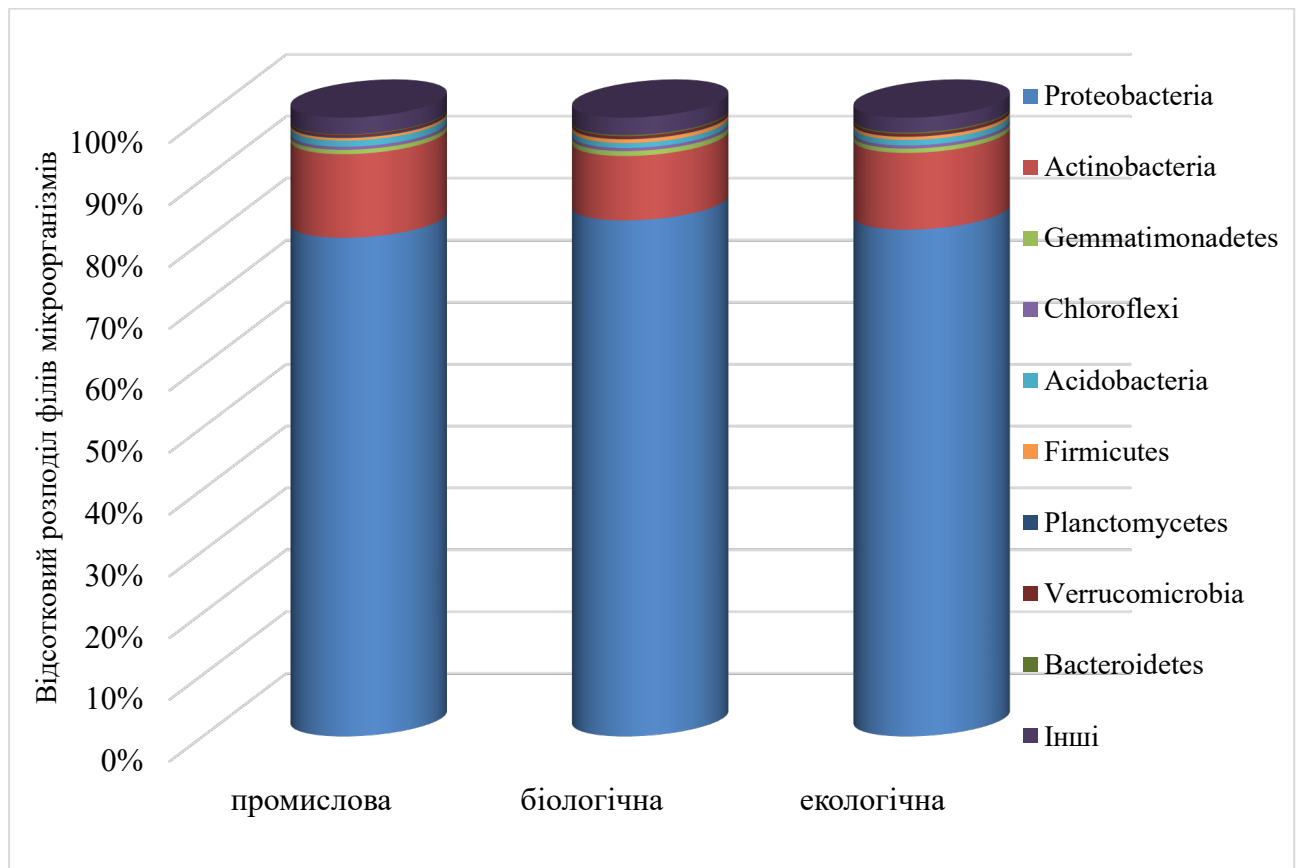
Серед досліджуваних культур сівозміни соя на відміну злаковим та лободовим активно співпрацює з мікробіологічними угрупованнями з точки зору забезпечення симбіотичної азотфіксації. А тому цікаво спостерігти за змінами еубактеріального комплексу ризосфери сої під впливом систем удобрення культури.

За результатами ідентифікації особливостей еубактеріального комплексу сої під впливом різних систем удобрення ідентифіковано представників філ: *Acidobacteria*, *Actinobacteria*, *Bacteroidetes*, *Clostridia*, *Chloroflexi*, *Cyanobacteria*, *Elusimicrobia*, *Firmicutes*, *Gemmatimonadetes*, *Planctomycetes*, *Proteobacteria*, *Verrucomicrobia*, а також архейних філ: *Euryarchaeota* та *Crenarchaeota*.

В середньому ж по досліді представленість ідентифікованих філ та їх чисельність була доволі різною та найбільш поширеними були наступні: *Proteobacteria* – 82,0 %, *Actinobacteria* – 12,1 %, *Acidobacteria* – 0,9 %, *Gemmatimonadetes* – 0,7 %, *Chloroflexi* – 0,5 %, *Firmicutes* – 0,5 %, *Cyanobacteria* – 0,4 %, *Planctomycetes* – 0,3 %, *Elusimicrobia* – 0,2 %, *Bacteroidetes* – 0,1 %, *Verrucomicrobia* – 0,1 %, *Euryarchaeota* – 0,1 %, *Crenarchaeota* – 0,1 %.



*Verrucomicrobia* – 0,4 %, *Bacteroidetes* – 0,2 %, *Planctomycetes* – 0,1 %, а частка інших філ становила 2,6 % (рис. 3.4).

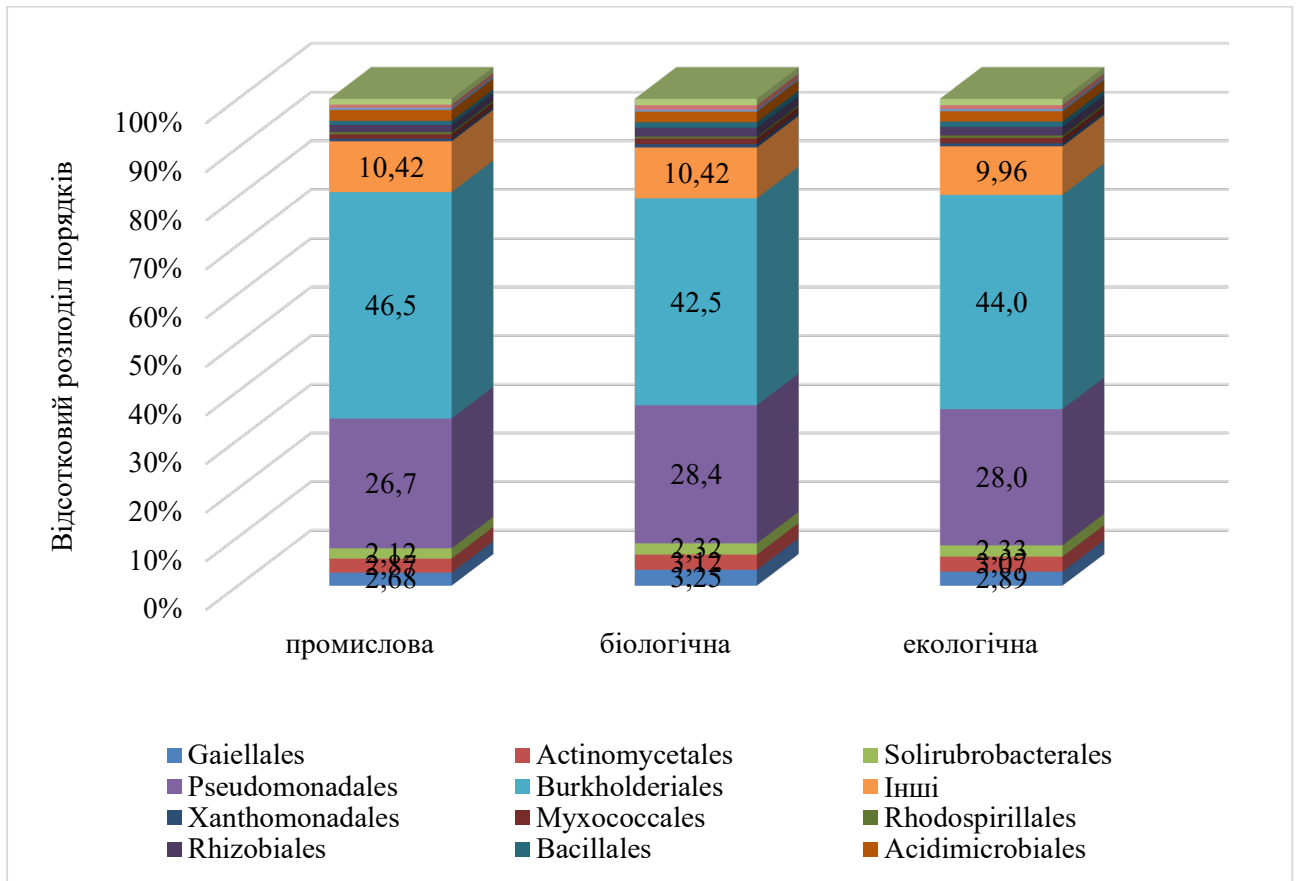


**Рис. 3.4. Розподіл основних бактеріальних філ мікробного комплексу ризосфери сої за різних систем удобрення**

Досліджено що різні системи удобрення не впливали кардинально на якісний склад мікробіоти ґрунту, але відображалися зміною кількісних характеристики представників різних філ. Так, серед великих філ на варіантах біологічної системи удобрення зростала частка *Proteobacteria* до 83,4 %, а чисельність представників *Actinobacteria* зменшувалась до 10,4 % порівняно з контрольним варіантом, для якого ці показники складали 80,6 та 13,5 % відповідно. Аналогічні, хоча дещо менші за величиною відхилення, результати зростання були відмічені нами і на варіанті застосування екологічної системи.

Дані з визначення метагеному прокаріот ризосфери сої за різних варіантів удобрення показали домінування таких порядків, як *Burkholderiales* та

*Pseudomonadales*. Відмінності в структурі домінуючих та субдомінуючих порядків залежно від системи удобрення сої наведено на рис. 3.5.



**Рис. 3.5. Структура домінуючих та субдомінуючих порядків прокариот ризосфери сої за різних систем удобрення**

Встановлено, що за біологічної та екологічної систем удобрення зростала чисельність представників порядку *Pseudomonadales* до 28,4 та 28,0 % одночасно зі зниженням чисельності представників порядку *Burkholderiales* до 42,5 % та 44,0 %. А от найбільше субдомінуючих порядків було серед представників *Actinomycetales*. Встановлено, що за умови використання біологічної та екологічної систем удобрення чисельність представників даного порядку зростала до 3,12 та 3,07 % відповідно.

А от на промисловій системі удобрення сої порівняно з біологічною та екологічними системами частка представників порядків *Acidimicrobiales* у структурі ґрунтової мікробіоти була вищою. Застосування екологічної та

біологічної систем удобрення сприяло зростанню чисельності представників порядку *Gaiellales*, *Solirubrobacterales*, *Xanthomonadales*, *Myxococcales*, *Rhizobiales*, *Bacillales*, *Sphingomonadales* та *Gemmatimonadetes*.

Результати вивчення поширеності родин еубактеріального комплексу за різних систем удобрення сої наведено в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3

**Поширеність родин еубактеріального комплексу за різних систем  
удобрення сої, %**

| Родина                      | Промислова | Біологічна | Екологічна |
|-----------------------------|------------|------------|------------|
| <i>Alcaligenaceae</i>       | 43,25      | 42,10      | 42,58      |
| <i>Pseudomonadaceae</i>     | 33,67      | 35,44      | 33,98      |
| <i>Nitrososphaeraceae</i>   | 2,43       | 2,25       | 2,34       |
| <i>Gaiellaceae</i>          | 2,05       | 2,10       | 2,00       |
| <i>Micrococcaceae</i>       | 1,68       | 1,84       | 1,76       |
| <i>Solirubrobacteraceae</i> | 0,35       | 0,41       | 0,39       |
| <i>Streptomycetaceae</i>    | 6,45       | 7,40       | 7,23       |
| <i>Intrasporangiaceae</i>   | 0,44       | 0,42       | 0,45       |
| <i>Solimonadaceae</i>       | 0,37       | 0,51       | 0,46       |
| <i>Syntrophobacteraceae</i> | 0,52       | 0,34       | 0,46       |
| <i>Xanthomonadaceae</i>     | 0,45       | 0,50       | 0,48       |
| <i>Enterobacteriaceae</i>   | 0,23       | 0,26       | 0,29       |
| <i>Nocardioideaceae</i>     | 0,20       | 0,44       | 0,34       |
| <i>Hyphomicrobiaceae</i>    | 0,40       | 0,68       | 0,49       |
| <i>Phyllobacteriaceae</i>   | 0,76       | 0,89       | 0,84       |
| <i>Brucellaceae</i>         | 0,42       | 0,56       | 0,49       |
| <i>Rhodospirillaceae</i>    | 0,23       | 0,35       | 0,35       |
| <i>Bradyrhizobiaceae</i>    | 0,63       | 0,60       | 0,65       |
| <i>Comamonadaceae</i>       | 0,17       | 0,76       | 0,39       |
| Інші                        | 5,30       | 2,15       | 4,03       |

Встановлено, що на посівах сої за застосування різних варіантів удобрення домінуючими виявились такі родини як *Alcaligenaceae* та *Pseudomonadaceae*. Причому за промислової системи удобрення частка представників родини *Alcaligenaceae* була найбільш високою, а за біологічної та екологічної систем знижувалась, в той час як частка представників родини *Pseudomonadaceae* навпаки зростала.

Встановлено, що за біологічної та екологічної систем удобрення відбувалося зниження чисельності представників *Nitrososphaeraceae* та *Syntrophobacteraceae*, та зростання кількості представників родин *Micrococcaceae*, *Streptomycetaceae*, *Solimonadaceae*, *Nocardoidaceae*, *Hyphomicrobiaceae*, *Rhodospirillaceae*, та *Comamonadaceae*.

За результатами проведених досліджень вираховано індекси різноманіття еубактеріального комплексу за різних систем удобрення сої (табл. 3.4).

Таблиця 3.4

**Різнманіття еубактеріального комплексу за різних систем удобрення сої**

| Система удобрення | Кількість сиквенсів | Кількість ОТО | Індекс ChaoI | Індекс Шеннона |
|-------------------|---------------------|---------------|--------------|----------------|
| Промислова        | 3578                | 219           | 1388,25      | 4,76           |
| Біологічна        | 3695                | 299           | 1525,20      | 5,63           |
| Екологічна        | 3608                | 268           | 1476,48      | 5,27           |

Визначено, що індекс насиченості ChaoI був більше чисельності ідентифікованих операційних таксономічних одиниць (ОТО), та залежно від варіанту дослідження перевищував цей показник від 5,1 до 6,3 разів. Такі розбіжності між індексом ChaoI та ОТО засвідчують значно більші рівні біорізноманіття еубактеріального комплексу порівняно з ідентифікованим метабеномом.

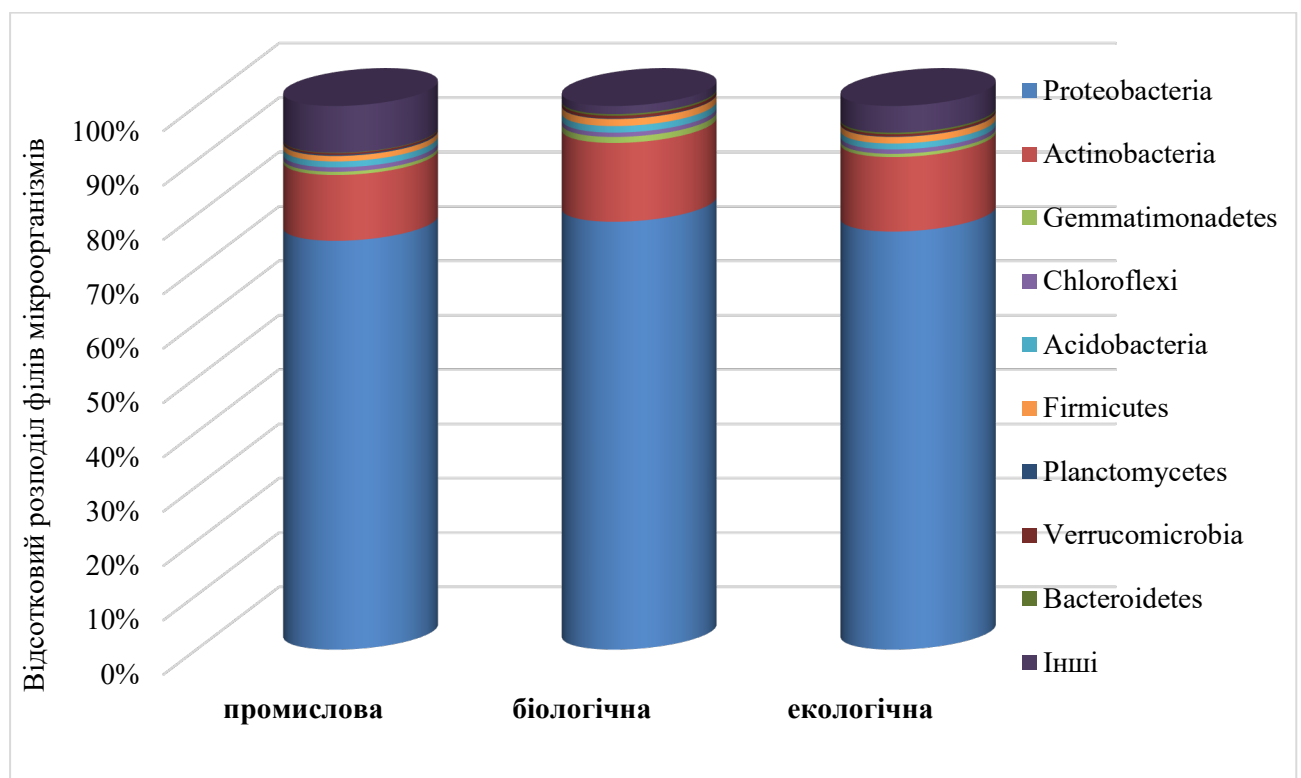
Найбільше різноманіття прокаріотів за індексом Шеннона було за біологічної системи удобрення – 4,82, а найменше – за промислового варіанту

удобрення сої. Отже, використання органічних систем удобрення, порівняно з мінеральними, сприяло формуванню різноманіття бактерій.

### 3.3. Особливості формування еубактеріального комплексу ризосфери цукрових буряків

За вивчення особливостей формування еубактеріального комплексу ризосфери цукрових буряків під впливом різних систем удобрення на усіх варіантах досліді ідентифіковано найбільш поширених представників філ: *Proteobacteria*, *Actinobacteria*, *Gemmatimonadetes*, *Chloroflexi*, *Acidobacteria*, *Firmicutes*, *Planctomycetes*, *Verrucomicrobia*, *Bacteroidetes*.

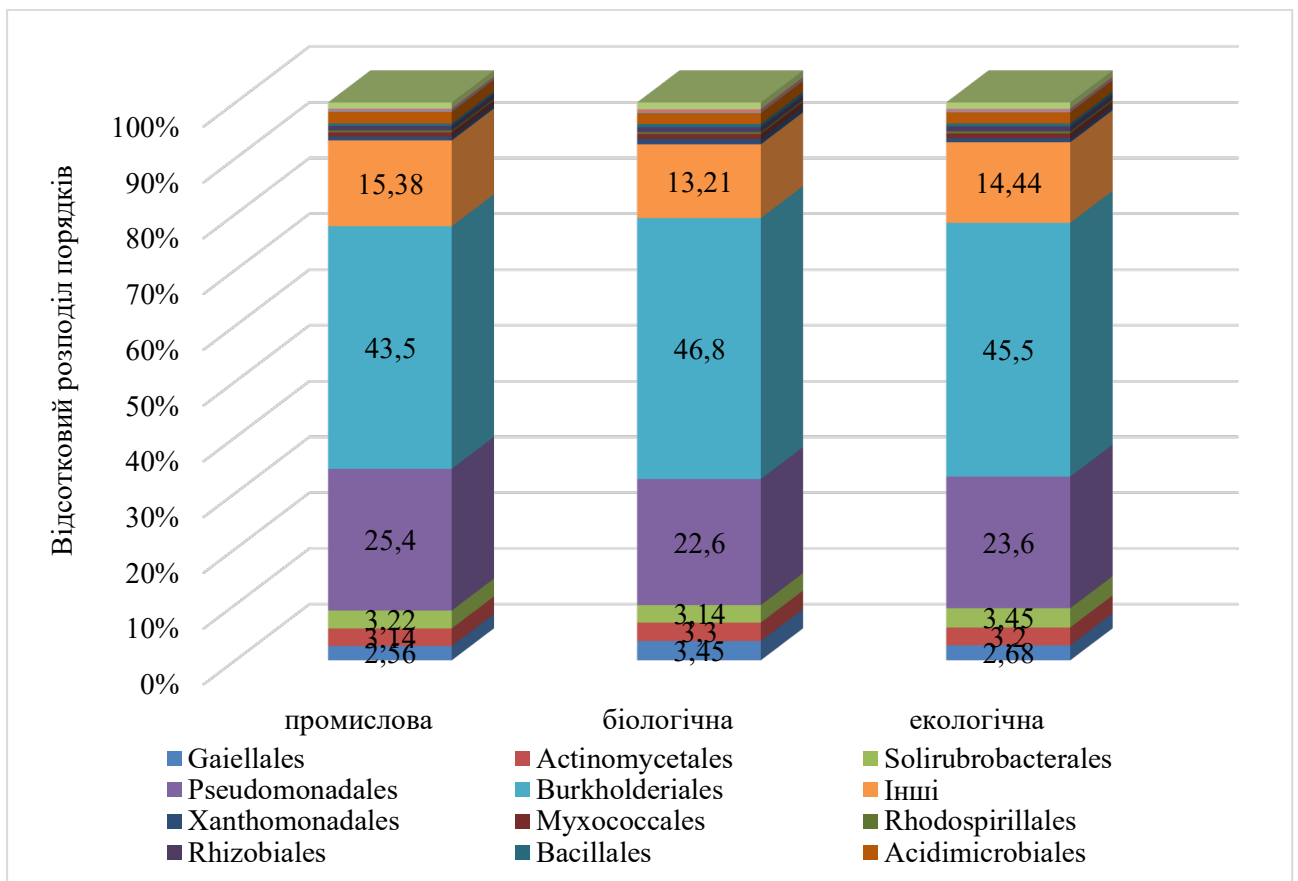
Якщо аналізувати в середньому представленість ідентифікованих філ, то найбільш поширеними були наступні: *Proteobacteria* – 76,9 %, *Actinobacteria* – 13,4 %, *Firmicutes* – 1,2 %, *Acidobacteria* – 1,1 %, *Gemmatimonadetes* – 0,8 % та *Chloroflexi* – 0,8 %, а частка інших філ становила 5,0 % (рис. 3.6).



**Рис. 3.6. Розподіл основних бактеріальних філ мікробного комплексу ризосфери цукрових буряків за різних систем удобрення**

Застосування різних систем удобрення відображалось в зміні співвідношення представників різних філ. Так, серед великих філ на варіантах біологічної системи удобрення зростала частка *Proteobacteria* до 78,7 %, та чисельність представників *Actinobacteria* 14,5 % порівняно з контрольним варіантом, для якого ці показники складали 75,2 та 12,1 % відповідно. Аналогічні результати зростання були відмічені нами і на варіанті екологічної системи удобрення, що ймовірно за все пов'язано з активізацією мікроорганізмів які відповідають за біологічну фіксацію азоту та розклад органічної речовини, що надходить в вигляді рослинних решток.

За дослідження метагеному прокариот ризосфери цукрових буряків за різних варіантів удобрення встановлено домінування таких порядків, як *Burkholderiales* та *Pseudomonadales*. Відмінності в структурі домінуючих та субдомінуючих порядків залежно від системи удобрення цукрових буряків наведено на рис. 3.7.



**Рис. 3.7. Структура домінуючих та субдомінуючих порядків прокариот ризосфери цукрових буряків за різних систем удобрення**

Застосування біологічної та екологічної систем удобрення сприяло зростанню чисельності представників порядку *Burkholderiales* до 46,8 % та 45,5 % одночасно зі зниженням чисельності представників порядку *Pseudomonadales* до 22,6 та 23,6 %.

Загалом же до субдомінантів можна віднести наступні порядки: *Gaiellales*, *Actinomycetales*, *Solirubrobacterales* та *Acidimicrobiales*. Найбільша чисельність серед субдомінуючих порядків була зареєстрована для представників *Solirubrobacterales*.

Також встановлено, що за використання промислової системи удобрення цукрових буряків порівняно з біологічною та екологічними системами частка представників порядків *Acidimicrobiales* та *Clostridiales* у структурі ґрунтової мікробіоти була вищою. Застосування екологічної та біологічної систем удобрення сприяло зростанню чисельності представників порядку *Actinomycetales*, *Xanthomonadales*, *Myxococcales*, *Rhodospirillales*, *Rhizobiales*, *Bacillales*, *Gaiellales* і *Sphingomonadales*.

Результати вивчення поширеності родин еубактеріального комплексу за різних систем удобрення цукрових буряків наведено в таблиці 3.5.

Встановлено, що на посівах цукрових буряків за застосування різних варіантів удобрення домінуючими виявились такі родини як *Alcaligenaceae* та *Pseudomonadaceae*. Причому за промислової системи удобрення частка представників родини *Pseudomonadaceae* була найбільш високою, а за застосування біологічної та екологічної систем знижувалась, в той час як частка представників родини *Alcaligenaceae* навпаки зростала.

Відповідно можна стверджувати, що за біологічної та екологічної систем удобрення відбувалося зниження чисельності представників *Pseudomonadaceae* та *Nitrososphaeraceae* і зростання кількості представників родин *Alcaligenaceae*, *Streptomycetaceae*, *Xanthomonadaceae*, *Enterobacteriaceae*, *Nocardioideaceae*, *Hyphomicrobiaceae* та *Comamonadaceae*.

Таблиця 3.5

**Поширеність родин еубактеріального комплексу за різних систем  
удобрення цукрових буряків, %**

| Родина                      | Промислова | Біологічна | Екологічна |
|-----------------------------|------------|------------|------------|
| <i>Alcaligenaceae</i>       | 41,20      | 45,63      | 42,35      |
| <i>Pseudomonadaceae</i>     | 32,80      | 24,56      | 31,00      |
| <i>Nitrososphaeraceae</i>   | 3,02       | 2,83       | 2,99       |
| <i>Gaiellaceae</i>          | 2,66       | 2,82       | 2,54       |
| <i>Micrococcaceae</i>       | 1,45       | 1,40       | 1,47       |
| <i>Solirubrobacteraceae</i> | 0,91       | 1,29       | 0,84       |
| <i>Streptomycetaceae</i>    | 7,05       | 7,23       | 7,11       |
| <i>Intrasporangiaceae</i>   | 0,63       | 0,60       | 0,65       |
| <i>Solimonadaceae</i>       | 0,42       | 0,61       | 0,33       |
| <i>Syntrophobacteraceae</i> | 0,40       | 0,58       | 0,24       |
| <i>Xanthomonadaceae</i>     | 0,51       | 0,68       | 0,53       |
| <i>Enterobacteriaceae</i>   | 0,31       | 0,43       | 0,35       |
| <i>Nocardioideae</i>        | 0,28       | 0,64       | 0,55       |
| <i>Hyphomicrobiaceae</i>    | 0,25       | 0,58       | 0,39       |
| <i>Comamonadaceae</i>       | 0,17       | 0,76       | 0,39       |
| Інші                        | 8,11       | 10,12      | 8,66       |

Значний відсоток інших родин мікроорганізмів з незначною відсотковою поширеністю порівняно з представленими в таблиці родинами за біологічної системи удобрення засвідчує важливість вкладу даного типу удобрення в збереження біорізноманіття ґрунтів.

За результатами проведених досліджень вираховано індекси різноманіття еубактеріального комплексу за різних систем удобрення цукрових буряків (табл. 3.6).



Таблиця 3.6

**Різноманіття еубактеріального комплексу за різних систем удобрення  
цукрових буряків**

| Система<br>удобрення | Кількість<br>сиквенсів | Кількість ОТО | Індекс ChaoI | Індекс<br>Шеннона |
|----------------------|------------------------|---------------|--------------|-------------------|
| Промислова           | 3308                   | 189           | 1167,34      | 4,11              |
| Біологічна           | 3425                   | 224           | 1304,23      | 4,98              |
| Екологічна           | 3447                   | 205           | 1248,66      | 4,43              |

Визначено, що індекс насиченості ChaoI був більше чисельності ідентифікованих операційних таксономічних одиниць (ОТО), та залежно від варіанту досліджу перевищував цей показник від 5,82 до 6,18 разів. Ідентифіковані розбіжності між індексом ChaoI та ОТО засвідчують реально більші рівні біорізноманіття еубактеріального комплексу порівняно з ідентифікованим метагеномом. Найбільше різноманіття прокаріотів за індексом Шеннона було за біологічної системи удобрення – 4,98, а найменше – за промислового варіанту удобрення цукрових буряків. Отже, застосування органічних добрив, порівняно з мінеральними, сприяло формуванню різноманіття бактерій.

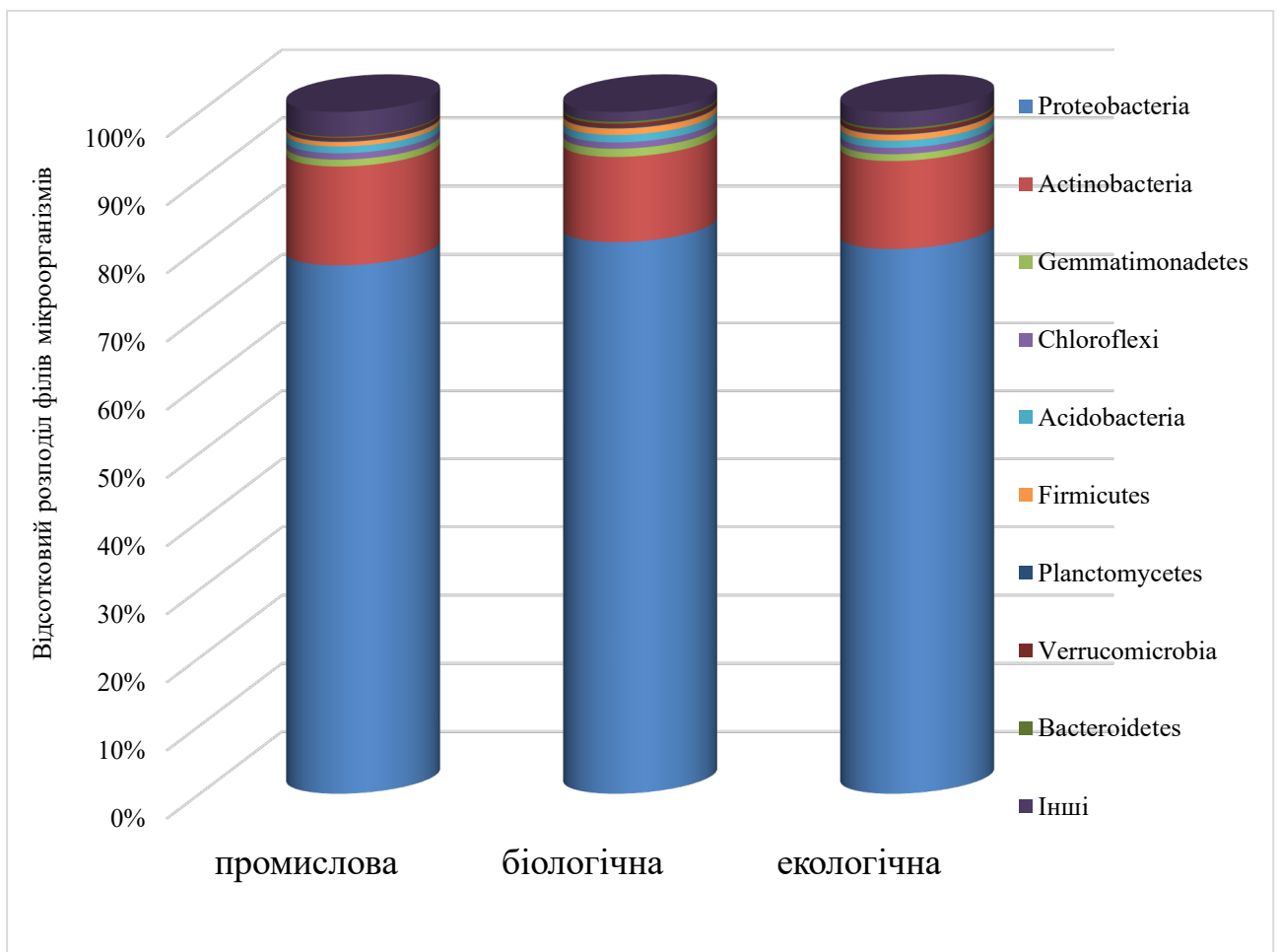
**3.4. Особливості формування еубактеріального комплексу ризосфери  
кукурудзи**

Кукурудза доволі поширена культура сучасного сільського господарства, яка потребує значного застосування удобрення, менше чим цукрові буряки, але більше інших культур сівозміни. А тому цікава з точки вивчення особливостей формування еубактеріального комплексу ризосфери під впливом систем удобрення.

За результатами виконаних досліджень встановлено особливості формування еубактеріального комплексу за впливу різних систем удобрення кукурудзи. Так, визначено що на усіх варіантах удобрення переважно присутні

представники філ: *Proteobacteria*, *Actinobacteria*, *Gemmatimonadetes*, *Chloroflexi*, *Acidobacteria*, *Firmicutes*, *Planctomycetes*, *Verrucomicrobia*, *Bacteroidetes*.

Якщо розглядати в середньому закономірності представленості ідентифікованих нами філ, то їх чисельність була доволі різною та найбільш поширеними були наступні: *Proteobacteria* – 79,4 %, *Actinobacteria* – 13,3 %, *Gemmatimonadetes* – 1,1%, *Acidobacteria* – 1,1 %, *Chloroflexi* – 0,9 %, *Firmicutes* – 0,8 %, *Verrucomicrobia* – 0,5 %, а відсоткова частка поширеності інших філ становила 2,5 % (рис. 3.9).

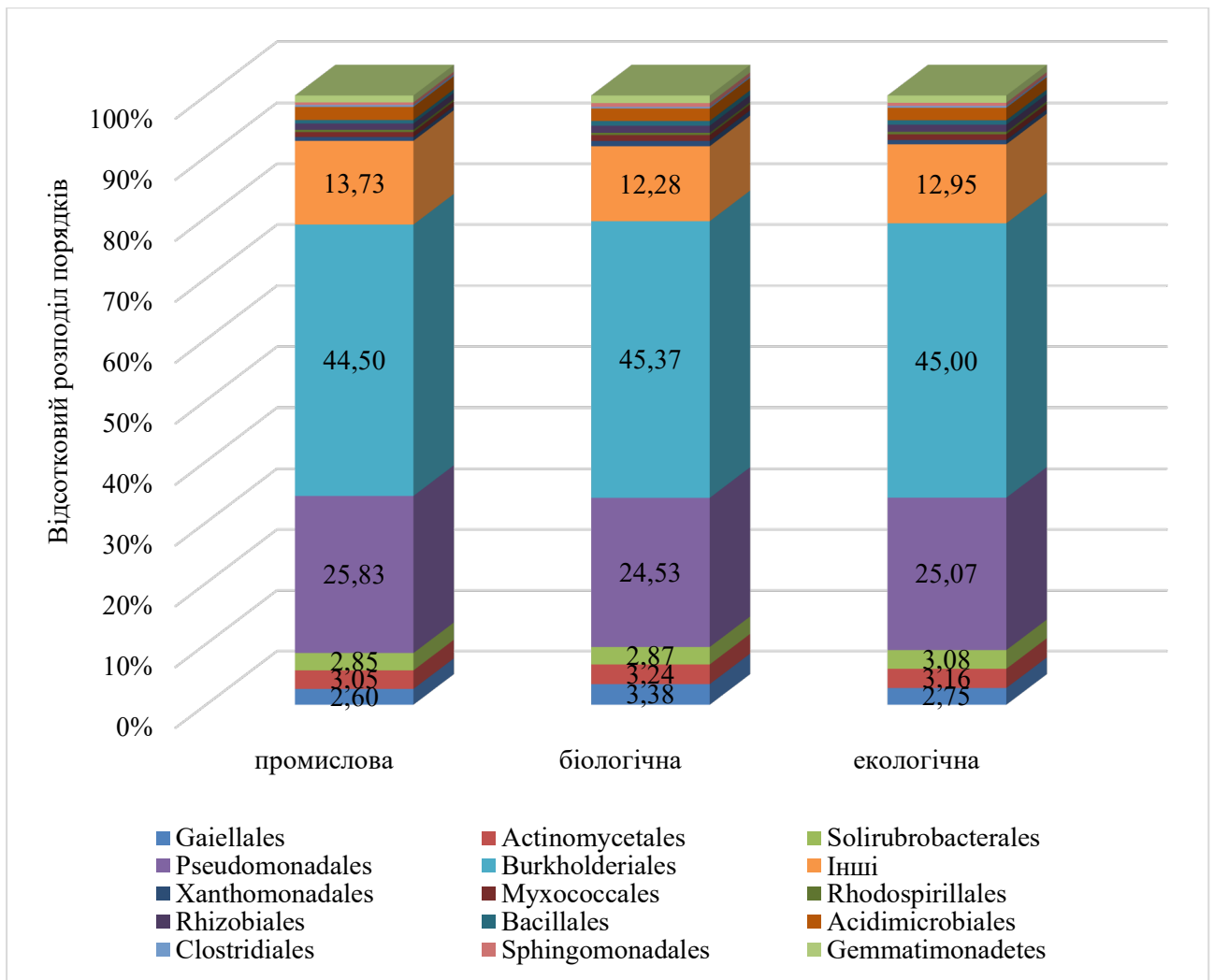


**Рис. 3.8. Розподіл основних бактеріальних філ мікробного комплексу ризосфери кукурудзи за різних систем удобрення**

Аналогічно іншим досліджуванам нами культурам встановлено, що застосування різних систем удобрення не впливало суттєво на перерозподіл якісного складу мікробіоти ґрунту, але відображалося зміною чисельності

представників різних філ. Так, серед великих філ на варіантах біологічної системи удобрення зростала частка *Proteobacteria* до 80,9 %, а чисельність представників *Actinobacteria* зменшувалась до 12,5 % порівняно з контрольним варіантом, для якого ці показники склали 77,5 та 14,5 % відповідно.

Також вивчення метагеному прокаріот ризосфери кукурудзи за різних варіантів удобрення показало по аналогії з іншими досліджуваними культурами домінування таких порядків, як *Burkholderiales* та *Pseudomonadales*. Основні відмінності в структурі домінуючих та субдомінуючих порядків залежно від системи удобрення пшениці озимої наведено на рис. 3.9.



**Рис. 3.9. Структура домінуючих та субдомінуючих порядків прокаріот ризосфери кукурудзи за різних систем удобрення**

Отже, досліджено, що за біологічної та екологічної систем удобрення відбувалось збільшення чисельності порядку *Burkholderiales* до 45,37 та 45,00 % одночасно зі зниженням чисельності представників порядку *Pseudomonadales* до 24,53 % та 25,07 % відповідно.

Відповідно найбільша представлені субдомінуючими порядками були представників *Actinomycetales*. Так, за умови біологічної та екологічної систем удобрення чисельність представників даного порядку зростала до 3,24 та 3,16 % відповідно.

Встановлено, що за використання промислової системи удобрення кукурудзи порівняно з біологічною та екологічними системами частка представників порядків *Acidimicrobiales* та *Clostridiales* у структурі ґрунтової мікробіоти була вищою. Застосування екологічної та біологічної систем удобрення сприяло зростанню чисельності представників порядку *Gaiellales*, *Actinomycetales*, *Solirubrobacterales*, *Xanthomonadales*, *Myxococcales*, *Rhizobiales*, *Bacillales*, *Sphingomonadales* та *Gemmatimonadetes*.

Дані з дослідження особливостей поширеності родин еубактеріального комплексу за різних систем удобрення кукурудзи наведено в таблиці 3.7.

За результатами проведених аналізів встановлено, що на посівах кукурудзи за різних варіантів удобрення домінуючими виявились такі родини як *Alcaligenaceae* та *Pseudomonadaceae*, що відповідало дослідженням по інших культурах сівозміни. Так, за промислової системи удобрення частка представників родини *Pseudomonadaceae* набувала максимальних значень порівняно з іншими варіантами удобрення, а за застосування біологічної та екологічної систем знижувалась, в той час як частка представників родини *Alcaligenaceae* навпаки зростала.

Також можна стверджувати, що на варіантах застосування промислової системи удобрення кукурудзи представники родин *Nitrososphaeraceae* були максимально поширені, тоді як за біологічної та екологічної систем удобрення їх частка знижувалась.

Таблиця 3.7

**Поширеність родин еубактеріального комплексу за різних систем  
удобрення кукурудзи, %**

| Родина                      | Промислова | Біологічна | Екологічна |
|-----------------------------|------------|------------|------------|
| <i>Alcaligenaceae</i>       | 41,88      | 44,45      | 42,43      |
| <i>Pseudomonadaceae</i>     | 33,09      | 28,19      | 31,99      |
| <i>Nitrososphaeraceae</i>   | 2,82       | 2,64       | 2,77       |
| <i>Gaiellaceae</i>          | 2,46       | 2,58       | 2,36       |
| <i>Micrococcaceae</i>       | 1,53       | 1,55       | 1,57       |
| <i>Solirubrobacteraceae</i> | 0,72       | 1,00       | 0,69       |
| <i>Streptomycetaceae</i>    | 6,85       | 7,29       | 7,15       |
| <i>Intrasporangiaceae</i>   | 0,57       | 0,54       | 0,58       |
| <i>Solimonadaceae</i>       | 0,40       | 0,58       | 0,37       |
| <i>Syntrophobacteraceae</i> | 0,44       | 0,50       | 0,31       |
| <i>Xanthomonadaceae</i>     | 0,49       | 0,62       | 0,51       |
| <i>Enterobacteriaceae</i>   | 0,28       | 0,37       | 0,33       |
| <i>Nocardioideaceae</i>     | 0,25       | 0,57       | 0,48       |
| <i>Hyphomicrobiaceae</i>    | 0,30       | 0,61       | 0,42       |
| <i>Comamonadaceae</i>       | 0,37       | 0,80       | 0,54       |
| <i>Phyllobacteriaceae</i>   | 0,08       | 0,12       | 0,10       |
| <i>Brucellaceae</i>         | 0,23       | 0,34       | 0,32       |
| <i>Rhodospirillaceae</i>    | 0,14       | 0,18       | 0,18       |
| Інші                        | 7,09       | 7,07       | 6,88       |

Досліджено, що за біологічної та екологічної систем удобрення відбувалося зниження чисельності представників *Nitrososphaeraceae*, *Streptomycetaceae* та *Xanthomonadaceae* та зростання кількості представників родин *Gaiellaceae*, *Micrococcaceae*, *Streptomycetaceae*, *Enterobacteriaceae*, *Nocardioideaceae*,

*Hyphomicrobiaceae*, *Comamonadaceae*, *Phyllobacteriaceae*, *Brucellaceae* та *Rhodospirillaceae*.

За результатами проведених досліджень вираховано індекси різноманіття еубактеріального комплексу за різних систем удобрення кукурудзи (табл. 3.8).

Таблиця 3.8

**Різнманіття еубактеріального комплексу за різних систем удобрення кукурудзи**

| Система удобрення | Кількість сиквенсів | Кількість ОТО | Індекс ChaoI | Індекс Шеннона |
|-------------------|---------------------|---------------|--------------|----------------|
| Промислова        | 3475                | 216           | 1216,64      | 4,30           |
| Біологічна        | 3544                | 268           | 1355,78      | 4,74           |
| Екологічна        | 3386                | 236           | 1285,06      | 4,49           |

Встановлено, що індекс насиченості ChaoI був більше чисельності ідентифікованих операційних таксономічних одиниць (ОТО), та залежно від варіанту досліду перевищував цей показник від 5,06 до 6,11 разів. Такі розбіжності між індексом ChaoI та ОТО засвідчують реально більші рівні біорізноманіття еубактеріального комплексу порівняно з ідентифікованим метагеномом.

За результатами проведених розрахунків встановлено, що найбільше різноманіття прокаріотів за індексом Шеннона було за біологічної системи удобрення – 4,74, а найменше – за промислового варіанту удобрення кукурудзи. Отже, застосування органічних добрив, порівняно з мінеральними, сприяло формуванню різноманіття бактерій.

### Висновки за розділом 3:

Визначено, що основу еубактеріального комплексу озимої пшениці складали представники філ *Acidobacteria*, *Actinobacteria*, *Armatimonadetes*, *Bacteroidetes*, *Chlamydiae*, *Chlorobi*, *Chloroflexi*, *Cyanobacteria*, *Elusimicrobia*, *Fibrobacteres*, *Firmicutes*, *Gemmatimonadetes*, *Nitrospirae*, *Planctomycetes*, *Proteobacteria*, *Thermi*, *Verrucomicrobia*, а також архейних філ: *Euryarchaeota* та *Crenarchaeota*. Абсолютними домінантами були представники бактеріальних філ *Proteobacteria* – 79,1 %, *Actinobacteria* – 14,0 %. При цьому в агроценозі пшениці озимої за різних систем удобрення переважне поширення мали представники родин *Alcaligenaceae*, *Pseudomonadaceae*, *Comamonadaceae*, *Enterobacteriaceae*, *Gaiellaceae*, *Geodermatophilaceae*, *Intrasporangiaceae*, *Micrococcaceae*, *Nitrososphaeraceae*, *Nocardioidaceae*, *Rhodobiaceae*, *Solimonadaceae*, *Solirubrobacteraceae*, *Streptomycetaceae*, *Xanthomonadaceae*. А от за біологічної системи удобрення супроводжується збільшенням видового різноманіття мікробіоти ґрунту за рахунок філ *Acidobacteria*, *Actinobacteria*, *Bacteroidetes*, *Firmicutes*, *Proteobacteria*, *Verrucomicrobia*, а застосування екологічної системи удобрення - за рахунок таких філ, як *Actinobacteria*, *Bacteroidetes*, *Firmicutes* та *Proteobacteria*.

Досліджено, що еубактеріальний комплекс сої в середньому по досліді представлений такими філами: *Proteobacteria* – 82,0 %, *Actinobacteria* – 12,1 %, *Acidobacteria* – 0,9 %, *Gemmatimonadetes* – 0,7 %, *Chloroflexi* – 0,5 %, *Firmicutes* – 0,5 %, *Verrucomicrobia* – 0,4 %, *Bacteroidetes* – 0,2 %, *Planctomycetes* – 0,1 %, а частка інших філ становила 2,6 %.

Встановлено, що основу еубактеріального комплексу буряків цукрових складали представники філ *Proteobacteria*, *Actinobacteria*, *Gemmatimonadetes*, *Chloroflexi*, *Acidobacteria*, *Firmicutes*, *Planctomycetes*, *Verrucomicrobia*, *Bacteroidetes*. Абсолютними домінантами були представники бактеріальних філ *Proteobacteria* – 76,9 %, *Actinobacteria* – 13,4 %. В агроценозі буряків цукрових

за різних систем удобрення переважне поширення мали представники родин *Alcaligenaceae*, *Pseudomonadaceae*, *Nitrososphaeraceae*, *Gaiellaceae*, *Micrococcaceae*, *Solirubrobacteraceae*, *Streptomycetaceae*, *Intrasporangiaceae*, *Solimonadaceae*, *Syntrophobacteraceae*, *Xanthomonadaceae*, *Enterobacteriaceae*, *Nocardiodaceae*, *Hyphomicrobiaceae*, *Comamonadaceae*. А от застосування біологічної системи удобрення супроводжується збільшенням видового різноманіття мікробіоти ґрунту за рахунок філ: *Alcaligenaceae*, *Gaiellaceae*, *Solirubrobacteraceae*, *Streptomycetaceae*, *Solimonadaceae*, *Syntrophobacteraceae*, *Xanthomonadaceae*, *Enterobacteriaceae*, *Nocardiodaceae*, *Hyphomicrobiaceae*, *Hyphomicrobiaceae* а от екологічної системи удобрення - за рахунок таких філ як: *Alcaligenaceae*, *Micrococcaceae*, *Streptomycetaceae*, *Intrasporangiaceae*, *Nocardiodaceae*, *Hyphomicrobiaceae* та *Hyphomicrobiaceae*.

Встановлено, що за використання промислової системи удобрення кукурудзи порівняно з біологічною та екологічними системами частка представників порядків *Acidimicrobiales* та *Clostridiales* у структурі ґрунтової мікробіоти була вищою. Застосування екологічної та біологічної систем удобрення сприяло зростанню чисельності представників порядку *Gaiellales*, *Actinomycetales*, *Solirubrobacterales*, *Xanthomonadales*, *Myxococcales*, *Rhizobiales*, *Bacillales*, *Sphingomonadales* та *Gemmatimonadetes*.



## РОЗДІЛ 4

### **ЧИСЕЛЬНІСТЬ МІКРООРГАНІЗМІВ ТА СПРЯМОВАНІСТЬ МІКРОБНИХ ПРОЦЕСІВ ЗА РІЗНИХ СИСТЕМ УДОБРЕННЯ**

Мікроорганізми ґрунту є одним з важливих факторів агробіоценозів. Адже ріст та розвиток сільськогосподарських рослин невідривно пов'язаний не тільки з елементами технології вирощування їх а першочергово з взаємодією з ґрунтом та біотою ґрунту. А тому процеси формування родючості ґрунту є основою сталого та безпечного розвитку сільськогосподарської галузі взагалі. А це значить що лише вивчення і виявлення особливостей функціонування мікробних ценозів дозволяє сформуванати уявлення про усі компоненти агроценозу [99].

Варто відмітити, що чисельність мікробних популяцій у ґрунті визначається не тільки сезонними коливаннями едафічних факторів (вміст елементів живлення, температура ґрунту, наявність доступної вологи, тощо), а й від вирощуваних сільськогосподарських культур [116].

Зважаючи на відмінності ґрунтової мікрофлори в розрізі ланки короткоротаційних сівозмін ми проаналізували зміни що відбувались за різних систем удобрення в часі – в процесі ротації сівозміни по культурах окремо.

#### **4.1. Чисельність мікроорганізмів та спрямованість мікробних процесів за вирощування сої з різними варіантами удобрення**

Як показали результати обліку агрономічно корисних груп мікроорганізмів, їх чисельність змінювалась залежно від системи удобрення досліджуваних нами сільськогосподарських культур. Встановлено, що використання елементів біологізації удобрення за вирощування сої обумовлювало зростання чисельності мікрофлори, задіяної в циклі біотрансформації органічної речовини (табл. 4.1).

Аналіз розвитку мікроорганізмів ґрунту в динаміці впродовж вегетації сої дозволяє нам відмітити, що максимальна їх чисельність спостерігалась в фазу побуріння бобів, як таку що є найбільш фізіологічно активною з точки зору особливостей росту та розвитку культури. Також варто наголосити на тому що

отримані закономірності збільшення чисельності мікроорганізмів саме у цей проміжок часу визначаються оптимальними значеннями гідротермічних умов, а особливо наявністю доступної вологи в ґрунті. Адже в фазу бутонізації водоспоживання та поглинання елементів живлення з ґрунту в рослин сої максимальні порівняно щодо фази побуріння бобів.

Таблиця 4.1.

**Динаміка чисельності ґрунтових мікроорганізмів в агрофітогеоценозах сої за різних систем удобрення, середнє за 2016-2019 рр.**

| Етапи<br>вегетації<br>сої | Мікроорганізми        | Чисельність мікроорганізмів, млн. КУО/г<br>ґрунту |            |            |                     |
|---------------------------|-----------------------|---|------------|------------|---------------------|
|                           |                       | Система удобрення                                 |            |            | НІР <sub>0,05</sub> |
|                           |                       | промислова  | екологічна | біологічна |                     |
| Сходи                     | Амоніфікувальні (МПА) | 3,77  | 5,25       | 4,64       | 0,23                |
|                           | Амілолітичні (КАА)    | 5,73  | 4,36       | 2,80       | 0,41                |
|                           | Педотрофні (ПА)       | 4,73  | 5,39       | 6,73       | 0,38                |
|                           | Оліготрофні (ГА)      | 6,06  | 5,99       | 7,32       | 0,40                |
|                           | Мікроміцети*          | 19,72   | 21,20      | 26,24      | 0,87                |
| Бутонізація               | Амоніфікувальні (МПА) | 5,15  | 8,35       | 7,41       | 0,41                |
|                           | Амілолітичні (КАА)    | 7,07  | 6,04       | 5,23       | 0,39                |
|                           | Педотрофні (ПА)       | 8,51  | 13,16      | 14,84      | 0,43                |
|                           | Оліготрофні (ГА)      | 5,22  | 4,53       | 3,86       | 0,51                |
|                           | Мікроміцети*          | 34,31   | 40,41      | 50,01      | 0,92                |
| Побуріння<br>бобів        | Амоніфікувальні (МПА) | 8,39  | 8,01       | 8,79       | 0,32                |
|                           | Амілолітичні (КАА)    | 13,02   | 11,16      | 8,70       | 0,87                |
|                           | Педотрофні (ПА)       | 6,70  | 9,35       | 9,51       | 0,55                |
|                           | Оліготрофні (ГА)      | 7,92  | 6,75       | 4,19       | 0,63                |
|                           | Мікроміцети*          | 36,94   | 49,96      | 55,9       | 0,94                |

\*чисельність  $10^3$

Перебіг процесів в ґрунті характеризується передусім активністю та кількістю амоніфікаторів, що мінералізують органічні речовини ґрунту. Так, порівняно з максимально хімізованою промисловою системою удобрення на варіантах дослідів що передбачав застосування екологічної та біологічної систем удобрення чисельність колоній амоніфікуючих мікроорганізмів зростала на 39,3 та 23,1 %. А от в фазу бутонізації сої чисельність амоніфікуючих мікроорганізмів зросла на 62,1 % та 43,9 % порівняно з промисловою системою удобрення сої.

За роки проведення досліджень найвища чисельність популяцій мікроорганізмів, що використовують органічний азот була сформована за обмеження або ж відмови від застосування засобів хімізації втілених у екологічній та біологічній системі удобрення та у фазу побуріння бобів складала 8,35 та 7,41, тоді як за промислової системи – 5,15 млн. КУО/г ґрунту. Інтенсивність розвитку амоніфікаторів забезпечувалась за рахунок високого вмісту легкогідролізованих органічних речовин.

В той же час варто відмітити те що в фазу побуріння бобів чисельність амоніфікуючих мікроорганізмів за екологічної системи удобрення була мінімальною в досліді (8,01) порівняно з іншими варіантами систем удобрення. Що на нашу думку пов'язано з комбінованою системою живлення, адже легкогідролізовані органічні речовини в значній мірі були використані рослинами сої для росту та розвитку.

Загалом же, результатами наших досліджень, підтверджено попередньо встановлені закономірності висвітлені в працях Малиновської І. М. [92], що активне застосування добрив спричиняє зростання чисельності амоніфікуючих, амілолітичних та педотрофних бактерій (табл. 4.1).

Так, дослідженнями Малиновська І. М., Ткаченко М. А., Сачок В. Г., Скуміна М. О. встановлено, що внесення органічного удобрення за одночасного застосування мінеральних добрив та вапнування сприяє зростанню чисельності мікроорганізмів наступних еколого-трофічних груп: амоніфікаторів – на 11,8 %, іммобілізаторів мінерального азоту – на 114,6 %, олігонітрофілів – 210,6 %,

целюлозоруйнівних – 10,8 %, полісахаридсинтезувальних – 52,8 %, автохтонних – 52,0 %, кислотоутворювальних – на 51,7 % [94].

Застосування мінеральних добрив суттєво посилило розвиток мікроорганізмів що використовують азот мінеральних сполук. Так, встановлено, що за застосування біологічної системи удобрення в ґрунті був представлений мікробний ценоз збіднений видами, здатними утилізувати мінеральні сполуки азоту. Адже по суті амілолітичні мікроорганізми гостро реагують на дефіцит мінерального азоту, що в свою чергу сприяє меншій концентрації вмісту нітратного та амонійного азоту в ґрунтовому середовищі.

Так, встановлено, що за екологічної системи удобрення сої чисельність амілолітичних мікроорганізмів в фазу сходів культури була меншою на 23,9 %, в фазу бутонізації на 14,6 та в фазу побуріння бобів на 14,3 % порівняно з промисловою системою удобрення. Аналогічні результати були отримані нами за застосування біологічної системи удобрення, так на відповідних варіантах мікроорганізмів що засвоюють азот мінеральних сполук було на 51,1, 26,0 та 33,2 % менше чим на контролі. Фактично дана система удобрення повністю виключала застосування мінеральних добрив, що й призвело до значних відмінностей в чисельності амілолітичних мікроорганізмів.

Як відомо, найбільш сприятливі умови для розмноження та функціонування педотрофних мікроорганізмів складаються в випадку наявності достатньої кількості органічних добрив. А отже, в процесі вивчення закономірностей формування мікроорганізмів в агрофітоценозах сої нами було встановлено, що численна перевага бактерій даної еколого-трофічної групи була за екологічного та біологічного варіантів удобрення. Так, в фазу сходів сої на даних системах удобрення педотрофних мікроорганізмів було на 14,0 та 42,3 % більше чим на промисловій системі удобрення, а в фазу бутонізації на 54,6 та 74,4 %, а в фазу побуріння бобів – 39,6 та 41,9 % відповідно.

Водночас варто зазначити що чисельність педотрофних мікроорганізмів в фазу сходів була мінімальною по всіх варіантах удобрення, а от в фазу бутонізації – максимальна, а в фазу побуріння бобів сої мікробна обнасіненість

суттєво зменшувалась та складала 6,70-9,51 КУО/г ґрунту. Такі закономірності розвитку мікробіоти пов'язані на початку вегетаційного періоду з незначними запасами ґрунтової вологи, що обмежувала розвиток мікроорганізмів особливо сильно в окремі роки проведення досліджень. А от наприкінці вегетації культури зменшення чисельності педотрофних мікроорганізмів викликане збідненням вмісту органічної речовини, яка для них виступає субстратним джерелом живлення та енергії.

Чисельність оліготрофів визначається біологічними особливостями даної групи мікроорганізмів. Так, відомо що вони інтенсивно розвиваються на збіднених ґрунтах, що обумовлено їх трофічною специфічністю та відсутністю конкуренції, та спроможні існувати в умовах нестачі джерел енергії та живлення. А отже оліготрофні мікроорганізми виступають своєрідними індикаторами нестачі легкодоступних елементів живлення, адже вони задовольняють свої трофічні потреби мікрокількостями поживних речовин.

А тому чисельність оліготрофних мікроорганізмів найвищою була при застосуванні промислової системи удобрення. Виявлені закономірності свідчать про вичерпання запасів легкодоступних поживних елементів та посилення гуміфікаційних процесів.

Дані отримані Грицаєнко З.М., Голодрига О.В. підкреслюють значення мікроскопічних грибів в процесах ґрунтоутворення та кругообігу азоту. Адже вони є учасниками амоніфікації та синтезу біологічно активних речовин: антибіотиків, амінокислот, полісахаридів, ферментів, вітамінів [36]. Також відомо що загальна чисельність мікроміцетів залежить від вологості ґрунту та забезпеченості поживними речовинами [93].

Аналіз експериментальних даних з визначення загальної кількості мікроскопічних грибів показав, що у досліджуваному нами ґрунті загалом міститься значна чисельність мікроміцетів (19,72-55,9 тис. КУО/ г. ґрунту). На варіантах застосування екологічної та біологічної систем удобрення рослин сої їх чисельність максимальна порівняно з промисловою системою. Такі закономірності можна пояснити наявністю в ґрунті рослинних решток з високим вмістом клітковини, що і стимулює активізацію розвитку грибної мікрофлори.

Дослідженнями багатьох вчених доведено що вищі рослини активно впливають на мікробіоту агроценозів за рахунок в першу чергу корневих виділень, а бобові культури ще й симбіозу. Так, кореневі виділення є для мікроорганізмів джерелом енергії, що сприяє їх розвитку та накопиченню в ризосфері та ризоплані [94].

Основна кількість ризосферних бактерій належить до гетеротрофів, що потребують легкодоступних органічних сполук вуглеводів, амінокислот тощо. А тому ще в працях Hirte W.F. доведено що доступна органіка в ґрунті сильніше впливає на розвиток мікрофлори а ніж тип ґрунту [171].

А тому важливим фактором який характеризує особливості впливу мікроорганізмів на ріст та розвиток рослин сої є їх чисельність в ризосфері. Дані визначення основних агрономічно корисних груп мікроорганізмів залежно від фаз розвитку культури та систем удобрення наведено в таблиці 4.2.

В рослин сої на час проростання утворюються гіпокотильні корені та відбувається винесення сім'ядолей на поверхню ґрунту. А тому ризосфери, як такої, на час сходів сої немає. Тому відповідно ми не ідентифікували мікроорганізми навколо гіпокотильного корінця сої, адже основні поживні речовини перебувають в сім'ядолях, а культура за доволі короткий проміжок часу не змогла сформувати мікрофлору відмінну від загальної мікрофлори ґрунту.

Хочеться наголосити на тому що вивчення динамічних змін ризосферної мікрофлори сої є важливим питанням, так як її коренева система характеризується високою фізіологічною активністю не тільки з точки зору симбіотичної азотфіксації а й здатності до співіснування з ґрунтоживучими мікроорганізмами. На основі проведених досліджень можна стверджувати що в ґрунті прикореневої зони спостерігалось суттєве зростання чисельного складу мікробіоти та її активності (табл. 4.2).

Загалом нами встановлено що щільність мікробних клітин в одиниці об'єму ризосферного ґрунту сої була вищою стосовно усіх досліджуваних еколого-трофічних угруповань та закономірно зберігалось в динамці вегетації.

Таблиця 4.2.

**Динаміка чисельності ґрунтових мікроорганізмів в ризосфері сої за різних систем удобрення, середнє за 2016-2019 рр.**

| Етапи вегетації сої | Мікроорганізми        | Чисельність мікроорганізмів, млн. КУО/г ґрунту |            |            |                     |
|---------------------|-----------------------|--|------------|------------|---------------------|
|                     |                       | Система удобрення                              |            |            | НІР <sub>0,05</sub> |
|                     |                       | промислова                                     | екологічна | біологічна |                     |
| Сходи               | Амоніфікувальні (МПА) | -  | -          | -          | -                   |
|                     | Амілолітичні (КАА)    | -  | -          | -          | -                   |
|                     | Педотрофні (ПА)       | -  | -          | -          | -                   |
|                     | Оліготрофні (ГА)      | -  | -          | -          | -                   |
|                     | Мікроміцети*          | -  | -          | -          | -                   |
| Бутонізація         | Амоніфікувальні (МПА) | 15,00  | 27,20      | 15,90      | 0,44                |
|                     | Амілолітичні (КАА)    | 28,00  | 21,90      | 18,90      | 0,75                |
|                     | Педотрофні (ПА)       | 20,10  | 25,80      | 28,30      | 0,64                |
|                     | Оліготрофні (ГА)      | 28,20  | 22,00      | 18,40      | 0,39                |
|                     | Мікроміцети*          | 22,11  | 57,80      | 44,10      | 0,78                |
| Побуріння бобів     | Амоніфікувальні (МПА) | 12,80  | 19,90      | 15,90      | 0,47                |
|                     | Амілолітичні (КАА)    | 26,00  | 27,70      | 13,10      | 0,53                |
|                     | Педотрофні (ПА)       | 24,00  | 29,20      | 25,90      | 0,55                |
|                     | Оліготрофні (ГА)      | 9,70   | 3,39       | 3,20       | 0,48                |
|                     | Мікроміцети*          | 45,72  | 66,20      | 71,24      | 0,93                |

\*чисельність 10<sup>3</sup>

Так, встановлено що на варіантах досліді екологічної та біологічної систем удобрення чисельність колоній амоніфікуючих мікроорганізмів зростала на 81,3 та 6,0 %, а в фазу бутонізації відповідно на 55,5 % та 24,2 % порівняно з

промисловою системою удобрення сої. Така інтенсивність розвитку амоніфікаторів забезпечувалась за рахунок високого вмісту легкогідролізованих органічних речовин.

Встановлено, що за екологічної системи удобрення сої чисельність амілолітичних мікроорганізмів в фазу бутонізації сої була меншою на 21,8 % порівняно з промисловою системою удобрення, а за біологічної системи удобрення в фазу бутонізації на 32,5, та в фазу побуріння бобів на 49,6 % менше чим на контролі.

Досліджено що максимальна чисельність педотрофних мікроорганізмів в ризосфері сої спостерігалась за екологічного та біологічного варіантів удобрення. Так, в фазу бутонізації за даних систем удобрення педотрофних мікроорганізмів було на 28,4 та 40,8 % більше чим на промисловій системі удобрення, а в фазу побуріння бобів на 21,7 та 7,9 % відповідно.

Встановлено що чисельність оліготрофних мікроорганізмів найвищою була при застосуванні промислової системи удобрення, що свідчить про обмеженість запасів легкодоступних елементів живлення та посилення гуміфікаційних процесів.

Аналогічно до вмісту мікрміцетів в ґрунті в ризосфері сої на варіантах екологічної та біологічної систем удобрення їх чисельність була максимальною порівняно з промисловою системою. Так, в фазу бутонізації сої на екологічній системі мікрміцетів було на 161,4 а на біологічній на 99,5 % вище контролю, а в фазу побуріння бобів відповідно на 44,8 та 55,8 %.

До неспорівих бактерій ґрунту належать різноманітні мікроорганізми родів: *Pseudomonas*, *Arthrobacter*, *Cytophaga*, *Mycobacterium*, що мінералізують в ґрунті рослинні рештки, целюлозу та можуть виступати в ролі патогенів рослин.

Дані динаміка чисельності неспорової мікрофлори ґрунту в агрофітоценозах та ризосфері сої за різних систем удобрення наведена в таблиці 4.3.

Неспорові бактерії доволі нестійка група ґрунтової мікрофлори, а тому зазвичай в ризосфері вони розвиваються більш активніше, адже коренева система рослини покращує умови настільки, що допомагає неспоровим



бактеріям вижити у складних екологічних умовах. А тому за результатами досліджень спостерігалось переважання чисельності неспорових мікроорганізмів в ризосфері сої за різних систем удобрення. Загалом максимальна чисельність неспорових мікроорганізмів спостерігалась в ризосфері сої в фазу побуріння рослин за екологічної та біологічної системи удобрення, що на 18,3 та 26,1 % вище показників контрольного варіанту.

Таблиця 4.3

**Динаміка чисельності неспорової мікрофлори ґрунту в агрофітоценозах та ризосфері сої за різних систем удобрення, млн. КУО в 1 г ґрунту, 2016-2019р.**

| Етапи вегетації культури | Система удобрення |           |            |           |            |           |
|--------------------------|-------------------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|
|                          | промислова        |           | екологічна |           | біологічна |           |
|                          | ґрунт             | ризосфера | ґрунт      | ризосфера | ґрунт      | ризосфера |
| Сходи                    | 0,42              | -         | 0,40       | -         | 0,43       | -         |
| Бутонізація              | 2,21              | 7,53      | 6,21       | 12,60     | 3,61       | 5,72      |
| Побуріння бобів          | 7,38              | 11,50     | 2,21       | 13,60     | 5,02       | 14,50     |
| НІР <sub>0,05</sub>      | 0,14              | 0,69      | 0,12       | 0,43      | 0,10       | 0,82      |

Мікробіологічні коефіцієнти дозволяють узагальнити процеси що відбуваються в ґрунті та показати їх спрямованість. Так, високі значення коефіцієнта мінералізації-імобілізації азоту свідчать про переважання процесів деструкції органічної речовини над синтезом. Зниження коефіцієнта педотрофності свідчить про зменшення активності розкладання органічної речовини ґрунту, зокрема гумусу. А коефіцієнт оліготрофності вказує на зниження вмісту в ґрунті доступних поживних речовин.

Дані мікробіологічних коефіцієнтів інтенсивності протікання ґрунтово-біологічних процесів в агрофітогеоценозах сої за різних систем удобрення наведено в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4

**Мікробіологічні коефіцієнти інтенсивності протікання ґрунтово-біологічних процесів в агрофітогеоценозах сої за різних систем удобрення, 2016-2019 рр.**

| Мікробіологічні<br>коефіцієнти                    | Система удобрення        |             |                 |            |             |                 |            |             |                 |
|---|--------------------------|-------------|-----------------|------------|-------------|-----------------|------------|-------------|-----------------|
|   | промислова<br>(контроль) |             |                 | екологічна |             |                 | біологічна |             |                 |
|   | етапи вегетації культури |             |                 |            |             |                 |            |             |                 |
|   | сходи                    | бутонізація | побуріння бобів | сходи      | бутонізація | побуріння бобів | сходи      | бутонізація | побуріння бобів |
| Мінералізації-<br>імобілізації азоту<br>(КАА/МПА) | 1,52                     | 1,37        | 1,55            | 0,83       | 0,72        | 1,39            | 0,60       | 0,71        | 0,99            |
| Педотрофності<br>(ПА/МПА)                         | 1,25                     | 1,65        | 0,80            | 1,03       | 1,58        | 1,17            | 1,45       | 2,00        | 1,08            |
| Оліготрофності<br>(ГА/МПА)                        | 1,61                     | 1,01        | 0,94            | 1,14       | 0,54        | 0,84            | 1,58       | 0,52        | 0,48            |

Отже, за результатами аналізу отриманих коефіцієнтів мінералізації-імобілізації, оліготрофності та педотрофності можна визначити спрямованість мікробіологічних процесів у ґрунті за різних систем удобрення сої.

Високі значення коефіцієнту мінералізації-імобілізації азоту (1,37-1,55) свідчить про переважання процесів деструкції органічної речовини над синтезом у варіанті промислової системи удобрення за усіх досліджуваних фаз розвитку рослин сої. У варіанті екологічної системи удобрення показники коефіцієнту були значно нижчими (0,72-0,83) і лише в фазу побуріння бобів спостерігалась деструкція органічної речовини (1,39). А от за застосування біологічної системи удобрення показники коефіцієнту мінералізації-імобілізації азоту були найнижчим (0,60-0,99), що свідчить про зрівноваження процесів мінералізації та імобілізації.

Підвищення величини коефіцієнту педотрофності свідчить про збільшення інтенсивності розкладу органічної речовини ґрунту, зокрема гумусових сполук. За застосування промислової системи удобрення показники коефіцієнту педотрофності були доволі високими в фазу сходів та бутонізації (1,25 та 1,65) і лише в фазу побуріння бобів його параметри були меншими одиниці (0,80).

За використання екологічної та біологічної систем удобрення впродовж онтогенезу сої показники коефіцієнту педотрофності становили 1,03-2,00, з максимумом в період активного споживання поживних речовин рослинами – фаза бутонізації.

Максимальні значення коефіцієнту педотрофності по досліді були зафіксовані на варіанті біологічної системи удобрення в фазу бутонізації рослин – 2,00. Якщо ж більш детально розглядати закономірності зміни даного показника, то підвищення його значення свідчить про збільшення інтенсивності розкладу органічної речовини ґрунту, однак біологічна система удобрення базується виключно на органічному добриві. А отже, в даному випадку коефіцієнт педотрофності свідчить про активне розкладання мікроорганізмами органічних добрив внесених в ґрунт для забезпечення потреб рослин в елементах живлення.

Високі значення коефіцієнту оліготрофності вказують на зниження вмісту в ґрунті поживних речовин. Варто відмітити, що в фазу сходів параметри даного коефіцієнту перебували в межах 1,14-1,61 по всіх варіантах систем удобрення сої. Аналіз погодних умов початку вегетаційного періоду років проведення досліджень показує нам дефіцит вологи в ґрунті на час проростання сої. А отже, навіть за умови застосування мінеральних елементів живлення вони могли бути недоступними як рослинам так і мікроорганізмам за рахунок нестачі вологи ґрунту.

Показники коефіцієнту оліготрофності екологічної та біологічної систем удобрення на етапах бутонізації та побуріння бобів (0,52-0,84) свідчать про хорошу забезпеченість ґрунтової мікробіоти легкозасвоюваними органічними

речовинами, та формування оптимальних умов для функціонування ґрунтового мікробного комплексу.

Відповідно до того як мікробні угруповання в ризосфері сої відрізнялись від агрофітогеоценозу взагалі варто провести поглиблене вивчення питання формування мікробіологічних коефіцієнтів інтенсивності протікання ґрунтово-біологічних процесів в ризосфері сої за різних систем удобрення (табл. 4.5).

Таблиця 4.5

**Мікробіологічні коефіцієнти інтенсивності протікання ґрунтово-біологічних процесів в ризосфері сої за різних систем удобрення, 2016-2019 рр.**

| Мікробіологічні<br>коефіцієнти                    | Системи удобрення        |                    |             |                    |             |                    |
|---|--------------------------|--------------------|-------------|--------------------|-------------|--------------------|
|   | промислова<br>(контроль) |                    | екологічна  |                    | біологічна  |                    |
|   | етапи вегетації культури |                    |             |                    |             |                    |
|   | бутонізація              | побуріння<br>бобів | бутонізація | побуріння<br>бобів | бутонізація | побуріння<br>бобів |
| Мінералізації-<br>імобілізації азоту<br>(КАА/МПА) | 1,87                     | 2,03               | 0,81        | 1,39               | 1,19        | 0,82               |
| Педотрофності<br>(ПА/МПА)                         | 1,34                     | 1,88               | 0,95        | 1,47               | 1,78        | 1,63               |
| Оліготрофності<br>(ГА/МПА)                        | 1,88                     | 0,76               | 0,81        | 0,17               | 1,16        | 0,20               |

По аналогії з показниками коефіцієнту мінералізації-імобілізації азоту в ґрунті в ризосфері сої у варіанті промислової системи удобрення нами було отримано високі значення цього коефіцієнту (1,87-2,03) свідчить про переважання процесів деструкції органічної речовини над синтезом за усіх досліджуваних фаз розвитку рослин сої. У варіанті екологічної системи удобрення переважання процесів деструкції над синтезом спостерігалось лише в фазу побуріння бобів, а за біологічної системи удобрення – в фазу бутонізації (1,19).

Показники коефіцієнту педотрофності були високими в зоні ризосфери сої в фазу бутонізації на промисловій та біологічній системах (1,34 та 1,78), а в фазу бутонізації по усіх системах удобрення.

Встановлено, що відповідно до коефіцієнту оліготрофності в фазу бутонізації рослин сої добре забезпечення легкозасвоюваними органічними речовинами було в екологічній системі удобрення (0,81). А от в фазу побуріння бобів в промислової, екологічній та біологічній системі удобрення спостерігалась хороша забезпеченість ґрунтової мікробіоти легкозасвоюваними органічними речовинами. Встановлені закономірності відповідають фізіологічним вимогам рослин сої, адже в фазу побуріння бобів потреба в елементах живлення набагато менша а ніж в фазу бутонізації.

#### **4.2. Чисельність мікроорганізмів та спрямованість мікробних процесів ґрунту за вирощування пшениці озимої**

В короткоротаційній сівозміні за чергування культур: соя –пшениця озима – буряки цукрові – кукурудза якраз соя виступає попередником озимої пшениці та відповідним чином впливає на розвиток цієї культури як через післяжнивні рештки так і формування відповідного мікробного режиму ґрунту.

Проведені дослідження з вивчення основних еколого-трофічних груп мікроорганізмів за вирощування пшениці озимої показали, що на час початку виходу в трубку ґрунт був більш збагачений мікроорганізмами порівняно з попередньою культурою. Це в тому числі можна пояснити не тільки впливом попередника, а й осінніми закономірностями розвитку пшениці озимої, адже на час весняного відновлення вегетації рослини мали фізіологічно активну кореневу систему та більш активніше взаємодіяли з мікробіотою ґрунту а ніж пізні ярі культури.

Відповідно впродовж вегетації пшениці озимої чисельність основних груп мікроорганізмів зростала, набуваючи максимуму у фазу молочно-воскової стиглості. Такі особливості розвитку ґрунтових мікроорганізмів на нашу думку

пов'язані з ранніми строками її досягання та збирання (липень), та власне активним відновленням мікробіоти за рахунок взаємодій з кореневою системою з ранньої весни.

Таблиця 4.6

**Динаміка чисельності ґрунтових мікроорганізмів в агрофітогеоценозах  
пшениці озимої за різних систем удобрення, 2016-2019 рр.**

| Етапи<br>вегетації<br>пшениці<br>озимої | Мікроорганізми        | Чисельність мікроорганізмів, млн. КУО/г<br>ґрунту |            |            |                     |
|---|-----------------------|---|------------|------------|---------------------|
|   |                       | Система удобрення                                 |            |            | НІР <sub>0,05</sub> |
|   |                       | промислова  | екологічна | біологічна |                     |
| Початок<br>виходу в<br>трубку           | Амоніфікувальні (МПА) | 4,93  | 5,20       | 5,90       | 0,20                |
|   | Амілолітичні (КАА)    | 5,81  | 3,75       | 4,78       | 0,24                |
|   | Педотрофні (ПА)       | 4,72  | 5,18       | 5,45       | 0,23                |
|   | Оліготрофні (ГА)      | 9,26  | 6,22       | 8,15       | 0,41                |
|   | Мікроміцети*          | 23,70   | 30,64      | 26,43      | 1,10                |
| Колосіння                               | Амоніфікувальні (МПА) | 7,90  | 11,06      | 11,51      | 0,31                |
|   | Амілолітичні (КАА)    | 7,01  | 6,77       | 6,80       | 0,24                |
|   | Педотрофні (ПА)       | 6,83  | 7,03       | 7,92       | 0,34                |
|   | Оліготрофні (ГА)      | 7,92  | 4,97       | 5,30       | 0,32                |
|   | Мікроміцети*          | 34,30   | 36,43      | 38,50      | 1,18                |
| Молочно-<br>воскова<br>стиглість        | Амоніфікувальні (МПА) | 4,94  | 5,06       | 7,34       | 0,27                |
|   | Амілолітичні (КАА)    | 15,89   | 13,74      | 10,82      | 0,73                |
|   | Педотрофні (ПА)       | 12,27   | 13,44      | 15,34      | 0,65                |
|   | Оліготрофні (ГА)      | 11,24   | 12,87      | 13,22      | 1,88                |
|   | Мікроміцети*          | 43,22   | 53,00      | 49,84      | 1,23                |

\*чисельність 10<sup>3</sup>

В той час як пізні ярі культури повільно взаємодіють з мікробіотою ґрунту на початку своєї вегетації та максимум мікробної активності ґрунту приходить на липень-серпень – період активного розвитку цих культур. А от період

достигання їх припадає уже на вересень – коли мікробіологічні процеси ґрунту зменшуються в силу впливу природніх умов.

На час початку виходу в трубку величина кількісного складу амоніфікуючих мікроорганізмів порівняно з промисловою системою удобрення на варіантах досліді екологічної та біологічної систем удобрення зростала на 5,5 та 19,7 %, а от в фазу колосіння чисельність амоніфікуючих мікроорганізмів зросла на 40,0 % та 45,7 % порівняно з промисловою системою удобрення.

А от в фазу молочно-воскової стиглості чисельність амоніфікуючих мікроорганізмів за промислової системи удобрення була мінімальною в досліді порівняно з іншими варіантами систем удобрення. Що на нашу думку пов'язано з вичерпанням запасів доступного рослинам мінерального азоту, що відповідним чином відобразилось і на закономірностях розвитку мікроорганізмів.

Відповідно за внесення мінеральних добрив активізувався розвиток мікроорганізмів що використовують азот мінеральних сполук. Так, за екологічної системи чисельність амілолітичних мікроорганізмів в фазу початку виходу в трубку була меншою на 35,5 %, в фазу колосіння на 3,4 та в фазу молочно-воскової стиглості на 13,5 % порівняно з промисловою системою. Аналогічні результати були отримані нами за біологічної системи удобрення.

Досліджено, що перевага педотрофних мікроорганізмів була за екологічного та біологічного варіантів удобрення. Так, в фазу виходу в трубку їх було на 9,7 та 15,5 % більше чим на промисловій системі, а в фазу колосіння на 2,9 та 16,0 %, та молочно-воскової стиглості 9,5 та 25,0 % відповідно.

Дослідженнями встановлено, що чисельність оліготрофних мікроорганізмів була вищою при застосуванні промислової системи удобрення в фазу початку виходу в трубку та колосіння. А от в фазу молочно-воскової стиглості чисельність оліготрофних мікроорганізмів зростала в тому числі і на варіантах екологічної та біологічної систем удобрення.

Аналіз загальної кількості мікроскопічних грибів показав, що на варіантах екологічної та біологічної систем удобрення їх чисельність була вищою порівняно з промисловою системою по всіх фазах розвитку пшениці озимої.

Більш повно охарактеризувати особливості впливу мікроорганізмів на ріст та розвиток рослин пшениці озимої можна визначивши їх чисельність в ризосфері. Так, показники основних агрономічно корисних груп мікроорганізмів залежно від фаз розвитку культури та систем удобрення наведено в таблиці 4.7.

Таблиця 4.7

**Динаміка чисельності ґрунтових мікроорганізмів в ризосфері пшениці озимої за різних систем удобрення, середнє за 2016-2019 рр.**

| Етапи<br>вегетації<br>пшениці<br>озимої | Мікроорганізми        | Чисельність мікроорганізмів, млн. КУО/г ґрунту |            |            |                     |
|---|-----------------------|--|------------|------------|---------------------|
|   |                       | Система удобрення                              |            |            | НІР <sub>0,05</sub> |
|   |                       | промислова                                     | екологічна | біологічна |                     |
| Початок<br>виходу в<br>трубку           | Амоніфікувальні (МПА) | 6,44   | 8,43       | 9,51       | 0,26                |
|   | Амілолітичні (КАА)    | 7,52   | 7,30       | 7,21       | 0,21                |
|   | Педотрофні (ПА)       | 6,23   | 8,44       | 9,83       | 0,25                |
|   | Оліготрофні (ГА)      | 8,92   | 8,12       | 8,82       | 0,24                |
|   | Мікроміцети*          | 14,20  | 19,76      | 19,80      | 1,12                |
| Колосіння                               | Амоніфікувальні (МПА) | 10,64  | 12,03      | 13,12      | 1,14                |
|   | Амілолітичні (КАА)    | 10,82  | 9,56       | 9,43       | 1,05                |
|   | Педотрофні (ПА)       | 16,84  | 19,22      | 18,82      | 1,42                |
|   | Оліготрофні (ГА)      | 9,03   | 8,32       | 10,63      | 0,34                |
|   | Мікроміцети*          | 26,35  | 35,64      | 37,74      | 1,58                |
| Молочно-<br>воскова<br>стиглість        | Амоніфікувальні (МПА) | 12,47  | 14,45      | 15,85      | 1,24                |
|   | Амілолітичні (КАА)    | 27,54  | 20,65      | 16,87      | 1,53                |
|   | Педотрофні (ПА)       | 19,89  | 27,59      | 28,18      | 1,05                |
|   | Оліготрофні (ГА)      | 16,00  | 13,02      | 14,07      | 1,18                |
|   | Мікроміцети*          | 40,81  | 46,02      | 45,92      | 1,90                |

\*чисельність 10<sup>3</sup>

В цілому якщо аналізувати результати вивчення мікроорганізмів в одиниці об'єму ризосферного ґрунту, то щільність мікробних клітин була вищою на усіх еколого-трофічних угрупованнях мікроорганізмів.



За застосування екологічної та біологічної систем удобрення в фазу початку виходу в трубку чисельність амоніфікуючих мікроорганізмів зросла на 30,9 та 47,7 %, а в фазу колосіння відповідно була вищою на 13,1 % та 23,3 %, а в фазу молочно-воскової стиглості на 15,9 та 27,1 % порівняно з промисловою системою удобрення.

Відповідно досліджено, що за екологічної системи удобрення пшениці озимої чисельність амілолітичних мікроорганізмів в фазу колосіння пшениці озимої була меншою на 11,6 % порівняно з промисловою системою удобрення, а за біологічної системи удобрення на 25,0, та в фазу молочно воскової стиглості відповідно на 12,8 та 38,7 % менше чим на контрольному варіанті.

А от чисельність педотрофних мікроорганізмів в ризосфері пшениці озимої навпаки була визначена як максимальна за екологічного та біологічного варіантів її удобрення. Так, в фазу початку виходу в трубку за цих систем удобрення педотрофних мікроорганізмів було на 35,5 % та 57,8 % більше чим на промисловій системі, в фазу колосіння на 14,1 % та 11,8 %, а в фазу молочно-воскової стиглості на 38,7 % та 41,7 % відповідно.

В той же час, аналогічно даним чисельності мікроорганізмів в ґрунті чисельність оліготрофних мікроорганізмів в ризосфері пшениці озимої була найвищою при застосуванні промислової системи удобрення.

Вивчення чисельності мікроміцетів в ризосфері пшениці озимої підпадає під аналогічні закономірності з дослідження їх чисельності в ґрунті. Так, визначено, що на варіантах використання екологічної та біологічної систем удобрення їх чисельність була максимальною порівняно з промисловою системою. Так, в фазу колосіння пшениці озимої на екологічній системі мікроміцетів було на 35,3 % а на біологічній на 43,2 % вище контролю, а в фазу молочно-воскової стиглості відповідно на 12,8 % та 12,5 %. Причому їх чисельність зростала по мірі вегетації культури, що викликане відповідною активізацією переробки рослинних решток з високим вмістом клітковини.

Показник особливостей формування динаміки чисельності неспорової мікрофлори ґрунту в агрофітоценозах та ризосфері пшениці озимої за різних систем удобрення подано в таблиці 4.8.

Таблиця 4.8

**Динаміка чисельності неспорової мікрофлори ґрунту в агрофітоценозах та ризосфері пшениці озимої за різних систем удобрення, млн. КУО в 1 г ґрунту, 2016-2019р.**

| Етапи вегетації культури  | Система удобрення |           |            |           |            |           |
|---------------------------|-------------------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|
|                           | промислова        |           | екологічна |           | біологічна |           |
|                           | ґрунт             | ризосфера | ґрунт      | ризосфера | ґрунт      | ризосфера |
| Початок виходу в трубку   | 6,30              | 6,45      | 7,31       | 7,80      | 5,43       | 6,40      |
| Колосіння                 | 6,10              | 6,53      | 6,53       | 7,08      | 6,00       | 7,43      |
| Молочно-воскова стиглість | 5,22              | 9,89      | 5,34       | 11,63     | 4,46       | 13,24     |
| НІР <sub>0,05</sub>       | 0,14              | 0,21      | 0,28       | 0,40      | 0,25       | 0,56      |

Як показали результати проведених досліджень неспорові бактерії в ризосфері пшениці озимої розвивались більш активніше, адже коренева система допомагає даним бактеріям вижити за погіршення умов навколишнього середовища до критичних рівнів.

Відповідно визначено, що кількість неспорових мікроорганізмів по мірі вегетації пшениці озимої збільшувалась та її максимальна чисельність спостерігалась в ризосфері в фазу молочно-воскової стиглості зерна за екологічної та біологічної системи удобрення, що на 17,6 % та 33,9 % вище показників контрольного варіанту.

Параметри мікробіологічних коефіцієнтів інтенсивності протікання ґрунтово-біологічних процесів в агрофітогеоценозах пшениці озимої за різних систем удобрення наведено в таблиці 4.9.

Таблиця 4.9

**Мікробіологічні коефіцієнти інтенсивності протікання ґрунтово-біологічних процесів в агрофітогеоценозах пшениці озимої за різних систем удобрення, 2016-2019 рр.**

| Мікробіологічні<br>коефіцієнти                       | Системи удобрення        |           |                           |                         |           |                           |                         |           |                           |
|--|--------------------------|-----------|---------------------------|-------------------------|-----------|---------------------------|-------------------------|-----------|---------------------------|
|  | промислова<br>(контроль) |           |                           | екологічна              |           |                           | біологічна              |           |                           |
|  | етапи вегетації культури |           |                           |                         |           |                           |                         |           |                           |
|  | початок виходу в трубку  | КОЛОСІННЯ | МОЛОЧНО-ВОСКОВА СТИГЛІСТЬ | початок виходу в трубку | КОЛОСІННЯ | МОЛОЧНО-ВОСКОВА СТИГЛІСТЬ | початок виходу в трубку | КОЛОСІННЯ | МОЛОЧНО-ВОСКОВА СТИГЛІСТЬ |
| Мінералізації-<br>імобілізації<br>азоту<br>(КАА/МПА) | 1,17                     | 1,02      | 2,21                      | 0,87                    | 0,79      | 1,43                      | 0,76                    | 0,72      | 1,06                      |
| Педотрофності<br>(ПА/МПА)                            | 0,83                     | 1,58      | 1,60                      | 1,00                    | 1,60      | 1,91                      | 1,03                    | 1,43      | 1,78                      |
| Оліготрофності<br>(ГА/МПА)                           | 1,38                     | 0,85      | 1,28                      | 0,96                    | 0,69      | 0,90                      | 0,93                    | 0,81      | 0,89                      |

Переважаання параметрів коефіцієнту мінералізації-імобілізації азоту у варіанті промислової системи удобрення за усіх досліджуваних фаз розвитку рослин пшениці озимої свідчить про спрямованість процесів деструкції органічної речовини над синтезом. На варіантах екологічної та біологічної систем удобрення показники коефіцієнту були значно нижчими і лише в фазу молочно-воскової стиглості спостерігалась деструкція органічної речовини викликані значною потребою рослин в азоті для формування зерна.

Зростання коефіцієнту педотрофності свідчить про збільшення інтенсивності розкладу органічної речовини ґрунту, а тому за застосування промислової системи удобрення показники коефіцієнту педотрофності були доволі високими в фазу колосіння та молочно-воскової стиглості (0,86 та 2,49) і лише в фазу кушення його параметри були близькими до показників інших систем удобрення. А от за екологічної та біологічної систем удобрення в періоди найбільш активного споживання елементів живлення коефіцієнт педотрофності були нижчими по досліді в порівнянні з промисловою системою.

Максимальні показники коефіцієнту педотрофності по досліді були в фазу молочно-воскової стиглості рослин, що відповідає збільшенню інтенсивності розкладу органічної речовини ґрунту для забезпечення потреб рослин в елементах живлення.

Найбільш високі показники коефіцієнту оліготрофності в фазу початку виходу в трубку спостерігались за промислової системи удобрення, а от на час колосіння відбулось зниження даного коефіцієнту, особливо на варіантах удобрення екологічної та біологічної. Попри нестачу легкозасвоюваних органічних речовин для ґрунтової мікробіоти в фазу молочно-воскової стиглості на усіх варіантах удобрення показники коефіцієнту оліготрофності екологічної та біологічної систем удобрення були кращими порівняно з промисловою системою удобрення.

Наступним кроком нашого дослідження було вивчення питання формування мікробіологічних коефіцієнтів інтенсивності протікання ґрунтово-біологічних процесів в ризосфері пшениці озимої за різних систем удобрення (табл. 4.10).

Визначення показника коефіцієнту мінералізації-іммобілізації азоту в ґрунті в ризосфері пшениці озимої за застосування промислової системи удобрення показало високі значення його в фазу колосіння, що свідчить про переважання процесів деструкції органічної речовини над синтезом.

**Мікробіологічні коефіцієнти інтенсивності протікання ґрунтово-біологічних процесів в ризосфері пшениці озимої за різних систем удобрення, 2016-2019 рр.**

| Мікробіологічні<br>коефіцієнти                    | Системи удобрення        |                              |            |                              |            |                              |
|---|--------------------------|------------------------------|------------|------------------------------|------------|------------------------------|
|   | промислова<br>(контроль) |                              | екологічна |                              | біологічна |                              |
|   | етапи вегетації культури |                              |            |                              |            |                              |
|   | КОЛОСІННЯ                | МОЛОЧНО-ВОСКОВА<br>СТИГЛІСТЬ | КОЛОСІННЯ  | МОЛОЧНО-ВОСКОВА<br>СТИГЛІСТЬ | КОЛОСІННЯ  | МОЛОЧНО-ВОСКОВА<br>СТИГЛІСТЬ |
| Мінералізації-<br>імобілізації азоту<br>(КАА/МПА) | 1,17                     | 0,74                         | 1,49       | 0,87                         | 0,79       | 1,43                         |
| Педотрофності<br>(ПА/МПА)                         | 0,97                     | 1,15                         | 1,08       | 1,00                         | 1,60       | 1,91                         |
| Оліготрофності<br>(ГА/МПА)                        | 1,38                     | 0,62                         | 0,87       | 0,96                         | 0,69       | 0,90                         |

Водночас з тим, у варіанті екологічної системи удобрення переважання процесів деструкції над синтезом спостерігалось лише в колосіння, а за біологічної системи удобрення – в фазу молочно-воскової стиглості (1,43).

Отримане значення коефіцієнту педотрофності було високим в пшениці озимої в фазу колосіння на екологічній та біологічній системах (1,08 та 1,60), а в фазу молочно-воскової стиглості особливо за біологічної системи удобрення. Отже, потреба рослин компенсувалась в тому числі й за рахунок розкладання органічних речовин. Однак пшениця озима потребує значної кількості елементів живлення в доволі короткий проміжок часу, а застосування на біологічній системі удобрення добрив нової формуляції передбачає внесення в тому числі значної кількості саме органічних речовин.

Найвище значення коефіцієнту оліготрофності в фазу колосіння рослин пшениці озимої, що відповідає доброму забезпеченню легкозасвоюваними органічними речовинами було в промислової системи удобрення (1,38). А от в фазу молочно-воскової стиглості в екологічній та біологічній системі удобрення спостерігалась хороша забезпеченість ґрунтової мікробіоти легкозасвоюваними органічними речовинами.

#### **4.3. Чисельність мікроорганізмів та спрямованість мікробних процесів ґрунту за вирощування буряків цукрових з різними варіантами удобрення**

Вивчення стану мікробних систем ґрунту в агрофітоценозах буряків цукрових надзвичайно важливе з точки зору навантаження яке створює дана культура на ґрунт. Адже цукрові буряки в умовах Лісостепу України забезпечують формування найбільшого врожаю серед усіх культур, що пов'язано не тільки з ефективним засвоєнням сонячної енергії а й активним використанням природньої родючості ґрунту та відповідно експлуатацію й його мікробіоти. А тому не завжди екологічні системи землеробства за органо-мінерального удобрення та біологічні системи обґрунтованого застосування органічних добрив можуть виявитись ефективними порівняно з інтенсивною технологією вирощування даної культури. Якраз наше завдання і на прикладі змін що відбуваються з мікробіотою ґрунту обґрунтувати або ж спростувати можливості даних систем.

Результати визначення чисельності агрономічно корисних груп мікроорганізмів в агрофітоценозах буряків цукрових, залежно від впливу системи удобрення в шарі ґрунту 0-10 см наведено в таблиці 4.11, а аналогічні показники з шару ґрунту 10-25 см подано в таблиці 4.12.

*Таблиця 4.11*

**Динаміка чисельності мікроорганізмів в агрофітоценозах буряків  
цукрових за різних систем удобрення, в шарі ґрунту 0-10 см, 2016-2019 рр.**

| Етапи<br>вегетації<br>буряків<br>цукрових | Мікроорганізми        | Чисельність мікроорганізмів, млн. КУО/г<br>ґрунту |            |            |                     |
|---|-----------------------|---|------------|------------|---------------------|
|   |                       | Система удобрення                                 |            |            | НІР <sub>0,05</sub> |
|   |                       | промислова  | екологічна | біологічна |                     |
| 2-4<br>листочки                           | Амоніфікувальні (МПА) | 3,22  | 3,23       | 4,38       | 0,20                |
|   | Амілолітичні (КАА)    | 4,92  | 4,00       | 3,98       | 0,23                |
|   | Педотрофні (ПА)       | 5,35  | 5,34       | 7,14       | 0,25                |
|   | Оліготрофні (ГА)      | 3,88  | 3,71       | 3,75       | 0,21                |
|   | Мікроміцети*          | 16,00   | 21,32      | 24,76      | 0,98                |
| Змикання<br>рядків                        | Амоніфікувальні (МПА) | 8,24  | 8,43       | 8,62       | 0,30                |
|   | Амілолітичні (КАА)    | 9,31  | 6,60       | 7,31       | 0,35                |
|   | Педотрофні (ПА)       | 5,43  | 8,31       | 10,06      | 0,24                |
|   | Оліготрофні (ГА)      | 5,51  | 5,31       | 6,17       | 0,30                |
|   | Мікроміцети*          | 18,40   | 28,00      | 32,05      | 1,09                |
| Технічна<br>стиглість                     | Амоніфікувальні (МПА) | 4,44  | 5,22       | 5,73       | 0,33                |
|   | Амілолітичні (КАА)    | 7,40  | 6,13       | 5,62       | 0,42                |
|   | Педотрофні (ПА)       | 7,25  | 8,96       | 9,24       | 0,58                |
|   | Оліготрофні (ГА)      | 6,88  | 6,90       | 7,13       | 0,49                |
|   | Мікроміцети*          | 17,60   | 33,20      | 35,67      | 1,22                |

\*чисельність 10<sup>3</sup>

Сприятливі умови для розвитку амоніфікуючих мікроорганізмів, що визначають азотний режим ґрунту, склалися за біологізованих систем удобрення. Адже нестача лабільних форм азоту, на нашу думку, стала потужним імпульсом до активної діяльності мікробіоти, що добуває енергетичний матеріал із негуміфікованих органічних решток ґною, післяжнивних сидератів та соломи.

Визначено, що порівняно з промисловою системою за екологічної та біологічної систем удобрення чисельність колоній амоніфікуючих

мікроорганізмів в фазу 2-4 листочків зростала на 0,3 та 36,0 %. І це цілком закономірно, так як за екологічної системи удобрення передбачалось застосування половинних норм мінеральних добрив під буряки цукрові. А от вже в фазу змикання рядків ситуація змінилась і чисельність амоніфікуючих мікроорганізмів зросла на 2,3 % та 4,6 % порівняно з промисловою системою удобрення. В більш пізні етапи вегетації цукрових буряків, а саме – на час настання технічної стиглості потреба в мінеральному азоті в рослин значно підсилилась а відповідно й зменшилась його доступність в ґрунті, а тому чисельність амоніфікуючих мікроорганізмів зросла на 17,6 % та 29,1 % в порівнянні з аналогічними даними чисельності отриманими за промислової системи удобрення.

В той же час найбільша чисельність амілолітичних мікроорганізмів, які використовують азот мінеральних сполук була стабільно високою на варіантах використання промислової системи удобрення. Так, за екологічної системи удобрення їх чисельність в фазу 2-3 була меншою на 18,7 %, а за біологічної на 19,1 % порівняно з контролем. В фазу змикання рядків, коли потреби в азоті рослин буряків цукрових доволі високі а азот мінеральних добрив за екологічної системи удобрення закінчився чисельність амілолітичних мікроорганізмів зменшилась на 29,1 % до контролю, а за біологічної системи на 21,5 %. А от в фазу технічної стиглості коренеплодів буряків цукрових зменшення чисельності амілолітичних мікроорганізмів до контролю було відповідно 17,2 % та 24,1 %.

Досліджено, що в фазу 2-4 листочків чисельність педотрофних мікроорганізмів за біологічної системи удобрення була на 33,5 % вище контролю, а от в фазу змикання рядків в міжряддях на 85,3 %. Попри те що за екологічної системи удобрення на початку вегетації буряків цукрових відмінностей в чисельності педотрофних мікроорганізмів було досить мало в порівнянні з контролем, то вичерпання мінерального живлення сприяло зростанню їх кількості в фазу змикання рядків, що на 53,0 % перевищувало промислову систему удобрення. В фазу технічної стиглості за екологічної та біологічної систем удобрення педотрофних мікроорганізмів було на 23,6 % та 27,4 % більше чим на промисловій системі.



Вивчення особливостей зміни чисельності педотрофних мікроорганізмів в фазу 2-4 листочків буряків цукрових була спостережена тенденція до максимальної їх концентрації за біологічної системи удобрення. Хоча на початку вегетації цукрових буряків тенденцію до підвищення чисельності особин даної еколого-трофічної групи все ж спостерігали і на мінеральному фоні.

Відповідно на час змикання рядків в рослин буряків цукрових чисельність заселення органічних колоїдів педотрофними мікроорганізмами зроста і за екологічної та біологічної систем удобрення була вищою на 53,0 % та 85,3 % від промислової системи удобрення. А от наприкінці вегетації культури відбувалось незначне зменшення чисельності педотрофних мікроорганізмів за біологічної системи удобрення, та зростання за промислової та екологічної систем удобрення. Що на нашу думку викликане тимчасовою доступністю органічної речовини з процесів линьки кореня та відмерлих кореневих волосків буряків цукрових.

Оліготрофні мікроорганізми є певним індикатором нестачі легкодоступних елементів живлення, а тому по мірі вегетації буряків цукрових їх чисельність постійно зростала і максимальною була в фазу технічної стиглості. В цілому ж нами зафіксовані незначні відмінності в динаміці зміни чисельності даних мікроорганізмів між системами удобрення, що може бути свідченням істотного споживання рослинами елементів живлення з ґрунту не залежно від системи удобрення. Отже, по мірі вичерпання запасів легкодоступних поживних елементів відбувалось посилення гуміфікаційних процесів в ґрунті.

Чисельність мікроскопічних грибів за застосування екологічної та біологічної систем удобрення рослин цукрових буряків була максимальною порівняно з промисловою системою. Достатній вміст клітковини в ґрунті стимулював активізацію розвитку грибної мікрофлори.

Важливим питанням за вирощування буряків цукрових є вивчення особливостей формування мікробіоти ґрунту в шарі ґрунту 0-25 см, оскільки дана культура активно використовує весь орний горизонт. Однак, з позицій мікробіології активність мікробіоти та співвідношення основних груп

мікроорганізмів в різних шарах ґрунту відрізняється, а тому ми в своїй роботі окремо вивчали шар 0-10 см та 10-25 см.

Динаміка чисельності мікроорганізмів в агрофітоценозах буряків цукрових за різних систем удобрення, в шарі ґрунту 10-25 см висвітлена в таблиці 4.12.

Таблиця 4.12

**Динаміка чисельності мікроорганізмів в агрофітоценозах буряків цукрових за різних систем удобрення, в шарі ґрунту 10-25 см, 2016-2019 рр.**

| Етапи<br>вегетації<br>буряків<br>цукрових | Мікроорганізми        | Чисельність мікроорганізмів, млн. КУО/г<br>ґрунту |            |            |                     |
|---|-----------------------|---|------------|------------|---------------------|
|   |                       | Система удобрення                                 |            |            | НІР <sub>0,05</sub> |
|   |                       | промислова  | екологічна | біологічна |                     |
| 2-4<br>листочки                           | Амоніфікувальні (МПА) | 3,34  | 4,13       | 3,53       | 0,31                |
|   | Амілолітичні (КАА)    | 5,38  | 4,11       | 3,42       | 0,30                |
|   | Педотрофні (ПА)       | 6,08  | 6,15       | 7,98       | 0,35                |
|   | Оліготрофні (ГА)      | 4,10  | 4,23       | 4,66       | 0,28                |
|   | Мікроміцети*          | 17,56   | 24,63      | 30,11      | 1,56                |
| Змикання<br>рядків                        | Амоніфікувальні (МПА) | 6,49  | 7,29       | 8,57       | 0,40                |
|   | Амілолітичні (КАА)    | 9,32  | 7,20       | 7,73       | 0,63                |
|   | Педотрофні (ПА)       | 4,52  | 10,31      | 10,71      | 0,34                |
|   | Оліготрофні (ГА)      | 3,95  | 4,64       | 5,03       | 0,33                |
|   | Мікроміцети*          | 20,96   | 30,21      | 35,19      | 1,78                |
| Технічна<br>стиглість                     | Амоніфікувальні (МПА) | 4,07  | 5,20       | 6,41       | 0,27                |
|   | Амілолітичні (КАА)    | 6,54  | 5,80       | 6,37       | 0,43                |
|   | Педотрофні (ПА)       | 6,48  | 8,68       | 9,05       | 0,45                |
|   | Оліготрофні (ГА)      | 7,88  | 7,91       | 6,42       | 0,68                |
|   | Мікроміцети*          | 31,05   | 44,56      | 51,87      | 1,93                |

\*чисельність  $10^3$

Чисельність амоніфікуючих мікроорганізмів в шарі ґрунту 10-25 см, за екологічної системи удобрення зросла в фазу змикання рядків на 12,3 5, а в фазу

технічної стиглості на 27,8 % порівняно з контрольним варіантом, а от за біологічної системи ми отримали збільшення чисельності мікроорганізмів в межах 32,0 % та 57,5 % відповідно.

Аналогічно верхнім шарам ґрунту за застосування мінеральної системи живлення буряків цукрових чисельність амілолітичних мікроорганізмів була максимальною в усі облікові періоди етапів вегетації культури. Проте переважання даного типу мікроорганізмів припадало на середину вегетаційного періоду культури, з зменшенням до кінця вегетації.

Кількість педотрофних мікроорганізмів на час початку вегетації істотно відрізнялась лише за біологічної системи удобрення, а уже в фазу змикання рядків зроста за екологічної системи на 128,1 %, а за біологічної на 136,9 % в порівнянні з контрольним варіантом удобрення.

Аналогічно даним отриманим для шару ґрунту 0-10 см максимум розвитку оліготрофних мікроорганізмів корелює з періодом технічної стиглості цукрових буряків, для якого характерним є зниження вмісту доступних елементів живлення та поступове затухання мікробіологічних процесів.

В шарі ґрунту 10-25 см чисельність мікроміцетів була дещо вищою. Порівняно з шаром ґрунту 0-10 см, однак загалом усі тенденції збереглися. При цьому їх чисельність за екологічної та біологічної систем удобрення

В той же час, дослідження інших авторів показують, що підвищення чисельності мікроміцетів за відсутності значної активізації бактеріальної амоніфікуючої мікробіоти може призвести до несприятливих наслідків, зокрема, до зростання токсичності ґрунту і до росту чисельності фітопатогенних форм мікроміцетів [130].

Дані визначення основних агрономічно корисних груп мікроорганізмів залежно від фаз розвитку культури та систем удобрення в ризосфері буряків цукрових наведено в таблиці 4.13.

*Таблиця 4.13.*

**Динаміка чисельності ґрунтових мікроорганізмів в ризосфері цукрових буряків за різних систем удобрення, середнє за 2016-2019 рр.**

| Етапи<br>вегетації<br>буряків<br>цукрових | Мікроорганізми        | Чисельність мікроорганізмів, млн. КУО/г ґрунту |            |            |                     |
|---|-----------------------|--|------------|------------|---------------------|
|   |                       | Система удобрення                              |            |            | НІР <sub>0,05</sub> |
|   |                       | промислова                                     | екологічна | біологічна |                     |
| 2-4<br>листочки                           | Амоніфікувальні (МПА) | -  | -          | -          | -                   |
|   | Амілолітичні (КАА)    | -  | -          | -          | -                   |
|   | Педотрофні (ПА)       | -  | -          | -          | -                   |
|   | Оліготрофні (ГА)      | -  | -          | -          | -                   |
|   | Мікроміцети*          | -  | -          | -          | -                   |
| Змикання<br>рядків                        | Амоніфікувальні (МПА) | 10,26  | 11,48      | 12,43      | 0,55                |
|   | Амілолітичні (КАА)    | 14,50  | 12,60      | 12,00      | 1,11                |
|   | Педотрофні (ПА)       | 8,00   | 14,00      | 15,20      | 0,54                |
|   | Оліготрофні (ГА)      | 6,90   | 6,10       | 6,20       | 0,33                |
|   | Мікроміцети*          | 29,50  | 34,83      | 43,86      | 1,35                |
| Технічна<br>стиглість                     | Амоніфікувальні (МПА) | 8,39   | 11,21      | 11,90      | 0,39                |
|   | Амілолітичні (КАА)    | 10,00  | 9,60       | 8,90       | 0,50                |
|   | Педотрофні (ПА)       | 7,80   | 9,30       | 10,30      | 0,42                |
|   | Оліготрофні (ГА)      | 8,90   | 8,70       | 8,60       | 0,35                |
|   | Мікроміцети*          | 25,24  | 42,11      | 56,75      | 1,32                |

\*чисельність 10<sup>3</sup>

Дослідження чисельності ґрунтових мікроорганізмів в ризосфері цукрових буряків розпочинали з фази змикання рядків, так як в фазу 2-4 листочків рослини формують доволі скромну за обсягами та поширеністю кореневу систему, а тому питання виділення в цей період мікроорганізмів власне з ризосфери кореневої системи залишається доволі спірним.

За вивчення особливостей змін амоніфікуючих мікроорганізмів в ризосфері буряків цукрових встановлено що на варіантах досліду екологічної та

біологічної систем чисельність їх колоній зростала на 11,9 % та 21,2 %, а в фазу змикання рядків та відповідно на 33,6 % та 41,8 % порівняно з промисловою системою удобрення в фазу технічної стиглості коренеплодів.

Відповідно за умови застосування екологічної системи удобрення цукрових буряків чисельність амілолітичних мікроорганізмів в фазу змикання рядків була меншою на 13,1 %, а за біологічної на 17,2 % порівняно з промисловою системою удобрення, а от в фазу технічної стиглості коренеплодів різниця була на 4,0 %, та 11,0 % менше чим на контролі.

Максимальна чисельність педотрофних мікроорганізмів в ризосфері була визначена за екологічного та біологічного варіантів удобрення. Так, в фазу змикання рядків за даних систем удобрення зафіксовано зростання на 75,0 % та 90,0 % більше чим на промисловій системі удобрення, а в фазу технічної стиглості на 19,2 % та 32,1 % відповідно.

А от оліготрофних мікроорганізмів найбільше було за промислової системи удобрення, що відповідає даним отриманим для ґрунту.

Вміст мікроміцетів в ризосфері за екологічної та біологічної систем удобрення в фазу змикання рядків на екологічній системі був на 18,1 % а на біологічній на 48,7 % вище контролю, а в фазу технічної стиглості відповідно на 66,8 та 124,8 %.

В цілому аналіз динаміки чисельності досліджуваних груп мікроорганізмів по етапах вегетації цукрових буряків показує нам закономірність зростання інтенсивності мікробіологічних процесів до середини вегетації цукрових буряків – змикання рядків. По суті це підтверджується максимумом біологічної активності ґрунтової мікрофлори, однак, в силу доволі теплої та дощової погоди восени, що складається в регіоні проведення досліджень в останні десятиріччя, мікробіологічна активність до фази технічної стиглості коренеплодів буряків зменшується плавно, без різких коливань.

Показники визначення чисельності неспорової мікрофлори ґрунту в агрофітоценозах та ризосфері буряків цукрових за різних систем удобрення наведено в таблиці 4.14.

Таблиця 4.14

**Динаміка чисельності неспорової мікрофлори ґрунту в агрофітоценозах та ризосфері цукрових буряків за різних систем удобрення, млн. КУО в 1 г ґрунту, 2016-2019р.**

| Етапи вегетації культури | Система удобрення |           |            |           |            |           |
|--------------------------|-------------------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|
|                          | промислова        |           | екологічна |           | біологічна |           |
|                          | ґрунт             | ризосфера | ґрунт      | ризосфера | ґрунт      | ризосфера |
| 2-4 листочки             | 1,04              | 1,76      | 1,05       | 1,39      | 1,13       | 2,90      |
| Змикання рядків          | 2,53              | 3,25      | 1,13       | 3,98      | 1,54       | 2,94      |
| Технічна стиглість       | 4,97              | 5,48      | 3,71       | 5,69      | 4,74       | 11,63     |
| НІР <sub>0,05</sub>      | 0,29              | 0,31      | 0,28       | 0,34      | 0,40       | 1,25      |

За результатами проведених досліджень спостерігалось зростання чисельності неспорових мікроорганізмів по мірі росту та розвитку рослин, а також переважання їх кількості мікроорганізмів в ризосфері буряків цукрових за різних систем удобрення. Загалом же максимальна чисельність неспорових мікроорганізмів спостерігалась в ризосфері в фазу технічної стиглості коренеплодів буряків цукрових за екологічної та біологічної системи удобрення, що на 3,8 та 112,2 % вище показників контрольного варіанту.

Від аналізу чисельності певних груп мікроорганізмів варто перейти до визначення мікробіологічних коефіцієнтів – як індикаторів спрямованості розвитку мікробіоти ґрунту. Параметри мікробіологічних коефіцієнтів інтенсивності протікання ґрунтово-біологічних процесів в агрофітогеоценозах буряків цукрових за різних систем удобрення наведено в таблиці 4.15.

Таблиця 4.15

**Мікробіологічні коефіцієнти протікання ґрунтового-біологічних процесів в агрофітоценозах цукрових буряків за різних систем удобрення, 2016-2019 рр.**

| Мікробіологічні<br>коефіцієнти                       | Шар<br>грунту,<br>см | Системи удобрення        |                 |                    |              |                 |                    |              |                 |                    |
|--|----------------------|--------------------------|-----------------|--------------------|--------------|-----------------|--------------------|--------------|-----------------|--------------------|
|  |                      | промислова<br>(контроль) |                 |                    | екологічна   |                 |                    | біологічна   |                 |                    |
|  |                      | етапи вегетації культури |                 |                    |              |                 |                    |              |                 |                    |
|  |                      | 2-4 листочки             | змикання рядків | технічна стиглість | 2-4 листочки | змикання рядків | технічна стиглість | 2-4 листочки | змикання рядків | технічна стиглість |
| Мінералізації-<br>імобілізації<br>азоту<br>(КАА/МПА) | 0-10                 | 1,53                     | 1,13            | 1,67               | 1,24         | 0,78            | 1,17               | 0,91         | 0,85            | 0,98               |
|  | 10-25                | 1,61                     | 1,44            | 1,60               | 0,99         | 0,99            | 1,11               | 0,97         | 0,90            | 0,99               |
| Педотрофності<br>(ПА/МПА)                            | 0-10                 | 1,66                     | 0,66            | 1,63               | 1,66         | 0,99            | 1,72               | 1,63         | 1,17            | 1,61               |
|  | 10-25                | 1,82                     | 0,70            | 1,59               | 1,49         | 1,41            | 1,67               | 2,26         | 1,25            | 1,41               |
| Оліготрофності<br>(ГА/МПА)                           | 0-10                 | 1,20                     | 0,67            | 1,55               | 1,15         | 0,63            | 1,32               | 0,86         | 0,72            | 1,24               |
|  | 10-25                | 1,23                     | 0,61            | 1,93               | 1,02         | 0,64            | 1,52               | 1,32         | 0,59            | 1,00               |

На варіанті застосування виключно мінерального живлення визначено високі показники коефіцієнтів мінералізації-імобілізації азоту в усі фази росту та розвитку буряків цукрових (1,13-1,61), а отже процеси деструкції органічної речовини переважають над синтезом. А от за екологічної системи удобрення параметри коефіцієнту були дещо нижчими (0,78-1,24) і лише застосування

біологічної системи удобрення дозволило отримати параметри коефіцієнту мінералізації-імобілізації азоту найнижчим (0,90-0,98).

Досліджено, що за промислової системи удобрення показники коефіцієнту педотрофності були доволі високими в фазу 2-4 листків та технічної стиглості коренеплодів і лише в фазу змикання рядків його параметри були меншими одиниці. Причому за глибини ґрунту 10-25 см нами були отримані аналогічні, закономірності зміни цього показника.

За використання екологічної та біологічної систем удобрення впродовж онтогенезу буряків цукрових показники коефіцієнту педотрофності були великими на початку вегетації (перший критичний етап росту та розвитку цукрових буряків), та зростали до максимальних значень в період активного споживання поживних речовин рослинами – друга половина вегетації.

Зниження вмісту в ґрунті доступних рослинам поживних речовин призводило до короточасних значень високих показників коефіцієнту оліготрофності на початку вегетаційного періоду по всіх варіантах дослідів. А от параметри коефіцієнту оліготрофності на екологічній та біологічній системах удобрення на час технічної стиглості коренеплодів буряків цукрових свідчать про кращу забезпеченість ґрунтової мікробіоти легкозасвоюваними органічними речовинами порівняно з показниками отриманими за мінеральної (промислової) системи удобрення рослин .

Зміни мікробіологічних коефіцієнтів в межах різних шарів ґрунту радше носили тенденційний характер, а от чітких закономірностей динаміки змін залежно від глибини шару ґрунту нами не було зафіксовано.

Відповідно для повноти картини слід визначити особливості формування мікробіологічних коефіцієнтів інтенсивності протікання ґрунтово-біологічних процесів в ризосфері буряків цукрових за різних систем удобрення подані в таблиці 4.16.



**Мікробіологічні коефіцієнти інтенсивності протікання ґрунтово-біологічних процесів в ризосфері цукрових буряків за різних систем удобрення, 2016-2019 рр.**

| Мікробіологічні<br>коефіцієнти                    | Системи удобрення        |                       |                    |                       |                    |                       |
|---|--------------------------|-----------------------|--------------------|-----------------------|--------------------|-----------------------|
|   | промислова<br>(контроль) |                       | екологічна         |                       | біологічна         |                       |
|   | етапи вегетації культури |                       |                    |                       |                    |                       |
|   | Змикання<br>рядків       | Технічна<br>стиглість | Змикання<br>рядків | Технічна<br>стиглість | Змикання<br>рядків | Технічна<br>стиглість |
| Мінералізації-<br>імобілізації азоту<br>(КАА/МПА) | 1,41                     | 1,19                  | 1,10               | 0,86                  | 0,97               | 0,75                  |
| Педотрофності<br>(ПА/МПА)                         | 0,78                     | 0,93                  | 1,22               | 0,83                  | 1,22               | 0,87                  |
| Оліготрофності<br>(ГА/МПА)                        | 0,67                     | 1,06                  | 0,53               | 0,78                  | 0,50               | 0,72                  |

Аналогічно до показників коефіцієнту мінералізації-імобілізації азоту в ґрунті в ризосфері у варіанті промислової системи удобрення було отримано високі значення його (1,19-1,41). А от на варіанті екологічної системи удобрення переважання процесів деструкції над синтезом спостерігалось лише в фазу змикання рядків, а от кращим за даним показником виявився варіант біологічної системи удобрення.

Визначення коефіцієнту педотрофності показало, що його параметри були високими в зоні ризосфери буряків цукрових в фазу змикання рядків на екологічній та біологічній системах, а в фазу технічної стиглості були приблизно однаковими по усіх системах удобрення.

А от згідно даних коефіцієнту оліготрофності добре забезпечення легкозасвоюваними органічними речовинами було в усіх систем удобрення в фазу змикання рядків, а в фазу технічної стиглості в екологічній та біологічній систем удобрення.

За результатами досліджень проведених іншими вченими встановлено, що при тривалому застосуванні системи мінерального удобрення формується мікробний ценоз, що забезпечує вищі коефіцієнти мінералізації-іммобілізації азоту, зумовлюючи посилення процесів біологічної деструкції органічних речовин. Такий характер мікробіологічних процесів сприяв підвищенню частки лабільних органічних речовин, але в цьому випадку їх накопичення значною мірою зумовлене деструкцією екзогенних органічних речовин побічної продукції рослинництва [21]. Наші результати досліджень в повній мірі підтверджують догму про те що інтенсивне землеробство супроводжується високою мінералізацією органічних речовин ґрунту.

#### **4.4. Чисельність мікроорганізмів та спрямованість мікробних процесів ґрунту за вирощування кукурудзи на зерно з різними варіантами удобрення**

Кукурудза культура інтенсивного типу вирощування з істотними вимогами по забезпеченню елементами живлення та потребами в природніх ресурсах, втому числі й збоку доступності ґрунтової родючості і запасів вологи, теплового режиму, тощо. А тому за вирощування кукурудзи, для підтримання високого рівня рентабельності її застосовується доволі значна кількість мінеральних, та в нашому випадку й органічних добрив, здатних забезпечити потреби рослин в елементах живлення. Оскільки рослини кукурудзи належать до злакових культур С4 типу фотосинтезу з дещо іншими потребами чим буряки цукрові, та здатністю засвоювати більш ефективно запаси вологи, що залишились в ґрунті після попередніх культур, то цікаво визначити особливості зміни мікробіологічного режиму ґрунту під впливом факторів удобрення.

Дані з визначення груп мікроорганізмів та їх чисельності в агрофітогеоценозах кукурудзи на зерно за різних систем удобрення наведені в таблиці 4.17. загалом же визначено, що залежно від системи удобрення обумовлені зміни мікрофлори, задіяної в циклі біотрансформації органічної речовини, а тому на них варто зупинитись більш детально.

Таблиця 4.17

**Динаміка чисельності ґрунтових мікроорганізмів в агрофітогеоценозах  
кукурудзи на зерно за різних систем удобрення, 2016-2019 рр.**

| Етапи<br>вегетації<br>кукурудзи  | Мікроорганізми        | Чисельність мікроорганізмів, млн. КУО/г<br>ґрунту |            |            |                     |
|----------------------------------|-----------------------|---|------------|------------|---------------------|
|                                  |                       | Система удобрення                                 |            |            | НІР <sub>0,05</sub> |
|                                  |                       | промислова  | екологічна | біологічна |                     |
| 5-7 листків                      | Амоніфікувальні (МПА) | 4,11  | 4,44       | 4,92       | 0,26                |
|                                  | Амілолітичні (КАА)    | 5,48  | 3,90       | 4,24       | 0,27                |
|                                  | Педотрофні (ПА)       | 5,22  | 5,46       | 6,51       | 0,29                |
|                                  | Оліготрофні (ГА)      | 6,62  | 5,09       | 6,18       | 0,35                |
|                                  | Мікроміцети*          | 29,73   | 36,60      | 43,46      | 1,33                |
| Викидання<br>волоті              | Амоніфікувальні (МПА) | 7,63  | 9,46       | 10,05      | 0,36                |
|                                  | Амілолітичні (КАА)    | 8,16  | 6,83       | 7,16       | 0,44                |
|                                  | Педотрофні (ПА)       | 5,90  | 8,17       | 9,15       | 0,34                |
|                                  | Оліготрофні (ГА)      | 6,32  | 4,97       | 5,45       | 0,33                |
|                                  | Мікроміцети*          | 33,15   | 39,43      | 37,67      | 1,48                |
| Молочно-<br>воскова<br>стиглість | Амоніфікувальні (МПА) | 4,60  | 5,14       | 6,70       | 0,27                |
|                                  | Амілолітичні (КАА)    | 11,43   | 9,85       | 7,32       | 0,58                |
|                                  | Педотрофні (ПА)       | 9,57  | 11,13      | 12,24      | 0,55                |
|                                  | Оліготрофні (ГА)      | 9,31  | 10,14      | 10,00      | 1,28                |
|                                  | Мікроміцети*          | 16,74   | 26,92      | 30,24      | 1,58                |

\*чисельність 10<sup>3</sup>

Встановлено, що чисельність амоніфікаторів, що мінералізують органічні речовини ґрунту на варіантах екологічної та біологічної систем удобрення в фазу 5-7 листків культури зростала на 8,0 та 19,7 %. А от в максимальні відмінності між контрольним варіантом та екологічною і біологічною системами були в фазу

активного росту кукурудзи – викидання волоті, коли чисельність амоніфікуючих мікроорганізмів зросла на 24,0 % та 31,7 %.

В середньому за роки проведення досліджень найвища чисельність мікроорганізмів, що використовують органічний азот була сформована за біологічної системи удобрення та у фазу викидання волоті складала 10,05 млн. КУО/г ґрунту, тоді як за промислової системи – 7,63 млн. КУО/г ґрунту. Також, в фазу молочно-воскової стиглості, чисельність амоніфікуючих мікроорганізмів за біологічної системи удобрення була максимальною в досліді (6,70) порівняно з іншими варіантами систем удобрення, хоча загалом активність цієї групи мікроорганізмів зменшилась істотно порівняно з попередньою фазою розвитку рослин кукурудзи.

Визначено, що водночас з тим на екологічній та біологічній системах удобрення представлений мікробний ценоз збіднений видами, здатними утилізувати мінеральні сполуки азоту. Так, на екологічній системі удобрення кукурудзи чисельність амілолітичних мікроорганізмів в фазу 5-7 листків була меншою на 28,8 %, фазу викидання волоті на 16,3 % та в фазу молочно-воскової стиглості на 13,8 % порівняно з промисловою системою удобрення. За використання біологічної системи удобрення в досліджувані фази розвитку культури мікроорганізмів було на 22,6 %, 12,3 % та 36,0 % менше чим на контролі.

Встановлено, що в фазу 5-7 листків кукурудзи педотрофних мікроорганізмів за екологічної та біологічної систем удобрення було на 4,6 % та 24,7 % більше чим на промисловій системі, в фазу викидання волоті на 38,5 % та 55,1 %, а в фазу молочно-воскової стиглості відповідно на 16,3 % та 27,9 %.

Досліджено, що в фазу 5-7 листків та викидання волоті чисельність оліготрофних мікроорганізмів найвищою була при застосуванні промислової системи удобрення. А от в фазу молочно-воскової стиглості досліджувані варіанти достовірно не розрізнялись між собою.

Визначено, що по кількості представлених в ґрунті мікроміцетів кращими були варіанти застосування екологічної та біологічної систем удобрення в порівнянні з промисловою системою.

Результати з вивчення чисельності основних агрономічно корисних груп мікроорганізмів залежно від фаз розвитку культури та систем удобрення кукурудзи наведено в таблиці 4.18.

Таблиця 4.18

**Динаміка чисельності ґрунтових мікроорганізмів в ризосфері кукурудзи за різних систем удобрення, середнє за 2016-2019 рр.**

| Етапи<br>вегетації<br>кукурудзи  | Мікроорганізми        | Чисельність мікроорганізмів, млн. КУО/г<br>ґрунту |            |            |                     |
|----------------------------------|-----------------------|---|------------|------------|---------------------|
|                                  |                       | Система удобрення                                 |            |            | НІР <sub>0,05</sub> |
|                                  |                       | промислова  | екологічна | біологічна |                     |
| 5-7 листків                      | Амоніфікувальні (МПА) | 6,85  | 8,93       | 9,60       | 0,23                |
|                                  | Амілолітичні (КАА)    | 7,93  | 7,50       | 7,31       | 0,22                |
|                                  | Педотрофні (ПА)       | 6,56  | 8,35       | 9,46       | 0,25                |
|                                  | Оліготрофні (ГА)      | 9,11  | 8,28       | 8,61       | 0,23                |
|                                  | Мікроміцети*          | 27,31   | 48,14      | 46,18      | 1,05                |
| Викидання<br>волоті              | Амоніфікувальні (МПА) | 10,28   | 11,59      | 12,61      | 0,72                |
|                                  | Амілолітичні (КАА)    | 12,49   | 10,91      | 10,55      | 0,70                |
|                                  | Педотрофні (ПА)       | 12,25   | 16,44      | 16,84      | 0,83                |
|                                  | Оліготрофні (ГА)      | 7,79  | 7,04       | 8,25       | 0,32                |
|                                  | Мікроміцети*          | 26,53   | 33,22      | 33,90      | 1,34                |
| Молочно-<br>воскова<br>стиглість | Амоніфікувальні (МПА) | 10,26   | 12,66      | 13,70      | 0,79                |
|                                  | Амілолітичні (КАА)    | 18,60   | 14,96      | 12,72      | 0,98                |
|                                  | Педотрофні (ПА)       | 13,68   | 18,28      | 19,07      | 0,82                |
|                                  | Оліготрофні (ГА)      | 12,28   | 10,69      | 11,17      | 0,84                |
|                                  | Мікроміцети*          | 22,60   | 32,54      | 38,47      | 1,56                |

\*чисельність  $10^3$

Аналогічно даним отриманим за визначення чисельності основних груп мікроорганізмів в ґрунті, в ризосфері кукурудзи, на варіантах екологічної та

біологічної систем чисельність амоніфікуючих мікроорганізмів була більшою по усіх фазах вегетації культури в порівнянні з даними отриманими за промислової системи удобрення.

Водночас вищі показники чисельності амілолітичних мікроорганізмів спостерігались за впровадження промислової системи удобрення, яка передбачала активне застосування мінерального живлення. Причому їх чисельність збільшувалась впродовж вегетації культури по всіх варіантах досліду, однак в фазу молочно-воскової стиглості на екологічній та біологічній системах удобрення було менше на 19,6 % та 31,6 %.

Аналогічно даним отриманим для ґрунту в ризосфері кукурудзи кількість педотрофних мікроорганізмів за екологічного та біологічного варіантів удобрення була вищою в фазу 5-7 листків на 27,3 % та 44,2 %, в фазу викидання волоті на 34,2 % та 37,5 %, а в фазу молочно воскової стиглості на 33,6 % та 39,4 % чим на промисловій системі удобрення

Якщо аналізувати особливості зміни чисельності оліготрофних мікроорганізмів, то менші значення було отримано за вирощування кукурудзи на системах удобрень, що передбачали застосування органічної речовини для удобрення. Так, за екологічної та біологічної систем удобрення на час 5-7 листків оліготрофів було на 9,1 та 5,5 %, в фазу викидання волоті на 9,6 % та 5,9 %, а в фазу молочно-воскової стиглості – на 12,9 % та 9,0 % менше чим на промисловій системі удобрення. Якщо ж аналізувати динаміку зміни реальних даних, то максимум спостерігався в фазу молочно-воскової стиглості, а от в фазу викидання волоті кількість оліготрофних мікроорганізмів була дещо меншою чим в фазу 5-7 листків.

Чисельність мікроміцетів в ризосфері кукурудзи на варіантах екологічної та біологічної систем удобрення була максимальною у порівнянні з промисловою системою за усіх фаз росту та розвитку культури, що відповідає даним отриманим і для значень виділених з ґрунту. На кінець вегетації кукурудзи спостерігалось зниження чисельності за промислової та екологічної систем удобрення, а от за біологічної відбувалось зростання порівняно з попереднім обліковим періодом.

Визначення особливостей формування чисельності неспорової мікрофлори ґрунту в агрофітоценозах та ризосфері кукурудзи за різних систем удобрення наведена в таблиці 4.19.

Таблиця 4.19

**Динаміка чисельності неспорової мікрофлори ґрунту в агрофітоценозах та ризосфері кукурудзи за різних систем удобрення, млн. КУО в 1 г ґрунту, 2016-2019р.**

| Етапи вегетації культури  | Система удобрення |           |            |           |            |           |
|---------------------------|-------------------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|
|                           | промислова        |           | екологічна |           | біологічна |           |
|                           | ґрунт             | ризосфера | ґрунт      | ризосфера | ґрунт      | ризосфера |
| 5-7 листків               | 2,25              | 2,57      | 2,59       | 2,88      | 2,00       | 2,90      |
| Викидання волоті          | 3,28              | 5,44      | 4,29       | 7,55      | 3,38       | 5,03      |
| Молочно-воскова стиглість | 5,52              | 8,62      | 3,42       | 9,97      | 4,41       | 12,85     |
| НІР <sub>0,05</sub>       | 0,19              | 0,40      | 0,23       | 0,39      | 0,25       | 0,88      |

Визначено, що максимальна чисельність неспорових мікроорганізмів спостерігалась в ризосфері кукурудзи в фазу молочно воскової стиглості за біологічної системи удобрення. Також за екологічної та біологічної систем удобрення чисельність неспорової мікрофлори в проміжок часу від викидання волоті до молочно-воскової стиглості знижувалась а от ризосфера – навпаки сприяла формуванню більшої кількості неспорових мікроорганізмів і їх збереженню до завершальних етапів росту та розвитку рослин.

Розраховані нами показники мікробіологічних коефіцієнтів інтенсивності протікання ґрунтового-біологічних процесів в агрофітогеоценозах кукурудзи за різних систем удобрення наведено в таблиці 4.20.

Таблиця 4.20

**Мікробіологічні коефіцієнти інтенсивності протікання ґрунтово-біологічних процесів в агрофітогеоценозах кукурудзи на зерно за різних систем удобрення, 2016-2019 рр.**

| Мікробіологічні<br>коефіцієнти                       | Системи удобрення        |                 |                              |             |                 |                              |             |                 |                              |
|--|--------------------------|-----------------|------------------------------|-------------|-----------------|------------------------------|-------------|-----------------|------------------------------|
|  | промислова<br>(контроль) |                 |                              | екологічна  |                 |                              | біологічна  |                 |                              |
|  | етапи вегетації культури |                 |                              |             |                 |                              |             |                 |                              |
|  | 5-7 листків              | Викидання волот | Молочно-воскова<br>стиглість | 5-7 листків | Викидання волот | Молочно-воскова<br>стиглість | 5-7 листків | Викидання волот | Молочно-воскова<br>стиглість |
| Мінералізації-<br>імобілізації<br>азоту<br>(КАА/МПА) | 1,33                     | 1,07            | 2,49                         | 0,88        | 0,72            | 1,92                         | 0,86        | 0,71            | 1,09                         |
| Педотрофності<br>(ПА/МПА)                            | 1,27                     | 0,77            | 2,08                         | 1,23        | 0,86            | 2,17                         | 1,32        | 0,91            | 1,83                         |
| Оліготрофності<br>(ГА/МПА)                           | 1,61                     | 0,83            | 2,03                         | 1,15        | 0,53            | 1,97                         | 1,25        | 0,54            | 1,49                         |

Аналіз особливостей зміни коефіцієнту мінералізації-імобілізації азоту показує, що про переважання процесів деструкції органічної речовини над синтезом була по всіх етапах розвитку рослин на варіанті промислової системи удобрення. А от у варіанті екологічної системи удобрення показники коефіцієнту були значно нижчими в фазу 5-7 листків та викидання волоті (0,88 та 0,72), а в фазу молочно-воскової стиглості спостерігалось вичерпання доступним рослинам елементів живлення та деструкція органічної речовини (1,92). А от за



біологічної системи удобрення показники коефіцієнту мінералізації-імобілізації азоту були найнижчим на ранніх етапах росту та розвитку рослин, а в фазу молочно-воскової стиглості спостерігалось незначне переважання процесів деструкції – 1,09, що фактично підтверджує, що дана система є більш збалансованою за елементами живлення.

Інтенсивний розклад органічної речовини, якщо аналізувати за коефіцієнтом педотрофності, спостерігався на промисловій системі удобрення на початку активного росту кукурудзи – фаза 5-7 листків та відновився на час активного формування зерна – молочно-воскова стиглість. Відповідно аналогічні закономірності спостерігались за застосування екологічної та біологічної системи удобрення, хоча саме за біологічної системи було отримано мінімальні значення коефіцієнту навіть на час молочно воскової стиглості, якщо порівнювати з іншими варіантами удобрення.

Найбільш високі значення коефіцієнту оліготрофності отримані нами на варіанті промислової системи удобрення в фазу 5-7 листків рослин кукурудзи (1,61), що відповідає першому критичному періоду рослин за споживанням елементів живлення та на час молочно-воскової стиглості (2,03), що констатує значне споживання елементів живлення в період формування та наливання зерна кукурудзи.

Аналогічно значення коефіцієнту оліготрофності за застосування екологічної та біологічної систем удобрення на ранніх етапах розвитку кукурудзи та в фазу молочно-воскової стиглості були доволі високими, однак в порівнянні з промисловою системою удобрення рослини були краще забезпечені легкозасвоюваними органічними речовинами.

Після визначення особливостей формування мікробних угруповань в ризосфері кукурудзи нами були розраховані мікробіологічні коефіцієнти інтенсивності протікання ґрунтово-біологічних процесів за різних систем удобрення (табл. 4.21).

**Мікробіологічні коефіцієнти інтенсивності протікання ґрунтово-біологічних процесів в ризосфері кукурудзи за різних систем удобрення, 2016-2019 рр.**

| Мікробіологічні<br>коефіцієнти                       | Системи удобрення        |                 |                              |             |                 |                              |             |                 |                              |
|--|--------------------------|-----------------|------------------------------|-------------|-----------------|------------------------------|-------------|-----------------|------------------------------|
|  | промислова<br>(контроль) |                 |                              | екологічна  |                 |                              | біологічна  |                 |                              |
|  | етапи вегетації культури |                 |                              |             |                 |                              |             |                 |                              |
|  | 5-7 листків              | Викидання волот | Молочно-воскова<br>стиглість | 5-7 листків | Викидання волот | Молочно-воскова<br>стиглість | 5-7 листків | Викидання волот | Молочно-воскова<br>стиглість |
| Мінералізації-<br>імобілізації<br>азоту<br>(КАА/МПА) | 1,16                     | 1,21            | 1,81                         | 0,84        | 0,94            | 1,18                         | 0,76        | 0,84            | 0,93                         |
| Педотрофності<br>(ПА/МПА)                            | 0,96                     | 1,19            | 1,33                         | 0,93        | 1,42            | 1,44                         | 0,99        | 1,34            | 1,39                         |
| Оліготрофності<br>(ГА/МПА)                           | 1,33                     | 0,76            | 1,20                         | 0,93        | 0,61            | 0,84                         | 0,90        | 0,65            | 0,81                         |

В ризосфері кукурудзи коефіцієнт мінералізації-іммобілізації азоту за промислової системи удобрення був передбачувано високим, причому по усіх етапах росту та розвитку рослин кукурудзи вище одиниці. А от у варіанті екологічної системи удобрення переважання процесів деструкції над синтезом було відмічене лише в молочно-воскової стиглості, а за біологічної системи удобрення коефіцієнт мінералізації-іммобілізації азоту не був більше 1.

Параметри коефіцієнту педотрофності в ризосфері кукурудзи були високими починаючи з фази викидання волоті і аж до молочно-воскової стиглості в усіх системах удобрення.

А от значення коефіцієнту оліготрофності в фазу 5-7 листків рослин кукурудзи були вищими одиниці в промислової системи удобрення, а по інших системах спостерігалось добре забезпечення легкозасвоюваними органічними речовинами. А от в фазу викидання волоті на промисловій, екологічній та біологічній системах удобрення спостерігалась хороша забезпеченість ґрунтової мікробіоти легкозасвоюваними органічними речовинами. Причому такі ж закономірності збереглись для екологічної та біологічної систем удобрення і на більш пізніх етапах розвитку рослин.

#### **Висновки по розділу 4:**

Аналіз особливостей перебігу мікробних процесів в ґрунті, за вирощування досліджуваних культур, показав, що найвища чисельність популяцій мікроорганізмів, що використовують органічний азот була сформована за обмеження або ж відмови від застосування засобів хімізації втілених у екологічній та біологічній системі удобрення. А от застосування мінеральних добрив суттєво посилювало розвиток мікроорганізмів що використовують азот мінеральних сполук, тому переважно за біологічної системи удобрення в ґрунті був представлений мікробний ценоз збіднений видами, здатними утилізувати мінеральні сполуки азоту. Також встановлено, що більше педотрофних мікроорганізмів було в випадку достатньої кількості органічних добрив, тобто за застосування екологічного та біологічного варіантів удобрення. А от чисельність оліготрофів була вищою за промислової системи удобрення. Також, за застосування екологічної та біологічної систем удобрення рослин чисельність мікроскопічних грибів була максимальною порівняно з промисловою системою, адже достатній вміст клітковини в ґрунті стимулював активізацію розвитку грибної мікрофлори.

Порівняно з аналізом чисельності мікроорганізмів в ґрунті нами встановлено що щільність мікробних клітин в одиниці об'єму ризосферного ґрунту була вищою по відношенні до усіх досліджуваних еколого-трофічних угруповань, а виявлені особливості перебігу процесів закономірно зберігались в динаміці вегетації рослин.

За результатами аналізу коефіцієнтів мінералізації–імобілізації, оліготрофності та педотрофності встановлено, що за біологічної системи удобрення показники коефіцієнту мінералізації-імобілізації азоту були найнижчим, що свідчить про зрівноваження процесів мінералізації та імобілізації. А от підвищення величини коефіцієнту педотрофності, що свідчить про збільшення інтенсивності розкладу органічної речовини ґрунту, зокрема гумусових сполук спостерігалась за застосування промислової системи удобрення. Також, встановлено, що показники коефіцієнту оліготрофності екологічної та біологічної систем удобрення свідчать про хорошу забезпеченість ґрунтової мікробіоти легкозасвоюваними органічними речовинами, та формування оптимальних умов для функціонування ґрунтового мікробного комплексу.

## РОЗДІЛ 5

### ФІТОТОКСИЧНІСТЬ ТА ФЕРМЕНТАТИВНА АКТИВНІСТЬ ҐРУНТУ ЗА РІЗНИХ СИСТЕМ УДОБРЕННЯ КУЛЬТУР СІВОЗМІНИ

Мікроорганізми попри значний вклад в формування родючості ґрунту суттєво впливають і на його екологічний та фітосанітарний стан. Адже вони можуть виділяти близько сорока ферментів, таких як: оксидоредуктази (пероксидаза, каталаза та ін.) і гідролази (фосфатаза, протеаза, уреаза). Оскільки мікроорганізми миттєво реагують на наявність певних забруднювачів то й істотно змінюються показники біологічної активності ґрунту, а саме: ферментативна активність та емісія вуглекислого газу з поверхні ґрунту [27; 28].

По суті продуковані мікроорганізмами ферменти служать біологічними каталізаторами від активності яких залежить екологічна стабільність ґрунтової екосистеми загалом. Проходження біокаталітичних процесів в ґрунті, за участі мікроорганізмів, сприяє реалізації найважливіших біогеоценологічних функцій ґрунтів: гумусо-енергетичні, трофічні, санітарно-відновлювальні, тощо [25; 26].

Серед одних із важливих ферментів мікроорганізмів, що відносяться до класу оксидоредуктаз, є каталаза, активність якої пов'язана із розкладом перекису водню, токсичного для живих організмів. А от з протеолітичних ферментів, що беруть участь у процесах розкладу органічної речовини ґрунту, трансформації сполук азоту та азотному живленні загалом, чільне місце належить протеазі, активність якої корелює з рівнем хімічного навантаження ґрунту [57; 58].

В той же час вплив будь-яких агротехнологічних заходів чи систем удобрення рослин позначається на ферментативній активності ґрунту, адже від цього залежить і рівень активності каталази та протеази. Адже агрозаходи впливають не тільки на кількість мікроорганізмів та їх видовий склад а й на фізико-хімічні властивості ґрунту, ступінь насичення його основами, реакцією ґрунтового вбирного комплексу, тощо. Саме на мікробіологічних показниках базується діагностика стану ґрунту та прогнозування змін в ньому, адже вони

дозволяють визначити глибину впливу антропогенного навантаження вже на ранніх стадіях [25; 26].

Сучасне сільське господарство передбачає застосування добрив, регуляторів росту рослин, різноманітних імуномодуляторів, пестицидів які можуть значно впливати не тільки на ріст та розвиток рослин а й на стан мікробіоти ґрунту. А тому питання вивчення особливостей формування і функціонування мікробних угруповань ґрунту як індикаторів оцінки його екологічного стану і родючості залишається актуальним [40; 41; 50].

### **5.1. Динаміка фітотоксичності ґрунту за різних систем удобрення**

Одним із головних завдань застосування систем удобрення сільськогосподарських культур загалом та добрив нових формуляцій зокрема – є підтримання ґрунту та його мікробіоти в функціонально активному стані зі збереженням процесів корисних як для самої мікробіоти так і вирощуваних на даних ділянках рослин [13].

Відповідно в процесі життєдіяльності мікроорганізмів ґрунту, кореневої активності рослин та під впливом застосування добрив нових формуляцій відбувається вивільнення фізіологічно активних речовин та накопичення їх в кореневмісній частині ґрунту. В подальшому ці алелопатично активні речовини впливають на ріст та розвиток не тільки рослин а й мікробіоти ґрунту – змінюючи спрямованість процесів [16].

З точки зору прояву алелопатії то за розкладання пожнивних решток усіх без виключення культур супроводжується змінами фітотоксичності. Однак, рештки бобових культур відносно швидко розкладаються та проявляють фітотоксичний вплив на ґрунт недовго, а залишки злакових культур навпаки – довгий час [38].

Фітотоксичні мікроорганізми ґрунту порушують обмін речовин в рослин, інтенсивність дихання та знижують фотосинтетичну активність. Відповідно фітотоксичні форми мікроорганізмів представлені в усіх основних групах

грунтоживучих мікроорганізмів, але найбільше їх серед мікроскопічних грибів: *Penicillium*, *Aspergillus*, *Fusarium*, а також бактерій: *Pseudomonas*, *Bacillus* [44; 47].

Дослідження показують що фітотоксичні мікроорганізми в ґрунті поширені незалежно від його типу, а от уже їх концентрація та активність суттєво змінюється в тому числі й від фізичних параметрів ґрунту, забезпечення органічною речовиною, аерованістю, зволоженістю [33].

Активним джерелом потрапляння в ґрунт фізіологічно активних сполук, окрім надходження їх з післязбиральними рештками, удобреннями та як результат життєдіяльності мікроорганізмів є також кореневі виділення сільськогосподарських рослин.

Відповідно попри значне вивчення дослідниками питань оцінки фітотоксичності ґрунту (Бешлей та ін., 2014; Горова, 2007; Губачов, 2010; Джура та ін., 2006; Стаднічук, 2013, Бардина та ін., 2013, Еремченко та ін., 2014, Седельникова та ін., 2013), а також особливостей взаємодії рослин та мікроорганізмів у різних сівозмінах та за беззмінного вирощування (Степаненко А.Я., К.І. Андреюк, Г.О. Іутинська) питання встановлення впливу добрив нової формуляції залишаються мало вивченими [134; 143].

Відповідно актуальним питанням залишається оцінка фітотоксичних властивостей ґрунту за впливу різних систем удобрення в умовах короткоротаційної сівозміни, яка включає одні з найбільш поширених в Україні культур: озима пшениця, соя, кукурудза та цукрові буряки.

Найбільш ефективним методом ідентифікації наявності небажаних фізіологічно активних речовин в ґрунті залишається визначення особливостей зміни росту культурних рослин. А отже, дослідження впливу ґрунтових ксенобіотиків на культури-акцептори через вивчення особливостей фітотоксичності ґрунту проводили застосовуючи в якості біотесту насіння редьки *Raphanus sativus* L [147].

Дані визначення динаміки фітотоксичності ґрунту за різних систем удобрення при вирощуванні сої наведено в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1

**Динаміка фітотоксичності ґрунту за різних систем удобрення при вирощуванні сої, УКО\*, 2016-2019 рр.**

| Системи удобрення     | Етапи вегетації культури |           |             |           |                 |           |
|-----------------------|--------------------------|-----------|-------------|-----------|-----------------|-----------|
|                       | сходи                    |           | бутонізація |           | побуріння бобів |           |
|                       | ґрунт                    | ризосфера | ґрунт       | ризосфера | ґрунт           | ризосфера |
| Промислова (контроль) | 15,02                    | 13,71     | 16,04       | 9,85      | 14,36           | 8,65      |
| Екологічна            | 6,32                     | 7,81      | 6,47        | 10,54     | 7,44            | 13,36     |
| Біологічна            | 9,80                     | 9,78      | 10,81       | 7,43      | 8,55            | 7,23      |

\*УКО – умовні кумаринові одиниці, мг/л кумарину – інгібітора росту, прийнятого за стандарт.

На початку вегетації сої найбільша фітотоксична активність спостерігалась на біологічній системі удобрення, що передбачала застосування поживних решток кукурудзи (8-12 т/га) + Біогумус (вермикомпост) «ЕКОЧУДО» 200 кг/га, що ймовірно за все викликано застосуванням великої кількості органіки та повільною нейтралізацією ґрунтовою мікробіотою алелопатичних виділень злакових культур.

Водночас розвиток рослин сої на час повних сходів сприяв зниженню у ризосферному шарі ґрунту показника фітотоксичності. Так, за біологічної системи удобрення зафіксовано зниження концентрації кумарину відносно показників контрольного варіанту – у 1,4 рази, а за екологічної у 1,76 рази.

В фазу бутонації рослин сої алелопатична активність ґрунту зростає і є максимальною за промислової системи удобрення. Це, на нашу думку, викликане активізацією процесів мінералізації від застосування мінерального удобрення. А от на системах внесення органічного добрива та рослинних решток фітотоксичність ґрунту зменшилась в 2,48 та 1,48 рази порівняно з контролем,



що пов'язане з нейтралізацією ґрунтовою мікробіотою фізіологічно активних речовин внесених з органічними добривами.

У наших дослідах зростання умовних одиниць токсичності ґрунту відмічено за екологічної системи удобрення від середини до кінця вегетації культури відносно початкового значення, що викликане повільним розкладанням рослинних решток кукурудзи та вивільненням алелопатично активних речовин.

Проведені дослідження токсичності ґрунту засвідчили, що при вирощуванні сої найменш токсичним ґрунт є у ризосферному шарі впродовж вегетації культури у порівнянні з загальними ґрунтовими зразками.

Результати досліджень зі встановлення особливостей формування фітотоксичності ґрунту за різних систем удобрення при вирощуванні пшениці озимої наведено в таблиці 5.2.

*Таблиця 5.2*

**Динаміка фітотоксичності ґрунту за різних систем удобрення при вирощуванні пшениці озимої, УКО\*, 2016-2019 рр.**

| Системи удобрення     | Етап вегетації культури |           |           |           |                           |           |
|-----------------------|-------------------------|-----------|-----------|-----------|---------------------------|-----------|
|                       | початок виходу в трубку |           | колосіння |           | молочно-воскова стиглість |           |
|                       | ґрунт                   | ризосфера | ґрунт     | ризосфера | ґрунт                     | ризосфера |
| Промислова (контроль) | 8,78                    | 5,69      | 13,05     | 9,20      | 13,81                     | 8,35      |
| Екологічна            | 8,23                    | 7,29      | 10,45     | 10,15     | 8,56                      | 8,71      |
| Біологічна            | 7,45                    | 3,97      | 8,09      | 6,36      | 4,39                      | 3,65      |

\*УКО – умовні кумаринові одиниці, мг/л кумарину – інгібітора росту, прийнятого за стандарт.

Аналіз динаміки фітотоксичності ґрунту за різних систем удобрення при вирощуванні пшениці озимої засвідчує нам значні відмінності в показниках ґрунтової токсичності порівняно зі значеннями ризосфери ґрунту. Загальна ґрунтова фітотоксичність була вищою порівняно з ризосферною на усіх етапах росту та розвитку пшениці озимої.

Активізація ґрунтових процесів викликана внесенням мінеральних добрив сприяла зростанню фітотоксичності з 8,78 УКО в фазу початку виходу в трубку в 1,49 рази в фазу колосіння та в 1,62 рази в фазу молочно-воскової стиглості.

Загалом же застосування екологічної та біологічної систем удобрення пшениці озимої теж викликало активізацію мікробіологічних процесів та відповідно збільшення фітотоксичної активності ґрунту в середині вегетації культури – в фазу колосіння. Однак, в фазу молочно-воскової стиглості показники токсичності в умовних кумаринових одиницях знижувались до 8,56 та 4,39, що є свідченням активного розкладання решток бобових культур та власне зменшення фітотоксичності викликаного цим типом удобрення.

Якщо аналізувати в цілому ефективність систем удобрення, то за застосування біологічної системи нами були отримані мінімальні значення фітотоксичності ґрунту. Причому по мірі розкладу органічних решток та засвоєння вермикомпосту наприкінці вегетації культури показники фітотоксичності були на рівні 4,39-3,65 УКО, тобто найменші в досліді.

Показники зміни фітотоксичності ґрунту за різних систем удобрення в агрофітоценозах буряків цукрових представлено в таблиці 5.3.

Вивчення алелопатичних взаємодій та встановлення як підсумок фітотоксичності ґрунту за різних систем удобрення в агрофітоценозах буряків цукрових важливо проводити більш диференційовано ніж інші культури – розрізняючи шари ґрунту 0-10 та 10-30 см. Адже буряки цукрові мають кореневу систему, що складається з головного кореня та великої кількості бічних корінців. Відповідно основна маса бічних корінців починаючи з фази змикання міжрядь знаходиться в шарі ґрунту 10-40 см, в той час як в шарі ґрунту 0-1, см їх доволі

мало. А тому визначення усередненого зразка без диференціації на шари не дозволить встановити основні аспекти зміни фітотоксичності ґрунту.

Таблиця 5.3

**Динаміка фітотоксичності ґрунту за різних систем удобрення в агрофітоценозах буряків цукрових, УКО\*, 2016-2019 рр.**

| Система удобрення     | Шар ґрунту, см | Етап вегетації культури |                 |                    |
|-----------------------|----------------|-------------------------|-----------------|--------------------|
|                       |                | 2-4 листочки            | змикання рядків | технічна стиглість |
| ґрунт                 |                |                         |                 |                    |
| Промислова (контроль) | 0-10           | 15,42                   | 17,71           | 19,45              |
|                       | 10-30          | 14,13                   | 17,24           | 17,76              |
| Екологічна            | 0-10           | 20,51                   | 13,42           | 17,68              |
|                       | 10-30          | 16,92                   | 11,24           | 18,45              |
| Біологічна            | 0-10           | 31,21                   | 16,52           | 9,98               |
|                       | 10-30          | 14,43                   | 9,39            | 4,50               |
| ризосфера             |                |                         |                 |                    |
| Промислова (контроль) |                | 11,98                   | 12,83           | 15,68              |
| Екологічна            |                | 20,31                   | 12,80           | 9,69               |
| Біологічна            |                | 20,02                   | 6,44            | 6,79               |

\*УКО – умовні кумаринові одиниці, мг/л кумарину – інгібітора росту, прийнятого за стандарт.

Дослідження особливостей прояву фітотоксичності ґрунту під впливом застосування різних систем удобрення за вирощуванні буряків цукрових дозволяє стверджувати, що в шарі ґрунту 0-10 см впродовж основних етапів росту та розвитку буряків акумулюється більше алелопатично активних речовин, що спричиняє значне навантаження на рослини, особливо за умови вимивання їх в більш глибокі шари ґрунту з опадами.

Встановлено, що вміст токсинів у ґрунті зазнає постійних змін і наприкінці вегетації алелопатична активність витяжки за промислової системи удобрення максимальна порівняно з іншими варіантами підживлення рослин.

За застосування екологічної системи удобрення (пожнивні рештки пшениці (8-10 т/га) +  $N_{90}P_{60}K_{90}$ ) та особливо біологічної (пожнивні рештки пшениці (8-10 т/га) + Біогумус (вермикомпост) «ЕКОЧУДО» 1000 кг/га) показники фітотоксичної активності ґрунту в фазу 2-4 листочків в буряків цукрових були найбільш високими. А от під час подальшої вегетації значення знизились на 34-47 %.

Зростання фітотоксичності нижніх шарів ґрунту на час технічної стиглості буряків на нашу думку пов'язане не з активізацією мікробіологічних процесів на час пізньої осені, а з тим що відбувається часткове вимивання токсичних сполук з поверхневого шару ґрунту [13].

Дослідження динаміки фітотоксичності ґрунту за різних систем удобрення при вирощуванні кукурудзи на зерно наведено в таблиці 5.4.

Таблиця 5.4

**Динаміка фітотоксичності ґрунту за різних систем удобрення при вирощуванні кукурудзи на зерно, УКО\*, 2016-2019 рр.**

| Системи<br>удобрення     | Етап вегетації культури |           |                  |           |                              |           |
|--------------------------|-------------------------|-----------|------------------|-----------|------------------------------|-----------|
|                          | 5-7 листків             |           | викидання волоті |           | МОЛОЧНО-ВОСКОВА<br>СТИГЛІСТЬ |           |
|                          | ґрунт                   | ризосфера | ґрунт            | ризосфера | ґрунт                        | ризосфера |
| Промислова<br>(контроль) | 15,73                   | 12,79     | 16,34            | 12,93     | 17,89                        | 14,36     |
| Екологічна               | 23,10                   | 12,05     | 16,20            | 12,20     | 14,35                        | 10,25     |
| Біологічна               | 27,84                   | 19,87     | 10,05            | 7,84      | 9,25                         | 8,79      |

\*УКО – умовні кумаринові одиниці, мг/л кумарину – інгібітора росту, прийнятого за стандарт.

Застосування значних кількостей органічних добрив в комбінації з пожнивними рештками та мінеральним удобренням сприяло отриманню істотних показників фітотоксичності ґрунту на екологічній та біологічній системі удобрення кукурудзи – 23,10 УКО та 27,84 УКО, по аналогії з цукровими буряками. І це не дивно, адже кукурудза серед усіх досліджуваних культур короткоротаційних сівозмін перебуває на другому місці після цукрових буряків за інтенсивністю удобрення.

Аналогічно іншим культурам сівозміни мінімальні значення фітотоксичності ґрунту спостерігались в ризосферній зоні ґрунту не залежно від фази росту та розвитку культури, якщо порівнювати ці показники з фітотоксичністю шару ґрунту.

Загалом же встановлено, що за застосування мінеральної системи удобрення фітотоксичність ґрунту зростала і на час молочно-воскової стиглості кукурудзи вона була на рівні 17,89 УКО, в той час як в фазу 5-7 листків лише 15,37 УКО.

За застосування екологічної системи удобрення (пожнивні рештки буряків цукрових (30-40 т/га) +  $N_{15}P_{30}K_{30}$ ) фітотоксичність ґрунту впродовж вегетації зменшилась на 37,9 %. В той же час максимальне зменшення відбулось на 66,8 % за біологічної системи удобрення (пожнивні рештки буряків цукрових (30-40 т/га) + Біогумус (вермикомпост) «ЕКОЧУДО» 750 кг/га). Причому за біологічної системи удобрення спостерігалось швидке зниження фітотоксичності уже в фазу викидання волоті, що пояснюється тим що гичка цукрових буряків доволі легко розкладається мікробіотою ґрунту порівняно навіть з соломою злакових чи бобових культур.

Виходячи з проаналізованих нами даних фітотоксичності, умови ґрунтового середовища за біологічної системи землеробства виявились найбільш сприятливими для розвитку наступних сільськогосподарських культур: соя, пшениця, цукрові буряки, кукурудза.

## **5.2. Динаміка ферментативної активності ґрунту за різних систем удобрення**

Ферменти ґрунту синтезуються мікроорганізмами та відіграють важливу роль в обміні речовин, адже вони є біологічними каталізаторами перетворень рослинних решток. Адже ферментативна активність ґрунту не тільки впливає на ріст та розвиток мікробних угруповань, а й активує біохімічні перетворення органічної речовини та інших елементів живлення. А тому знання ферментативної активності ґрунту дозволяють провести оцінку впливу антропогенного навантаження на ґрунт [190; 192].

Здебільшого ферменти потрапляють в ґрунт після відмирання і лізису мікробних клітин та тривалий час можуть зберігати свою активність [199].

Ферментативна активність ґрунту перебуває в прямій залежності від інтенсивності розвитку та складу мікробних угруповань. В зв'язку з чим вплив навколишнього середовища та факторів агротехніки відображаються на ферментативній активності мікробоценозу. А спрямованість біохімічних процесів в ґрунті і може бути індикатором стану його біоти [173].

Активність ферментів залежить від багатьох факторів, зокрема: чисельності та активності мікробіоти ґрунту, від фізико-хімічних властивостей ґрунту, вмісту органічної речовини, погодних умов вегетаційного періоду, надходження в ґрунт органічних решток, тощо [201].

Серед ферментів найбільш цікавими до вивчення є окисно-відновні ферменти (каталаза) та фермент класу гідролаз – протеаза. Каталаза є каталізатором процесів деструкції органічних ксенобіотиків, а протеаза розщеплює пептидний зв'язок між амінокислотами в білках [201].

Отримані нами результати свідчать про те, що рівень біологічної активності ґрунту безпосередньо залежить від антропогенного навантаження та змінюється залежно від вирощуваних культур сівозміни.

Результати досліджень з вивчення особливостей формування ферментативної активності ґрунту за різних систем удобрення в агрофітоценозах сої подані в таблиці 5.5.

Таблиця 5.5

**Динаміка ферментативної активності ґрунту за різних систем удобрення в агрофітоценозах сої, 2016-2019 рр.**

| Система<br>удобрення          | Етапи вегетації культури                     |  |   |  |  |  |
|-------------------------------|--|--|---|--|--|--|
|                               | сходи  |  | бутонізація                               |  | побуріння бобів                              |  |
|                               | протеаза,<br>ж. од./40<br>год/10 г<br>ґрунту | каталаза,<br>см <sup>3</sup> O <sub>2</sub> /хв/<br>г ґрунту | протеаза, ж.<br>од./40 год/10<br>г ґрунту | каталаза,<br>см <sup>3</sup> O <sub>2</sub> /хв/ г<br>ґрунту | протеаза, ж.<br>од./40<br>год/10 г<br>ґрунту | каталаза,<br>см <sup>3</sup> O <sub>2</sub> /хв/ г<br>ґрунту |
| ґрунт                         |  |  |   |  |  |  |
| Промислова                    | 33,60  | 8,84   | 34,78                                     | 8,54   | 36,21  | 8,43   |
| Екологічна                    | 41,52  | 11,64  | 42,07                                     | 10,20  | 43,84  | 9,52   |
| Біологічна                    | 39,68  | 11,53  | 42,12                                     | 10,28  | 43,78  | 9,61   |
| ризосфера                     |  |  |   |  |  |  |
| Промислова                    | 33,55  | 8,93   | 35,81                                     | 9,23   | 36,62  | 8,47   |
| Екологічна                    | 41,54  | 11,70  | 43,21                                     | 11,30  | 44,20  | 9,89   |
| Біологічна                    | 39,62  | 11,57  | 43,33                                     | 11,40  | 43,80  | 9,93   |
| НІР <sub>0,05</sub> ґрунт     | 1,89   | 0,56   | 0,41                                      | 0,34   | 0,87   | 0,49   |
| НІР <sub>0,05</sub> ризосфера | 1,95   | 0,68   | 0,53                                      | 0,47   | 0,90   | 0,66   |

Якщо аналізувати протеазну активність ґрунту за застосування різних систем удобрення, то вона посилювалась впродовж вегетації сої. Однак, за застосування мінеральних добрив нами були отримані дещо менші показники порівняно з органо-мінеральною та органічною системами удобрення. Такі

закономірності ймовірніше за все викликані тим, що відбувається пригнічення протеазної активності ґрунту за рахунок кислотних залишків мінеральних добрив.

Встановлено, що активність протеази в орному шарі ґрунту за вирощуванні сої в умовах екологічної системи удобрення підвищувалась впродовж вегетації і становила: в фазу сходів – 41,52 ж.од., в фазу бутонізації - 42,07 ж.од., а в фазу побуріння бобів – 43,84 ж.од. Аналогічні результати були отримані нами за застосування і біологічної системи удобрення.

Загалом же відомо що внесення помірної кількості мінеральних добрив сприяє посиленню пероксидазної активності ґрунту, а от надмірні їх дози призводять до пригнічення даного показника [175]. А отже, опосередковано можна зробити висновок про те, що застосовувані нами системи удобрення сої забезпечують оптимальні умови азотного живлення. Відповідно це сприяє посилення мікробіологічної активності ґрунту та активізації протеази.

Дослідження особливостей ензиматичної активності ґрунту впродовж вегетації сої свідчить про те що застосування інтенсивних технологій вирощування з високим рівнем антропогенного навантаження відповідно й впливає на активність ферментів. Так, встановлено, що каталаза зменшує свою активність впродовж вегетації сої.

Крім того, варто зауважити, що результати визначення каталазної активності ґрунту свідчать нам що розклад перекису водню при застосуванні мінеральної системи удобрення відбувається повільніше ніж за органо-мінеральної чи органічної систем удобрення.

Згідно з результатами досліджень інших вчених такі закономірності можна пояснити тим, що мінеральні добрива містять значну кількість нітратних, фосфатних та інших фізіологічно-кислих іонів. Підкислення ґрунту, яке викликають дані іони призводить і до інгібування ферменту каталази [175; 176; 222].

Окремо варто зупинитись на особливостях визначення протеазної та каталазної активності ґрунту в ризосфері сої. Адже, як відомо, коренева система



рослин не тільки поглинає воду та елементи живлення, а й взаємодіє з ґрунтом шляхом виділення фізіологічно активних речовин. Однак, на час формування повних сходів рослини сої сформували доволі малу кореневу систему, що аж ніяк не може достовірно вплинути на формування даних показників ферментативної активності.

В фазу бутонізації рослин, коли взаємодія сої з ґрунтом була спрямована на інтенсивний ріст та формування генеративних органів, протеазна активність ризосфери за промислової системи удобрення була на 1,03 ж. од., екологічної на 1,14 та біологічної на 1,21 ж. од. вище порівняно з активністю орного шару ґрунту.

Також, за результатами досліджень встановлено, що каталазна активність у ризосферному шарі ґрунту була більш високою ніж в орному. Також, слід відмітити той факт що каталазна активність за екологічної та біологічної систем удобрення була дещо вищою чим за промислової системи. А отже, за вирощування сої за біологічної системи удобрення активність каталази в фазу сходів становила  $12,97 \text{ см}^3\text{O}_2/\text{хв}/\text{г}$  ґрунту, в фазу бутонізації була  $11,40 \text{ см}^3\text{O}_2/\text{хв}/\text{г}$  ґрунту, а в фазу побуріння бобів –  $9,93 \text{ см}^3\text{O}_2/\text{хв}/\text{г}$  ґрунту, тоді як за промислової системи удобрення відповідно  $10,79$ ,  $9,23$  і  $8,47 \text{ см}^3\text{O}_2/\text{хв}/\text{г}$  ґрунту.

Що стосується узагальнень то можна відмітити що максимальний пік активності ферменту каталази припадав на період інтенсивної вегетації культури та відбувалось зменшення в другій половині вегетації рослин. На нашу думку це можна пояснити активністю кореневої системи рослин не тільки в плані поглинання елементів живлення, а й виділення речовин в ґрунт, в тому числі й ферментів.

Дані отримані за дослідження особливостей формування ферментативної активності ґрунту за різних систем удобрення в агрофітоценозах пшениці озимої подані в таблиці 5.6.

Таблиця 5.6

**Динаміка ферментативної активності ґрунту за різних систем удобрення в агрофітоценозах пшениці озимої, 2016-2019 рр.**

| Система<br>удобрення          | Етапи вегетації культури                     |  |  |  |  |  |
|-------------------------------|--|--|--|--|--|--|
|                               | початок виходу в<br>трубку                   |  | колосіння                                    |  | молочно-воскова<br>стиглість                 |  |
|                               | протеаза,<br>ж. од./40<br>год/10 г<br>ґрунту | каталаза,<br>см <sup>3</sup> O <sub>2</sub> /хв/<br>г ґрунту | протеаза,<br>ж. од./40<br>год/10 г<br>ґрунту | каталаза,<br>см <sup>3</sup> O <sub>2</sub> /хв/<br>г ґрунту | протеаза,<br>ж. од./40<br>год/10 г<br>ґрунту | каталаза,<br>см <sup>3</sup> O <sub>2</sub> /хв/ г<br>ґрунту |
| ґрунт                         |  |  |  |  |  |  |
| Промислова                    | 25,70  | 7,87   | 31,40  | 7,10   | 35,00  | 6,30   |
| Екологічна                    | 32,98  | 11,05  | 36,90  | 10,07  | 38,66  | 8,43   |
| Біологічна                    | 33,75  | 11,94  | 37,05  | 10,84  | 39,13  | 8,80   |
| ризосфера                     |  |  |  |  |  |  |
| Промислова                    | 27,88  | 8,52   | 35,31  | 8,78   | 41,25  | 6,90   |
| Екологічна                    | 33,20  | 12,10  | 41,10  | 11,40  | 43,23  | 10,03  |
| Біологічна                    | 34,20  | 12,90  | 42,05  | 11,74  | 44,21  | 10,16  |
| НІР <sub>0,05</sub> ґрунт     | 1,23   | 0,99   | 0,77   | 0,94   | 0,72   | 0,60   |
| НІР <sub>0,05</sub> ризосфера | 1,40   | 1,05   | 0,83   | 1,10   | 0,80   | 0,67   |

Як показують результати досліджень з вивчення особливостей протеазної активності ґрунту за вирощування пшениці озимої вона зростає за застосування досліджуваних систем удобрення впродовж вегетації. Так, визначено, що в орному шарі ґрунту в умовах біологічної системи удобрення активність протеази зросла впродовж вегетації і в фазу початку виходу в трубку була – 33,75 ж.од., в фазу колосіння – 37,05 ж.од., а в фазу молочно-воскової стиглості – 39,13 ж.од. Аналогічні закономірності ферментативної активності ґрунту було отримано нами і за застосування екологічної системи удобрення, що підтверджує

припущення про те що помірне застосування мінеральних добрив сприяє посиленню протезної активності ґрунту. А от за внесення суто мінерального живлення протеазна активність ґрунту була мінімальною по досліді, що ймовірно викликано зміною кислотності за рахунок мінеральних компонентів добрив.

Каталазна активність ґрунту впродовж вегетації пшениці озимої зменшувалась та мінімальні показники були отримані в фазу молочно-воскової стиглості зерна пшениці. Крім того, порівняно з промисловою системою удобрення, екологічна та біологічна система в фазу початку виходу в трубку забезпечували формування на 3,18 та 4,07  $\text{cm}^3\text{O}_2/\text{хв/г}$  ґрунту, в фазу колосіння на 2,97 та 3,74  $\text{cm}^3\text{O}_2/\text{хв/г}$  ґрунту, а в фазу молочно-воскової стиглості на 2,13 та 2,50  $\text{cm}^3\text{O}_2/\text{хв/г}$  ґрунту кращих показників каталазної активності.

В ризосферному шарі ґрунту пшениці озимої показники протеазної та каталазної активності ґрунту були більшими чим у орному шарі ґрунту. Аналогічно вищі показники забезпечували і екологічна та біологічна системи удобрення порівняно з промисловою.

Якщо порівнювати активність протеази в контексті активності в орному шарі ґрунту та розосфері, то слід звернути увагу на те що найбільш істотні відмінності спостерігались за застосування промислової системи удобрення. Так, в фазу початку виходу в трубку в ризосфері активність протеази була на 2,18, в фазу колосіння на 3,91 а в фазу молочно-воскової стиглості на 6,25 ж.од. вищою чим в орному шарі ґрунту. На нашу думку це пов'язано не тільки з активізацією корневих виділень рослин а й з тим що значна частина мінерального компоненту добрив ризосфери поглинається рослинами пшениці озимої впродовж вегетації. а тому відбуваються процеси локального розкислення ґрунту що сприяє активізації протеази.

Застосування екологічної та біологічної систем удобрення пшениці озимої сприяло активізації протеазної активності в фазу початку виходу в трубку на 0,22-0,45, в фазу колосіння на 4,2-5,0 а в фазу молочно-воскової стиглості на 4,57-5,08 ж.од. більше чим в орному шарі ґрунту.

Каталазна активність ризосферного ґрунту за вирощування пшениці озимої за біологічної системи удобрення була найвищою в досліді порівняно з іншими системами удобрення ґрунту, та в фазу початку виходу в трубку становила  $12,9 \text{ см}^3\text{O}_2/\text{хв}/\text{г}$  ґрунту, в фазу колосіння 11,74, а в фазу молочно-воскової стиглості цей показник становив  $10,16 \text{ см}^3\text{O}_2/\text{хв}/\text{г}$  ґрунту.

Результати вивчення особливостей формування ферментативної активності ґрунту за різних систем удобрення в агрофітоценозах буряків цукрових подані в таблиці 5.7.

Підхід до вивчення особливостей формування ферментативної активності ґрунту на посівах буряків цукрових був дещо іншим порівняно з іншими культурами сівозміни. Так, за рахунок того що коренева система стрижнева та проникає в ґрунт на глибину 1,5-2 м виокремити зону ризосфери можна лише біля бічних корінців що відходять з двох протилежних боків коренеплоду. Крім того, відомо що буряки цукрові активно поширюють кореневу систему в шарі ґрунту 0-30 см, що само по собі вимагає вивчення активності ферментів ґрунту пошарово, адже за на різних глибинах, як правило відрізняються й дані активності мікроорганізмів ґрунту.

Аналіз протеазної активності ґрунту показує нам дещо інші закономірності порівняно з культурами більш короткого вегетаційного періоду: соя та пшениці. Зокрема, аналогічно іншим досліджуваним культурам активність протеаз зростає починаючи з початку їх вегетації і в середині вегетації буряків цукрових (тобто влітку) – фаза змикання рядків вона є максимально. А от в осінній період – на час настання технічної стиглості коренеплодів буряків цукрових (20 вересня – 10 жовтня) пероксидазна активність ґрунту знижується, що цілком закономірно. Адже восени мікробіологічні процеси сповільнюються та зупиняються ближче до періоду стійкого похолодання.

Найменші значення протеазної активності ґрунту, на період формування 2-4 справжніх листочків в буряків цукрових, спостерігались за промислової системи удобрення як в верхніх шарах ґрунту (16,30 ж. од.) так і в шарі 10-30 см – 18,47 ж. од. Попри те, що динаміка зміни протеазної активності ґрунту зростала

впродовж вегетації буряків цукрових даний варіант відзначався гіршими показникам порівняно з екологічною та біологічною системами удобрення.

Таблиця 57

**Динаміка ферментативної активності ґрунту за різних систем удобрення в агрофітоценозах цукрових буряків, 2016-2019 рр.**

| Система<br>удобрення          | Шар<br>ґрунту,<br>см | Етапи вегетації культури                     |                                    |  |                                    |  |                                    |
|-------------------------------|----------------------|--|------------------------------------|--|------------------------------------|--|------------------------------------|
|                               |                      | 2-4 листочки                                 |                                    | змикання рядків                              |                                    | технічна стиглість                           |                                    |
|                               |                      | протеаза,<br>ж. од./40<br>год/10 г<br>ґрунту | каталаза,<br>см³О₂/хв/<br>г ґрунту | протеаза,<br>ж. од./40<br>год/10 г<br>ґрунту | каталаза,<br>см³О₂/хв/<br>г ґрунту | протеаза,<br>ж. од./40<br>год/10 г<br>ґрунту | каталаза,<br>см³О₂/хв/<br>г ґрунту |
| ґрунт                         |                      |  |                                    |  |                                    |  |                                    |
| Промислова                    | 0-10                 | 16,30  | 5,32                               | 33,70  | 7,53                               | 26,20  | 6,42                               |
|                               | 10-30                | 18,47  | 5,64                               | 35,90  | 7,90                               | 28,70  | 6,63                               |
| Екологічна                    | 0-10                 | 25,45  | 7,81                               | 45,00  | 10,20                              | 30,11  | 8,35                               |
|                               | 10-30                | 27,10  | 7,96                               | 47,10  | 10,63                              | 33,90  | 8,47                               |
| Біологічна                    | 0-10                 | 32,20  | 9,12                               | 47,30  | 11,05                              | 32,20  | 8,78                               |
|                               | 10-30                | 34,31  | 9,33                               | 50,20  | 11,20                              | 36,01  | 8,98                               |
| ризосфера                     |                      |  |                                    |  |                                    |  |                                    |
| Промислова                    |                      | 18,92  | 6,79                               | 37,84  | 8,84                               | 30,25  | 9,82                               |
| Екологічна                    |                      | 29,34  | 8,98                               | 49,98  | 12,03                              | 34,89  | 10,00                              |
| Біологічна                    |                      | 35,46  | 10,85                              | 52,14  | 14,12                              | 35,63  | 11,56                              |
| НІР <sub>0,05</sub> 0-10см    |                      | 1,56   | 0,31                               | 2,14   | 0,58                               | 1,71   | 0,44                               |
| НІР <sub>0,05</sub> 10-30см   |                      | 2,35   | 0,40                               | 2,26   | 0,68                               | 1,84   | 0,52                               |
| НІР <sub>0,05</sub> ризосфера |                      | 2,44   | 1,02                               | 3,05   | 0,74                               | 1,92   | 0,60                               |

Варто окремо зауважити на тому, що кращі показники протеазної активності ґрунту спостерігались в шарі ґрунту 10-30 см а ніж в шарі 0-10 см. на нашу думку цьому сприяло не тільки активізація мікробіологічної діяльності в більш глибоких шарах ґрунту, а й те що під буряки цукрові виконується основний обробіток ґрунту з оборотом пласта на глибину 25-30см, а отже значно змінюється склад мікробних угруповань та рослинні рештки і добрива потрапляють в глибші шари ґрунту.

Максимальні показники протеазної активності ґрунту спостерігались за умови застосування під буряки цукрові біологічної системи удобрення, та в фазу змикання рядків в буряків, в шарі ґрунту 0-10 см вони були 47,30 ж. од., а в шарі ґрунту 10-30 – 50,20 ж. од. відповідно.

Каталазна активність ґрунту на початку вегетації культури (фаза 2-4 листочків) за промислової системи удобрення була найнижчою – 5,32-5,64 см<sup>3</sup>O<sub>2</sub>/хв/г ґрунту, за екологічної становила відповідно 7,81-7,96, а за біологічної – 9,12-9,33 см<sup>3</sup>O<sub>2</sub>/хв/ г ґрунту. В фазу змикання рядків активність каталази ґрунту зросла на варіанті промислової системи удобрення до 7,53-7,90 см<sup>3</sup>O<sub>2</sub>/хв/г ґрунту, а за біологічного удобрення до 11,05-11,20 см<sup>3</sup>O<sub>2</sub>/хв/г ґрунту. А от в фазу технічної стиглості буряків цукрових каталазна активність ґрунту по аналогії з протеазною активністю зменшилась, що викликане пізніми строками збирання культури та відповідним зниженням мікробіологічної активності ґрунту восени.

По аналогії з іншими культурами протеазна та каталазна активність ґрунту в ризосфері буряків цукрових була вищою порівняно з різноглибинними показниками ґрунту.

Кращі показники за протеазною активністю ґрунту спостерігались за застосування біологічної системи удобрення та в фазу 2-4 листочків культури вона була на рівні 35,46 ж. од., в фазу змикання рядків – 52,14 ж. од., а в фазу технічної стиглості – 35,63 ж. од.

Аналогічно даним отриманим за аналізу каталазної активності ґрунту в ризосфері буряків цукрових за застосування мінеральної системи удобрення

спостерігались гірші параметри чим при використанні екологічної та біологічної систем. Причому кращі показники активності ґрунту відмічались за біологічної системи удобрення.

Дані дослідження особливостей формування ферментативної активності ґрунту за різних систем удобрення в агрофітоценозах кукурудзи подані в таблиці 5.8.

Таблиця 5.8

**Динаміка ферментативної активності ґрунту за різних систем удобрення в агрофітоценозах кукурудзи на зерно, 2016-2019 рр.**

| Система удобрення             | Етапи вегетації культури            |  |                                     |  |                                     |  |
|-------------------------------|-------------------------------------|--|-------------------------------------|--|-------------------------------------|--|
|                               | 5-7 листків                         |  | викидання волоті                    |  | МОЛОЧНО-ВОСКОВА СТИГЛІСТЬ           |  |
|                               | протеаза, ж. од./40 год/10 г ґрунту | каталаза, см <sup>3</sup> O <sub>2</sub> /хв/ г ґрунту | протеаза, ж. од./40 год/10 г ґрунту | каталаза, см <sup>3</sup> O <sub>2</sub> /хв/ г ґрунту | протеаза, ж. од./40 год/10 г ґрунту | каталаза, см <sup>3</sup> O <sub>2</sub> /хв/ г ґрунту |
| ґрунт                         |                                     |  |                                     |  |                                     |  |
| Промислова                    | 30,15                               | 8,48   | 33,69                               | 7,92   | 34,01                               | 7,39   |
| Екологічна                    | 37,05                               | 11,47  | 40,09                               | 10,24  | 39,65                               | 9,00   |
| Біологічна                    | 37,22                               | 11,86  | 40,19                               | 10,66  | 39,86                               | 9,23   |
| ризосфера                     |                                     |  |                                     |  |                                     |  |
| Промислова                    | 31,22                               | 8,85   | 36,16                               | 9,11   | 37,34                               | 7,71   |
| Екологічна                    | 37,17                               | 12,02  | 42,76                               | 11,45  | 42,12                               | 9,98   |
| Біологічна                    | 37,41                               | 12,36  | 43,29                               | 11,67  | 42,41                               | 10,07  |
| НІР <sub>0,05</sub> ґрунт     | 1,00                                | 0,51   | 1,09                                | 0,75   | 1,01                                | 0,46   |
| НІР <sub>0,05</sub> ризосфера | 1,12                                | 0,60   | 1,24                                | 0,89   | 1,17                                | 0,53   |

Протеазна активність ґрунту за вирощування кукурудзи, по аналогії з іншими культурами сівозміни зростає за застосування досліджуваних систем

удобрення та впродовж вегетації. В орному шарі ґрунту за біологічної системи удобрення активність протеази в фазу 5-7 листків була – 37,22 ж.од., в фазу викидання волоті – 42,19 ж.од., а в фазу молочно-воскової стиглості – 39,86 ж.од. Дещо подібні закономірності формування ферментативної активності ґрунту було отримано і за екологічної системи удобрення, а за суто мінерального живлення протеазна активність ґрунту була найменшою по досліді.

Каталазна активність ґрунту зменшувалась впродовж вегетаційного періоду та мінімальні значення були в фазу молочно-воскової стиглості зерна кукурудзи. Якщо порівнювати з промисловою системою то екологічна та біологічна системи забезпечували формування кращих показників каталазної активності впродовж усієї вегетації кукурудзи.

В ризосферному шарі ґрунту кукурудзи на зерно, аналогічно значенням отриманим по інших культурах, показники протеазної та каталазної активності ґрунту були більшими чим у орному шарі. Так, активність протеази в фазу 5-7 листків в ризосфері була на 0,12-1,06, в фазу викидання волоті на 2,47-3,10 а в фазу молочно-воскової стиглості на 2,46-3,33 ж.од. вищою чим в орному шарі ґрунту.

Встановлено, що каталазна активність ризосферного ґрунту за біологічної системи удобрення була найвищою в досліді порівняно з іншими системами удобрення ґрунту, та в фазу 5-7 листків становила 12,36 см<sup>3</sup>O<sub>2</sub>/хв/г ґрунту, в фазу викидання волоті 11,67, а в фазу молочно-воскової стиглості цей показник становив 10,0,7 см<sup>3</sup>O<sub>2</sub>/хв/ г ґрунту.

### **Висновки по розділу 5:**

Визначено, що вміст токсинів у ґрунті зазнає постійних змін і наприкінці вегетації алелопатична активність ґрунту за промислової системи удобрення максимальна порівняно з іншими варіантами підживлення рослин.

В той же час в ризосферній зоні ґрунту спостережено мінімальні значення фітотоксичності в усіх досліджуваних нами культур.



Виходячи з проаналізованих нами даних фітотоксичності, умови ґрунтового середовища за біологічної системи землеробства виявились найбільш сприятливими для розвитку наступних сільськогосподарських культур: соя, пшениця, цукрові буряки, кукурудза.

Отже, можна узагальнити що активність протеази зростала від початку до кінця вегетаційного періоду, а максимальні показники активності ферменту каталази спостерігались орієнтовно в середині вегетації досліджуваних культур, а до завершення її відбувалось зменшення цього показника. Отримані результати не суперечать з працями інших вчених, в яких стверджується що високі показники вмісту гумусу призводять до вищих значень активності гідролаз: протеаза, фосфатаза, уреаза, інвертаза. В той же час ферменти оксидоредуктази: пероксидаза, каталаза, поліфенолоксидаза мають зворотну залежність від вмісту в ґрунті гумусу.

Відповідно за поганого вмісту в ґрунті органічної речовини та гумусу процеси розкладу органічних решток та синтезу гумусових сполук проходять більш інтенсивно, що й показує активність окисно-відновних ферментів. А отже, протеазна активність ґрунту впродовж вегетації зростає, а активність каталази знижується, що яскраво помітно в другій половині вегетації сільськогосподарських культур досліджуваної сівозміни.

Результатами досліджень показано, що за біологічної системи удобрення сільськогосподарських культур сівозміни створюються оптимальні умови для перебігу мікробіологічних та ферментативних процесів. А висока ферментативна активність в цьому варіанті досліді, очевидно є наслідком активізації трансформаційних процесів у ґрунті.

## РОЗДІЛ 6

### ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ПОЖИВНОГО РЕЖИМУ ҐРУНТУ

Особливості екологічної збалансованості та біологічного спрямування сучасних систем землеробства передбачають потребу дослідження біологічних процесів формування родючості ґрунту. Адже ґрунт розвивається не лише за законами неорганічної, але й живої природи, оскільки містить доволі великі кількості ґрунтоживучих мікроорганізмів [15]. А тому для формування високого рівня урожайності екологічно-безпечної продукції рослинництва та одночасного підтримання рівноваги екосистеми ґрунту, слід досліджувати взаємозв'язки між рослинами, добривами та ґрунтоживучими мікроорганізмами і власне ґрунтом. Відповідно, такий підхід вимагає не тільки встановлення особливостей змін чисельності мікроорганізмів ґрунту а й поглибленого дослідження, окрім інших властивостей ґрунту, його біологічної активності та доступності рослинам елементів живлення.

Адже тенденції останніх десятиліть показують що при промисловому вирощуванні сільськогосподарських культур застосовують високі норми мінеральних добрив, синтетичні регулятори росту, пестициди та інші агрохімікати. Цілком закономірно що вони істотно впливають на закономірності формування ґрунтової біоти, а особливо пригнічують розвиток та біологічну активність мікроорганізмів що тим самим призводить до порушень стабільності агроценозу. За систематичного застосування таких агроприймів відбувається погіршення ґрунтової родючості та інших цінних його властивостей [18; 31].

Життєдіяльність мікроорганізмів в контексті взаємодії з структурами ґрунту надзвичайно важлива, адже всі процеси перетворення речовин якраз і залежать від їх активності. А тому мікроорганізми вносять вагомий внесок в трансформацію біогенних речовин та енергії в природі, адже вони мають значні адаптивні та метаболічні можливості [90].

Наслідком життєдіяльності мікроорганізмів є не тільки продуковані ними ферменти від активності яких залежить формування ґрунтової родючості, а й перетворення елементів живлення, що роблять їх доступними рослинам в ґрунті. А тому питання вивчення чисельності та активності мікробіоти ґрунту слід розглядати також і в контексті екологічної стабільності екосистеми та формування ними достатніх кількостей елементів живлення необхідних для повноцінного росту та розвитку сільськогосподарських рослин.

### **6.1. Динаміка вмісту нітратного азоту в орному шарі ґрунту за різних систем удобрення**

Запаси азоту в ґрунті представлені органічними та мінеральними сполуками кількість яких залежить від особливостей ґрунту та швидкості мінералізації органічних речовин [63]. Однак в основному в ґрунті містяться складні органічні сполуки азоту в той же час як на частку сполук мінерального азоту припадає лише від 3 до 7 %.

Сполуки мінерального азоту ґрунту представлені нітратною та амонійною формами. Амонійна форма обмінно фіксується ґрунтовим вбирним комплексом, а от нітратний азот більш рухливий і здатний мігрувати. А тому саме надмірна кількість нітратного азоту може призвести до забруднення підземних вод та продукції рослинництва [70; 143].

Нітрати в ґрунті накопичуються за рахунок поетапного розпаду органічних сполук, в наслідок чого він трансформуються у нітратну форму Вони здатні швидко асимілюватися рослинами. [87].

Основним фактором трансформації азотовмісних сполук ґрунту є олігоазотрофні та нітрофільні мікроорганізми, в наслідок життєдіяльності яких збільшується вміст білкових речовин у ґрунті. Адже вони мінімізують міграцію вільних форм азоту біологічно закріплюючи його [112].

Окрім мікробіологічних процесів трансформації азоту ґрунту та симбіотичного його засвоєння одним з головних факторів підтримання високої

родючості ґрунту є стабільне забезпечення його добривами. Адже, порівняно з іншими елементами живлення, азот характеризується відносно швидкою трансформацією та рухливістю [136].

Питання нітратного живлення рослин надзвичайно важливе, адже надлишок нітратної форми азоту призводить до складних екологічних наслідків. Причому зростання накопичення нітратів рослинами може відбуватись при застосуванні високих норм азотних добрив, а також і за внесення органічної речовини, якщо є сприятливі умови для мінералізації цих сполук та мобілізації азоту [126; 127].

Здебільшого нітратний режим ґрунту формується під впливом застосування добрив, як органічного, так і мінерального походження. А тому істотно залежить від особливостей відтворення ґрунтової родючості. А отже, важливо встановити закономірності забезпечення рослин нітратним азотом за різних систем удобрення та інтенсивності споживання його культурами сівозміни.

Дані формування динаміки вмісту нітратного азоту в орному шарі ґрунту за різних систем удобрення при вирощуванні сої наведено в таблиці 6.1.

*Таблиця 6.1*

**Динаміка вмісту нітратного азоту в орному шарі ґрунту за різних систем удобрення при вирощуванні сої, NO<sub>3</sub> мг/кг, 2016-2019 рр.**

| Система удобрення     | Фази розвитку культури |             |                 |
|-----------------------|------------------------|-------------|-----------------|
|                       | сходи                  | бутонізація | побуріння бобів |
| Промислова (контроль) | 5,8                    | 4,7         | 3,7             |
| Екологічна            | 5,2                    | 3,5         | 2,8             |
| Біологічна            | 5,6                    | 5,3         | 4,6             |
| НІР <sub>0,05</sub>   | 0,5                    | 0,4         | 0,5             |

Завдяки особливостям удобрення культури, а особливо ставці на компенсацію частини потреб азоту за рахунок симбіотичної азотфіксації в ґрунті

за результатами досліджень відмічено низький рівень вмісту нітратного азоту за всіх систем удобрення.

Водночас, за результатами проведених досліджень встановлено що вміст нітратного азоту в ґрунті при вирощуванні сої, на час повних сходів культури, був найвищим по усіх варіантах досліду порівняно з іншими фазами росту та розвитку рослин.

В той же час перехід від мінерального до органо-мінерального удобрення за зниження норми застосування мінеральних добрив сприяє тому що рівень забезпечення культури нітратним азотом знижується. Так, за застосування екологічної системи удобрення він становив 5,2, порівняно з промисловою – 5,8 мг/кг.

Підвищення фізіологічних потреб рослин сої стосовно споживання азоту та посилення мікробіологічної іммобілізації сприяло тому що впродовж вегетації культури його запаси в ґрунті поступово вичерпуються, особливо активно в другій половині – коли йде формування та досягання насіння. А тому на усіх без виключення системах удобрення сої спостерігались зміни вмісту нітратів за та зменшення їх кількостей до кінця вегетації культури.

Однак, варто відмітити що за використання біологічної системи удобрення, збалансованої відповідно до потреб культури, рослини сої використовують більш ефективно нітратний азот. Так, на час побуріння бобів в ґрунті відмічено вміст азоту на рівні 4,6 мг/кг.

Пшениця озима впродовж вегетації потребує більш інтенсивного забезпечення азотом, так як на відміну від бобових культур не може активно проводити симбіотичну азотфіксацію. Хоча можливості взаємодії з азотфіксуючими мікроорганізмами ризосфери підтверджені, однак обсяги надходження азоту до рослин пшениці не суттєві, порівняно з тим що дають колонії бульбочкових бактерій бобовим рослинам [48; 169].

А тому питання оптимізації азотного живлення пшениці потребує більшої уваги чим питання додаткового азотного забезпечення зернобобових культур. Особливо з точки зору запобігання непродуктивних втрат елементів живлення,

оскільки потреби пшениці озимої мінімальне в початковій фазі росту та розвитку, тоді як в період інтенсивного росту рослини потребують достатнього рівня забезпечення азотом. Причому особливості зернових культур, а особливо пшениці озимої полягають в тому що спостерігається декілька піків споживання азоту – в період інтенсивного розвитку, в період формування та в період інтенсивного наливу зерна [116].

А тому розробка системи удобрення повинна враховувати фізіологічні потреби рослин пшениці озимої в азоті. Адже однократне застосування мінеральних добрив та вторинне використання азоту з вегетативних органів не дозволяє повною мірою забезпечити якість врожаю [165]. В той же час застосування органічних систем удобрення можуть забезпечити рівномірність засвоєння рослинами достатніх кількостей азоту впродовж вегетаційного періоду. Адже власне поступова мінералізація органічних добрив та рослинних решток сприяє пролонгованому забезпеченню рослин азотом [66; 113; 167].

Показники формування вмісту нітратного азоту в орному шарі ґрунту за різних систем удобрення при вирощуванні пшениці озимої наведено в табл. 6.2.

*Таблиця 6.2*

**Динаміка вмісту нітратного азоту в орному шарі ґрунту за різних систем удобрення при вирощуванні пшениці озимої, NO<sub>3</sub> мг/кг, 2016-2019 рр.**

| Система удобрення     | Фази розвитку культури  |           |                           |
|-----------------------|-------------------------|-----------|---------------------------|
|                       | початок виходу в трубку | колосіння | молочно-воскова стиглість |
| Промислова (контроль) | 20,3                    | 9,3       | 7,7                       |
| Екологічна            | 17,2                    | 7,5       | 7,0                       |
| Біологічна            | 16,4                    | 10,2      | 8,3                       |
| НІР <sub>0,05</sub>   | 1,0                     | 0,7       | 0,8                       |

Як свідчать результати досліджень найвищий вміст нітратного азоту в ґрунті на період початку виходу в трубку спостерігався за застосування

мінерального живлення в промисловій системі удобрення – 20,3 мг/кг. А от застосування часткового мінерального удобрення за екологічної та відмова від мінерального удобрення за біологічної систем удобрення впливало на формування дещо нижчого рівня забезпечення нітратним азотом відповідно 17,2 та 16,4 мг/кг.

Аналогічно іншим культурам сівозміни під час вегетації та по мірі поглинання азоту з ґрунту рослинами спостерігається зменшення його вмісту за застосування всіх систем удобрення.

За застосування екологічної системи удобрення передбачено застосування органічних рослинних решток та мінерального добрива. А тому в період активного росту рослин спостерігаються найнижчі запаси нітратного азоту 7,5 мг/кг, які поступають варіантові з високими нормами мінеральних добрив так і біологічній системі удобрення. Такий низький вміст елементів живлення в ґрунті можна пояснити тим що зростає потреба у споживанні мінерального азоту, як джерела енергії для мікробної трансформації органічних решток, а от в органічних добривах глибокої трансформації, що вносились за біологічної системи удобрення речовина уже перероблена мікроорганізмами.

На час формування молочно-воскової стиглості зерна пшениці озимої вміст нітратного азоту в ґрунті на варіанті промислової системи удобрення становив 7,7 мг/кг, а за біологічної – 8,3 мг/кг. А тому різниця між цими системами удобрення за вмістом нітратного азоту в кінці вегетації перебувала в межах похибки дослідів.

Отже, за застосування промислової системи удобрення забезпеченість нітратним азотом ґрунту був найвищим, а вміст нітратів в ґрунті за екологічної системи удобрення – найнижчим. В той же час біологічна система удобрення забезпечувала потреби рослин в нітратному живленні найбільш оптимально впродовж усього періоду вегетації пшениці озимої.

Буряки цукрові належать до культур найбільш вимогливих стосовно забезпечення мінеральним живленням впродовж вегетаційного періоду. Адже, за

рахунок формування значних обсягів біомаси культура й потребує доволі хороших запасів біогенних елементів в ґрунті.

Параметри формування динаміки вмісту нітратного азоту в орному шарі ґрунту за різних систем удобрення при вирощуванні буряків цукрових наведено в таблиці 6.3.

*Таблиця 6.3*

**Динаміка вмісту нітратного азоту в орному шарі ґрунту за різних систем удобрення при вирощуванні буряків цукрових, NO<sub>3</sub> мг/кг, 2016-2019 рр.**

| Система удобрення     | Етапи вегетації культури |                 |                    |
|-----------------------|--------------------------|-----------------|--------------------|
|                       | 2-4 листочки             | змикання рядків | технічна стиглість |
| Промислова (контроль) | 27,3                     | 18,1            | 6,5                |
| Екологічна            | 25,4                     | 17,8            | 6,8                |
| Біологічна            | 28,2                     | 20,6            | 8,9                |
| НІР <sub>0,05</sub>   | 1,1                      | 0,8             | 0,3                |

Найкращі показники вмісту нітратного азоту в фазу 2-4 листочків спостерігались в біологічній системі удобрення, що викликано внесенням високих норм органічної речовини зі значним ступенем мінералізації. В той же час промислова система удобрення, за рахунок значного застосування мінерального удобрення, в тому числі й азотного займала друге місце по накопиченню нітратного азоту.

В процесі вегетації буряки цукрові активно споживають нітратний азот, а тому в фазу змикання найменші параметри вмісту його в ґрунті були за екологічної системи удобрення – 17,8 мг/кг, а от біологічна система удобрення відповідно характеризувалась кращими показниками вмісту – 20,6 мг/кг.

В той же час інтенсивність процесів формування біомаси загалом та наростання маси коренеплодів призвели до того що буряки цукрові до фази



технічної стиглості використали значну частину ґрунтових запасів нітратного азоту і його показники були в межах 6,5-8,9 мг/кг.

А отже, зменшення вмісту нітратного азоту в ґрунті за вирощування буряків цукрових у порівнянні з іншими культурами обумовлюється високим рівнем споживання цього елемента для формування урожаю. Буряки виносять дуже багато азоту, ці втрати компенсуються за рахунок застосування більшої кількості добрив, однак загалом потреби культури чинять доволі значний вплив на динаміку вмісту нітратного азоту в ґрунті.

Дані формування динаміки вмісту нітратного азоту в орному шарі ґрунту за різних систем удобрення при вирощуванні кукурудзи на зерно наведено в таблиці 6.4.

*Таблиця 6.4*

**Динаміка вмісту нітратного азоту в орному шарі ґрунту за різних систем удобрення при вирощуванні кукурудзи на зерно, NO<sub>3</sub> мг/кг, 2016-2019 рр.**

| Система удобрення     | Фази розвитку культури |                     |                                  |
|-----------------------|------------------------|---------------------|----------------------------------|
|                       | 5-7 листків            | викидання<br>волоті | МОЛОЧНО-<br>ВОСКОВА<br>СТИГЛІСТЬ |
| Промислова (контроль) | 23,4                   | 16,4                | 10,2                             |
| Екологічна            | 21,8                   | 15,3                | 10,0                             |
| Біологічна            | 23,5                   | 17,2                | 11,1                             |
| НІР <sub>0,05</sub>   | 0,8                    | 0,7                 | 0,3                              |

На час формування кукурудзою 5-7 листків запаси нітратного азоту по усіх варіантах систем удобрення були на доволі хорошому рівні, так як кукурудза в першій половині вегетації споживає доволі незначні кількості азоту, а мікробіологічні процеси в добре зволоженому та прогрітому ґрунті навіть на варіанті екологічної системи удобрення сприяли отриманню достатньої кількості рухомих форм азоту.

В фазу викидання волоті рослини кукурудзи активно засвоювали нітратний азот, а тому хороший рівень забезпеченості ним спостерігався лише на біологічній та промисловій системах удобрення.

На час молочно-воскової стиглості зерна кукурудзи вміст нітратного азоту в ґрунті зменшився до 10,0-11,1 мг/кг, а кращою по забезпеченню рослин азотом залишалась біологічна система удобрення.

## **6.2. Вплив різних систем удобрення на формування поживного режиму ґрунту**

Мікробіота ґрунту є не тільки активним компонентом формування ґрунтової родючості а й в свою чергу реагує на зміни навколишнього середовища, що втому числі й залежать від впливом різних агрозаходів. А тому застосування різних систем удобрення, як було уже показано в інших розділах роботи, впливає на чисельність та життєздатність мікробіоти ґрунту. Відповідно вплив мікробіоти на біохімічні процеси ґрунту віддзеркалюється також і на забезпеченні рослин елементами живлення, та як наслідок відтворення ґрунтової родючості. А тому взаємодії мікробіоти з середовищем варто розглядати в комплексі чинників, в тому числі й з точки зору агрохімічних змін поживного середовища ґрунту для рослин.

Адже процеси синтезу та розкладу органічних речовин, вивільнення або фіксування елементів живлення в ґрунті мають занадто багато факторів впливу, серед яких мікробіоті відводиться одна головних ролей. Адже накопичення тих чи інших ферментів це повністю їх заслуга і по мірі накопичення ці сполуки все більш впливають на ґрунтові процеси [27; 135; 139].

Також останнім часом істотно зросло вивчення питань різноманіття ґрунтової біоти і все більшу увагу приділяють мікроорганізмам які можуть проводити детоксикацію різних речовин, які надходять у ґрунт і впливають на стан довкілля, або ж біоремидацію ґрунту.

Попри те що з усіх частин живої речовини ґрунту мікробна його складова є найбільш вразливою до дії факторів середовища, навіть таких як вирощування інших культур, нестача вологи, застосування мінеральних добрив, глибока оранка, тощо. Але ферменти ґрунту після відмирання мікроорганізмів адсорбуються ґрунтовими частками і тривалий час можуть проявляти свою активність на інші складові ґрунту [213].

Показники визначення динаміки вмісту елементів живлення в орному шарі ґрунту за різних систем удобрення при вирощуванні сої подано в таблиці 6.5.

Таблиця 6.5

**Динаміка вмісту елементів живлення в орному шарі ґрунту за різних систем удобрення при вирощуванні сої, мг/кг, 2016-2019 рр.**

| Система<br>удобрення     | Фаза розвитку культури          |                               |                  |                 |                               |                  |                 |                               |                  |
|--------------------------|---------------------------------|-------------------------------|------------------|-----------------|-------------------------------|------------------|-----------------|-------------------------------|------------------|
|                          | сходи                           |                               |                  | бутонізація     |                               |                  | побуріння бобів |                               |                  |
|                          | вміст елементів живлення, мг/кг |                               |                  |                 |                               |                  |                 |                               |                  |
|                          | NH <sub>4</sub>                 | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O | NH <sub>4</sub> | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O | NH <sub>4</sub> | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O |
| Промислова<br>(контроль) | 32,7                            | 61,2                          | 209,6            | 27,0            | 50,1                          | 203,6            | 21,2            | 38,9                          | 197,5            |
| Екологічна               | 38,4                            | 45,9                          | 189,9            | 30,7            | 47,7                          | 182,3            | 22,9            | 49,5                          | 174,6            |
| Біологічна               | 38,8                            | 56,8                          | 178,8            | 37,1            | 52,8                          | 169,3            | 35,4            | 48,8                          | 159,8            |
| HP <sub>0,05</sub>       | 2,3                             | 3,4                           | 7,2              | 2,1             | 3,0                           | 6,8              | 2,0             | 2,6                           | 6,2              |

Отже, як показують результати проведених нами досліджень на варіантах застосування промислової системи удобрення, в фазу сходів сої відмічено найбільші показники вмісту амонійного азоту (32,7), рухомого фосфору (61,2) та обмінного калію (209,6). В той же час найменші параметри забезпечення основними елементами живлення були спостережені нами за застосування екологічної та біологічної систем удобрення сої. Це на нашу думку пов'язано з тим, що елементи живлення наявні в мінеральних добривах доступні рослинам одразу, а от органічне удобрення та рослинні рештки повільніше забезпечують

потребу рослин в елементах живлення. Хоча такий спосіб є більш природнім для рослин, але можуть виникати нестачі елементів живлення в періоди їх найбільшого споживання культурою.

Отже, на початку вегетації система застосування мінерального живлення виявилась найбільш ефективною в плані забезпечення потреб рослин, але в цей час потреби рослин мінімальні. І тому менші показники вмісту елементів живлення на інших варіантах систем удобрення кардинально не можуть вплинути на ріст та розвиток культури.

Зміна вмісту амонійного азоту в ґрунті впродовж вегетації сої спричинена комплексом факторів. Зокрема азот мінеральних добрив не тільки витрачався рослинами, а й втрачався, що вело до зниження його концентрації. Також не останню роль відіграли й особливості режиму зволоження ґрунту, що зазвичай в роки проведення досліджень були недостатніми. А от за застосування екологічної і біологічної систем удобрення азот вивільнявся з добрив більш повільніше, а тому на час побуріння бобів його концентрація в ґрунті була більшою порівняно з промисловою системою.

В той же час вивчення динаміка вмісту фосфору та калію показало нам поступову витрату їх впродовж вегетації сої на усіх системах удобрення. Хоча запаси даних макроелементів за мінеральної системи удобрення залишились максимальні все рівно витрата їх відбувалась в непоновлювальному режимі. Однак, найбільш важливим є недопущення втрати саме азоту, а от зміни в концентрації фосфору та калію відіграють важливу, однак не критичну роль в забезпеченні рослин.

Отже, якщо оцінювати умови нашого дослідження, то для стабілізації умов поживного режиму та біологічної активності ґрунту кращі умови були за застосування екологічної і особливо біологічної системи удобрення сої. Що цілком вписується в погляди інших вчених [64; 66; 87; 89] про те, що помірні дози мінеральних добрив інтенсифікують процеси ферментативної активності ґрунту.

Результати встановлення динаміки вмісту елементів живлення в орному шарі ґрунту за різних систем удобрення при вирощуванні пшениці озимої подано в таблиці 6.6.

Таблиця 6.6

**Динаміка вмісту елементів живлення в орному шарі ґрунту за різних систем удобрення при вирощуванні пшениці озимої, мг/кг, 2016-2019 рр.**

| Система<br>удобрення     | Фаза розвитку культури          |                               |                  |                 |                               |                  |                              |                               |                  |
|--------------------------|---------------------------------|-------------------------------|------------------|-----------------|-------------------------------|------------------|------------------------------|-------------------------------|------------------|
|                          | початок виходу в<br>трубку      |                               |                  | колосіння       |                               |                  | молочно-воскова<br>стиглість |                               |                  |
|                          | вміст елементів живлення, мг/кг |                               |                  |                 |                               |                  |                              |                               |                  |
|                          | NH <sub>4</sub>                 | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O | NH <sub>4</sub> | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O | NH <sub>4</sub>              | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O |
| Промислова<br>(контроль) | 23,6                            | 100,4                         | 165,7            | 12,2            | 101,4                         | 142,1            | 8,3                          | 94,3                          | 129,9            |
| Екологічна               | 29,7                            | 56,5                          | 130,4            | 18,9            | 54,4                          | 125,6            | 14,1                         | 40,1                          | 119,0            |
| Біологічна               | 27,8                            | 60,0                          | 148,4            | 15,1            | 58,1                          | 136,4            | 10,5                         | 38,5                          | 128,7            |
| НІР <sub>0,05</sub>      | 1,0                             | 7,3                           | 8,0              | 0,8             | 6,1                           | 7,4              | 0,7                          | 5,9                           | 6,8              |

Як свідчать результати проведених досліджень, вміст амонійного азоту на посівах озимої пшениці в фазу виходу в трубку за промислової системи удобрення був нижчим чим за біологічної та екологічної. Адже в цей час рослини споживають значну частину азоту, а тому внесеної кількості мінеральних добрив недостатньо для задоволення їх потреб. Крім того, на це ще накладається метаболітична активність мікрофлори, що призводить до створення дефіцитних умов за використання мінерального удобрення, як основного джерела живлення.

За результатами досліджень відмічено що в процесі вегетації доступність азоту рослинам зменшувалась і мінімальною вона була в фазу молочно-воскової стиглості для усіх варіантів досліду. Хоча, варіанти екологічної системи удобрення (14,1) та біологічної (10,5) були краще забезпечені амонійним азотом порівняно з промисловою системою (8,3).

Також, при вирощуванні озимої пшениці за різних рівнів антропогенного навантаження встановлено зниження впродовж вегетації вмісту доступного рослинам фосфор та калію на усіх варіантах удобрення.

Показники встановлення динаміки вмісту елементів живлення в орному шарі ґрунту за різних систем удобрення при вирощуванні буряків цукрових подано в таблиці 6.7.

Таблиця 6.7

**Динаміка вмісту елементів живлення в орному шарі ґрунту за різних систем удобрення при вирощуванні буряків цукрових, мг/кг, 2016-2019 рр.**

| Система<br>удобрення        | Шар<br>ґрунту | Фаза розвитку культури      |                               |                  |                 |                               |                  |                    |                               |                  |
|-----------------------------|---------------|-----------------------------|-------------------------------|------------------|-----------------|-------------------------------|------------------|--------------------|-------------------------------|------------------|
|                             |               | 2-4- справжніх<br>листочків |                               |                  | змикання рядків |                               |                  | технічна стиглість |                               |                  |
|                             |               | вміст елементів живлення    |                               |                  |                 |                               |                  |                    |                               |                  |
|                             |               | NH <sub>4</sub>             | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O | NH <sub>4</sub> | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O | NH <sub>4</sub>    | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O |
| Промислова<br>(контроль)    | 0-10          | 47,4                        | 73,0                          | 307,5            | 27,0            | 35,9                          | 300,3            | 15,2               | 33,0                          | 290,0            |
|                             | 10-25         | 40,3                        | 67,2                          | 289,4            | 20,0            | 14,8                          | 278,4            | 18,4               | 28,9                          | 261,0            |
| Екологічна                  | 0-10          | 45,1                        | 61,5                          | 300,6            | 35,2            | 42,3                          | 284,5            | 17,9               | 27,6                          | 275,0            |
|                             | 10-25         | 49,2                        | 50,3                          | 259,2            | 36,6            | 45,3                          | 240,2            | 22,3               | 24,6                          | 230,1            |
| Біологічна                  | 0-10          | 28,9                        | 54,9                          | 211,9            | 28,8            | 32,1                          | 201,4            | 17,3               | 31,0                          | 180,2            |
|                             | 10-25         | 21,7                        | 35,6                          | 144,9            | 33,2            | 38,1                          | 130,0            | 30,0               | 30,0                          | 130,0            |
| НІР <sub>0,05</sub> (0-10)  |               | 3,3                         | 7,6                           | 10,1             | 2,5             | 6,0                           | 8,8              | 2,0                | 2,4                           | 8,0              |
| НІР <sub>0,05</sub> (10-25) |               | 3,1                         | 7,5                           | 10,0             | 2,4             | 6,2                           | 9,0              | 1,8                | 2,2                           | 7,9              |

Встановлено, що за застосування мінеральної системи удобрення максимальна концентрація амонійного азоту була в шарі ґрунту 0-10 см, що відповідає особливостям внесення мінеральних добрив. А от за екологічної системи удобрення розподіл амонійного азоту спостерігався більш рівномірно

по шарах ґрунту, що викликано необхідністю заорювання рослинних залишків в більш глибокі горизонти орного шару. За біологічної системи удобрення застосування органічних добрив нової формуляції не потребувало глибокого заробляння частини мінеральних добрив разом з органічними, а тому вміст амонійного азоту був вищим в верхньому шарі ґрунту.

Адже за застосування рослинних решток та побічної продукції в якості удобрення загальноприйнятим є внесення разом з цією формою добрива і невеликих доз азотних добрив з зароблянням на відповідну глибину. Це робиться щоб запобігти інтенсивному вивільненню азоту мікроорганізмами ґрунту з органічних добрив в процесі їх розкладання.

На час змикання рядків цукрових буряків рослини уже сформували достатньо глибоку кореневу систему та потребу в азоті, а тому активно використовували азот як верхнього шару ґрунту так і з глибини 10-25 см. відповідно за мінеральної системи удобрення запаси азоту почали зменшуватись в обох досліджуваних шарах ґрунту, а от використання екологічної та біологічної систем удобрення сприяло підтриманню концентрації азоту на більш високому рівні, що досягалось відповідним вивільненням його за рахунок мікробіологічної активності з органічної складової внесених добрив.

В процесі вегетації буряків цукрових запаси доступних рослинам азоту, фосфору та калію зменшувались і на час технічної стиглості були мінімальними по досліді не залежно від систем удобрення. Однак, максимум забезпечення калієм залишався за мінеральної системи удобрення, що викликане не тільки достатнім його застосуванням а й складністю використання цього елемента живлення рослинами саме з мінеральних добрив.

Отже, якщо аналізувати системи удобрення буряків цукрових, то найбільш збалансованою за доступністю елементів живлення рослинам можна вважати біологічну. Адже на час активного споживання елементів живлення вона забезпечувала потребу рослин на хорошому рівні (змикання рядків-міжрядь), а на кінець вегетації – достатні збалансовані запаси елементів в ґрунті.

Параметри дослідження динаміки вмісту елементів живлення в орному шарі ґрунту за різних систем удобрення при вирощуванні кукурудзи на зерно подано в таблиці 6.8.

Таблиця 6.8

**Динаміка вмісту елементів живлення в орному шарі ґрунту за різних систем удобрення при вирощуванні кукурудзи на зерно, мг/кг, 2016-2019рр.**

| Система<br>удобрення     | Фаза розвитку культури          |                               |                  |                  |                               |                  |                              |                               |                  |
|--------------------------|---------------------------------|-------------------------------|------------------|------------------|-------------------------------|------------------|------------------------------|-------------------------------|------------------|
|                          | 5-7 листків-                    |                               |                  | викидання волоті |                               |                  | МОЛОЧНО-ВОСКОВА<br>СТИГЛІСТЬ |                               |                  |
|                          | вміст елементів живлення, мг/кг |                               |                  |                  |                               |                  |                              |                               |                  |
|                          | NH <sub>4</sub>                 | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O | NH <sub>4</sub>  | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O | NH <sub>4</sub>              | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O |
| Промислова<br>(контроль) | 26,4                            | 111,8                         | 173,6            | 14,1             | 110,3                         | 147,5            | 9,8                          | 96,9                          | 135,8            |
| Екологічна               | 32,5                            | 67,9                          | 138,3            | 20,8             | 63,3                          | 131,0            | 15,6                         | 45,6                          | 126,9            |
| Біологічна               | 30,6                            | 71,4                          | 156,3            | 17,0             | 67,0                          | 141,8            | 11,8                         | 43,4                          | 130,2            |
| НІР <sub>0,05</sub>      | 2,4                             | 5,6                           | 7,3              | 2,2              | 5,0                           | 7,0              | 1,5                          | 4,5                           | 6,8              |

За вирощування кукурудзи мікробіологічна активність ґрунту в фазу 5-7 листків в рослин була уже на достатньо хорошому рівні, а тому це відзначилось і на рівні забезпечення рослин амонійним азотом. Так, кращі показники в цьому демонстрували екологічна та біологічна система удобрення.

А от в фазу викидання волоті потреби рослин в елементах живлення різко зросли, що викликало істотне вичерпання запасів доступного амонійного азоту особливо за промислової системи удобрення. В той же час екологічна та біологічна системи залишались на доволі хорошому рівні забезпечення рослин цим біогенним елементом навіть до завершення вегетації культури.

Що стосується забезпечення фосфором та калієм, то усі без виключення системи удобрення справлялись з цим завданням і по мірі росту та розвитку рослин концентрація цих елементів в ґрунті зменшувалась. На час молочно-



воскової стиглості найбільша концентрація цих елементів спостерігалась за мінеральної системи живлення.

Отже, в результаті проведених досліджень визначено що за екологічної та біологічної систем удобрення при вирощуванні кукурудзи створюються кращі умови азотного живлення та відповідно відбувається посилення біологічної активності ґрунту. А тому активізація мікробіологічних процесів ґрунту є важливим з точки зору відтворення його родючості та підтримання раціонального функціонування агрофітоценозів.

Наступним важливим питанням комплексного встановлення особливостей впливу мікробіоти ґрунту та систем удобрення на доступність та використання основних елементів живлення рослинами є винос їх з врожаєм. Адже власне основним завданням вибору раціонального удобрення є забезпечення потреб рослин в достатній кількості елементів, що виражається в накопиченні та виносі їх з урожаєм.

Відповідно в випадку накопичення біогенних елементів в побічній продукції їх в тій чи іншій мірі можна повернути в ґрунт і зберегти для підтримання родючості та формування наступного врожаю культур. А от втрати в вигляді основної продукції як правило носять безповоротний характер та повинні в повній мірі компенсуватись системами удобрення.

Результати досліджень з особливостей накопичення елементів живлення у рослинах пшениці озимої залежно від системи удобрення наведені в таблиці 6.9.

*Таблиця 6.9*

**Виніс елементів живлення рослинами пшениці озимої з врожаєм, залежно від системи удобрення, кг/га, середнє за 2016-2019 рр.**

| Система удобрення     | N     | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O |
|-----------------------|-------|-------------------------------|------------------|
| Промислова (контроль) | 179,3 | 63,2                          | 43,5             |
| Екологічна            | 158,7 | 54,5                          | 38,6             |
| Біологічна            | 175,6 | 61,6                          | 43,9             |
| НІР <sub>0,05</sub>   | 4,3   | 2,0                           | 1,3              |

Визначено, що за застосування промислової системи удобрення з зерном пшениці озимої виноситься максимальна кількість азоту, фосфору та калію. А от мінімальні значення спостерігались за екологічної системи удобрення. В середньому ж по досліді з урожаєм безповоротний винос елементів живлення склав: азоту 171,2 кг/га, фосфору 59,8 кг/га та калію 42,0 кг/га.

Результати досліджень з особливостей накопичення елементів живлення у рослинах пшениці озимої залежно від системи удобрення наведені в таблиці 6.10.

*Таблиця 6.10*

**Виніс елементів живлення рослинами сої з врожаєм, залежно від системи удобрення, кг/га, середнє за 2016-2019 рр.**

| Система удобрення     | N     | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O |
|-----------------------|-------|-------------------------------|------------------|
| Промислова (контроль) | 210,5 | 42,1                          | 84,2             |
| Екологічна            | 184,7 | 36,1                          | 72,5             |
| Біологічна            | 210,3 | 41,4                          | 82,8             |
| НІР <sub>0,05</sub>   | 4,5   | 2,1                           | 2,9              |

Соя належить до культур з високим виносом азоту, адже значний вміст білку в насіння передбачає велику потребу в елементах живлення. А тому в середньому по досліді елементів живлення становив: азоту 201,8 кг/га, фосфору 39,8 кг/га та калію 79,8 кг/га. А от за максимумом безповоротних втрат елементів живлення на першому місці була мінеральна система удобрення, а найбільш раціональне використання спостерігалось за екологічної системи.

Серед усіх культур сівозміни найбільш істотні вимоги до забезпечення елементами живлення для формулювання високого рівня продуктивності є цукрові буряки [40; 49; 55].

Результати вивчення з особливостей накопичення елементів живлення у рослинах буряків цукрових залежно від системи удобрення наведені в таблиці 6.11.

Таблиця 6.11

**Виніс елементів живлення рослинами цукрових буряків з врожаєм, залежно від системи удобрення, кг/га, середнє за 2016-2019 рр.**

| Система удобрення     | N     | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O |
|-----------------------|-------|-------------------------------|------------------|
| Промислова (контроль) | 142,8 | 49,0                          | 155,4            |
| Екологічна            | 130,3 | 47,7                          | 141,9            |
| Біологічна            | 139,9 | 52,4                          | 152,3            |
| НІР <sub>0,05</sub>   | 5,6   | 3,2                           | 6,0              |

В наших дослідженнях встановлено, що в середньому по досліді з коренеплодами цукрові буряки виносять: азоту 137,7 кг/га, фосфору 49,7 кг/га та калію 149,9 кг/га. Отже, максимальні потреби по елементах живлення для досліджуваної культури можна відзначити лише по калію. Зрештою, якщо припустити використання побічної продукції на виробництво біопалива або ж годівлю тварин, то картина виносу елементів живлення може радикально змінитись. Але досліджувана нами сівозміна не передбачала такого використання побічної продукції.

Результати досліджень з особливостей накопичення елементів живлення у рослинах кукурудзи на зерно залежно від системи удобрення наведені в таблиці 6.12.

Таблиця 6.12

**Виніс елементів живлення рослинами кукурудзи з врожаєм, залежно від системи удобрення, кг/га, середнє за 2016-2019 рр.**

| Система удобрення     | N     | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O |
|-----------------------|-------|-------------------------------|------------------|
| Промислова (контроль) | 172,0 | 76,1                          | 46,8             |
| Екологічна            | 147,9 | 67,3                          | 39,8             |
| Біологічна            | 167,9 | 74,8                          | 47,2             |
| НІР <sub>0,05</sub>   | 4,2   | 2,5                           | 1,9              |

За вивчення накопичення елементів живлення з зерном кукурудзи визначено, що в середньому по досліді культура виносить: азоту 162,6 кг/га, фосфору 72,7 кг/га та калію 44,6 кг/га. Варіанти застосування мінерального живлення відзначились максимальними значеннями засвоєння макроелементів.

### **Висновки за розділом 6:**

За результатами проведених досліджень визначено, що за застосування промислової системи удобрення на початку вегетаційного періоду культур попри вище агрохімічне навантаження створювались кращі умови формування поживного режиму ґрунту порівняно з системами удобрення. Відповідно на початку вегетації найменший рівень забезпечення основними елементами живлення відмічено на біологічній системі удобрення, що пояснюється меншою доступністю елементів живлення до початку активних мікробіологічних процесів в ґрунті.

Визначено також, що з початком активних мікробіологічних процесів в ґрунті доступність елементів живлення на біологічній системі живлення культур зростала порівняно з промисловою системою удобрення і до часу активного споживання рослинами елементів живлення, особливо азоту, їх концентрація в ґрунті досягала хороших рівнів забезпечення.

Досліджено, що впродовж вегетації культур сівозміни запаси елементів живлення в ґрунті виснажувались і на час передзбиральної стиглості вони були мінімальними порівняно з іншими досліджуваними фазами росту та розвитку культур. Найбільша інтенсивність споживання елементів живлення з ґрунту спостерігалась у період інтенсивного накопичення вегетативної маси рослин саме для азоту і його вміст для промислової системи удобрення на кінець вегетації досягав критично низьких рівнів забезпечення. В той час як засвоюваність фосфору та калію з мінеральних добрив є відносно низькою, а тому за цієї ж системи удобрення рослини після себе залишали максимальні значення концентрації фосфору та калію в ґрунті.

В той же час динаміка формування поживного режиму ґрунту за застосування екологічної та біологічної систем удобрення була кращою з фізіологічного плану споживання культурами основних макроелементів. А тому, якщо оцінювати результати проведеного дослід, то для стабілізації умов поживного режиму та біологічної активності ґрунту кращі умови були за застосування екологічної і особливо біологічної системи удобрення культур сівозміни.

Досліджено що в середньому по сівозміні максимальний винос азоту спостерігався в сої – 201,8кг/га, фосфору в кукурудзи – 72,7 кг/га а калію в буряків цукрових – 149,9кг/га. Якщо аналізувати усереднене споживання елементів живлення, то найбільш споживаним є азот – 168,3 кг/га. А тому заходи спрямовані на підтримання активності мікробіоти ґрунту повинні бути спрямовані перш за все на раціональне використання азоту.

## **РОЗДІЛ 7**

### **БІОЛОГІЧНА ТА ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИРОЩУВАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР ЗА РІЗНИХ СИСТЕМ УДОБРЕННЯ**

Кінцевою метою усіх запроваджуваних агрозаходів, в тому числі й сівозмін та систем удобрення є формування сільськогосподарськими культурами високого рівня продуктивності та якості отримуваної продукції. Адже саме визначення цих показників дозволяє приймати ефективні рішення стосовно правильного застосування факторів агротехніки та взаємодії їх з ґрунтовими мікроорганізмами.

Крім того визначення впливу взаємодій сівозміна – система удобрення – ґрунтова мікробіота на ріст та розвиток і формування якості врожаю сої, пшениці озимої, буряків цукрових та кукурудзи на зерно та розуміння суті процесів, що їх обумовлюють, дозволяють не лише передбачати перебіг фізіолого-біохімічних змін але й управляти процесом формування якості та рослинницької продукції.

Мікроорганізми ґрунту не тільки забезпечують перебіг процесів ґрунтоутворення та трансформацію органічної речовини і мінеральних сполук в ґрунті, а й їм також належить значний вклад в збереження гомеостазу та відновленні родючості ґрунту.

Застосування удобрення при вирощуванні сільськогосподарських культур не тільки активізує ріст і розвиток рослин а й стимулює активність мікробіологічних процесів мобілізації поживних речовин та доступності їх для сільськогосподарських рослин. Адже добрива по різному впливають на мікробіоту ґрунту: органічні сприяють росту чисельності одігонітрофілів, фосформобілізуючих бактерій та азотобактера, мінеральні активізують нітрифікуючі бактерії.

А тому ріст, розвиток, формування продуктивності та якості продукції культурами сівозміни винятково необхідно розглядати в єдиному контексті взаємодії: сівозміна – система удобрення – мікробіота ґрунту.

### 7.1. Біологічна ефективність продуктивності культур агроценозу

Ріст та розвиток рослин визначає ефективність вирощування їх загалом, адже біометричні показники сільськогосподарських культур безпосередньо пов'язані з параметрами формування рівня урожайності та якості продукції.

Параметри основних біометричних показників сої за різних систем удобрення наведено в таблиці 7.1.

Таблиця 7.1.

#### Основні біометричні показники сої за різних систем удобрення, середнє за 2016-2019 рр.

| Система удобрення     | Висота рослин, см | Кількість бобів на 1 рослині, шт. | Площа листя в фазу формування бобів, тис. м <sup>2</sup> /га | Кількість колоній бульбочкових бактерій, шт./1 рослину | Маса 1000 насінин, г | Надземна біомаса, т/га |
|-----------------------|-------------------|-----------------------------------|--|--|----------------------|------------------------|
| Промислова (контроль) | 78,7              | 17,5                              | 47,3   | 27,8   | 163,2                | 9,9                    |
| Екологічна            | 74,6              | 17,4                              | 40,2   | 40,5   | 164,3                | 8,4                    |
| Біологічна            | 73,9              | 17,8                              | 44,5   | 48,9   | 162,5                | 9,9                    |
| НІР <sub>0,05</sub>   | 2,2               | 0,7                               | 1,2  | 1,6  | 5,3                  | 0,9                    |

Застосування промислової системи удобрення загалом позитивно впливало на формування біометричних параметрів рослин сої. Так, за даної

системи, максимальними по досліді були параметри висоти рослин та площі листової поверхні, що ймовірніше за все пов'язано з тим що використовується мінеральне, а зокрема азотне удобрення рослин.

Кількість бобів на рослині показник менш варіативний чим висота рослин, а тому в нашому досліді відхилення цієї ознаки перебували в межах похибки досліді та не залежали суттєво від системи удобрення. На нашу думку це пов'язано з тим що усі системи спрямовані на оптимізацію рослинних параметрів та отримання максимально високого рівня продуктивності.

На варіантах екологічної та біологічної систем удобрення формувались менші показники габітусу рослин, що знову ж таки пов'язано з доступністю рослинам мінерального азоту ґрунту. Водночас, кількість колоній бульбочкових бактерій за даних систем удобрення була в 1,4 та 1,2 рази вище ніж на промисловій. А отже, нестачу доступних форм азотного живлення рослини сої забезпечували за рахунок активізації симбіотичних взаємодій з бульбочковими бактеріями.

Маса насіння генетично обумовлений показник за яким можна доволі точно ідентифікувати сорти сої, а тому варіабельність цієї ознаки мінімальна. Що й було підтверджено і результатами наших досліджень, адже середнє по досліді значення маси тисячі насінин було 163,3 г, а відхилення по варіантах не перевищували показники помилки досліді.

Рослини сої за застосування досліджуваних нами систем удобрення формували значні показники надземної біомаси (насіння + солома). Максимальні ж показники спостерігались на варіантах застосування промислової та біологічної систем удобрення 9,9 т/га

На формування урожайності та якості насіння сої впливає цілий комплекс факторів, в тому числі і елементи технології вирощування: вміст поживних речовин у ґрунті, дози добрив та особливості систему удобрення, активність ґрунтів та перебіг мікробіологічних процесів в них, взаємодія з мікробіотою ґрунту та азотфіксуючими бактеріями, тощо. Так, дослідженнями встановлено, що для формування хорошого врожаю потрібно оптимізувати умови



виросування комплексно, а не за одним з показників [146; 163]. А тому аналіз параметрів продуктивності рослин свідчить про те чи досягнули ми своєї мети в плані ефективного використання ресурсів.

Дані особливостей формування урожайності та якості насіння сої за різних систем удобрення наведено в таблиці 7.2.

*Таблиця 7.2*

**Урожайність та якість насіння сої за різних систем удобрення, середнє за 2016-2019 рр.**

| Система удобрення     | Урожайність насіння, т/га | Вміст жиру, % | Вміст білку, % |
|-----------------------|---------------------------|---------------|----------------|
| Промислова (контроль) | 4,21                      | 18,2          | 35,2           |
| Екологічна            | 3,68                      | 18,2          | 33,2           |
| Біологічна            | 4,18                      | 20,6          | 35,8           |
| НІР <sub>0,05</sub>   | 0,43                      | 1,0           | 1,4            |

Аналіз урожайності насіння сої показує нам що максимальні показники забезпечувала промислова система удобрення – 4,21 т/га, а от за застосування екологічної системи ми отримали мінімальну продуктивність рослин в досліді – 3,68 т/га. В той же час показники урожайності сої за біологічної системи удобрення (4,18 т/га) перебували в межах відхилень похибки досліду. А тому, можна стверджувати, що дана система удобрення не менш ефективна чим промислова – в плані формування рівня продуктивності.

З даних таблиці загалом же можна зробити висновки про те, що насіння сої, отримане за вирощування його при застосуванні різних систем удобрення, має хороші показники якості.

Так, за вмістом жиру та білку в насінні сої кращою виявилась біологічна система удобрення. При вирощуванні сої за промислової системи удобрення, значення вмісту білку становлять 35,2 %, що статистично не відрізняється від

кращого показника по досліді. Це пояснюється хорошою доступністю поживних елементів впродовж усього періоду вегетації, а особливо азоту.

Отже, вирощування сої за застосування екологічної та біологічної систем удобрення дозволяє отримати насіння вміст жиру та білку в якому знаходиться на хорошому рівні. Тому, за результатами досліджень, отримане насіння, може бути використане на продовольчі цілі.

Під час вирощування рослини пшениці озимої активно взаємодіяли як з навколишнім середовищем так і елементами агротехнології. Відповідно такі впливи були відображені і в особливостях формування висоти рослин, продуктивної кущистості, площі листя та надземної біомаси, а також позначились і на якісних показниках: урожайності зерна, натурі, масовій частці сирої клейковини, якості клейковини, масовій частці білку та числі падіння.

Основні біометричні показники пшениці озимої за різних систем удобрення наведено в таблиці 7.3.

*Таблиця 7.3.*

**Основні біометричні показники пшениці озимої за різних систем удобрення, середнє за 2016-2019 рр.**

| Система удобрення     | Висота рослин, см | Продуктивна кущистість, шт./1 рослину | Площа листя в фазу молочної стиглості, тис. м <sup>2</sup> /га | Надземна біомаса, т/га |
|-----------------------|-------------------|---------------------------------------|--|------------------------|
| Промислова (контроль) | 93,1              | 2,3                                   | 45,3   | 18,4                   |
| Екологічна            | 86,5              | 2,2                                   | 40,5   | 15,5                   |
| Біологічна            | 87,8              | 2,3                                   | 41,0   | 17,6                   |
| НІР <sub>0,05</sub>   | 2,3               | 0,3                                   | 1,0  | 1,0                    |

Встановлено, що за застосування повних норм мінерального удобрення (промислова система) доступний азот сприяв формуванню максимальних

значень висоти – 93,1 см, а от внесення лише часткового мінерального удобрення (екологічна) або ж відмова від нього взагалі (біологічна) сприяли формуванню висоти пшениці 86,5-87,8 см. Такі зміни додатково позначились на стійкості рослин до вилягання, адже чим коротше стебло тим його важче зламати.

Продуктивна кущистість перебувала в середньому по досліді на рівні 2,3 шт./1 рослину, а її зміни по варіантах досліді не мали суттєвих відхилень. На нашу думку це пов'язано з тим що показник продуктивної кущистості є більш мірилом достатньої густоти посівів і в оптимальних умовах один і той же сорт однаково кущиться.

А от параметри формування площі листя в фазу молочної стиглості показують нам що максимальною вона була за активного застосування азотних добрив (промислова система) – 45,3 тис. м<sup>2</sup>/га. В той же час на екологічній та біологічній системах удобрення формувались дещо гірші показники. Хоча, за літературними даними площі листя від 30-35 тис. м<sup>2</sup>/га цілком достатньо для формування високого рівня продуктивності посівами пшениці озимої [163; 165].

Досліджено, що максимальні значення надземної біомаси (зерно + солома) пшениці озимої були сформовані за застосування промислової системи удобрення – 18,4 т/га, чому сприяла доступність рослинам мінерального живлення.

Надземна біомаса рослин пшениці озимої складається як з насіння, про урожай якого мова йтиме дещо нижче, так і з соломи. Отримані нами дані цілком співвідносяться з результатами досліджень інших вчених, згідно яких встановлено, що застосування азотного живлення в достатній мірі сприяє зростанню відсотку соломи в загальній частині отриманої біомаси [48; 49; 169]. А це в свою чергу викликано збільшенням доступного рослинам азоту та активним ростом вегетативної маси, що й опосередковано підтверджено даними висоти рослин.

Результати визначення урожайності та технологічні показники якості пшениці озимої за різних систем удобрення, в середньому за роки досліджень, висвітлено в таблиці 7.4.

Таблиця 7.4.

**Урожайність та технологічні показники зерна пшениці озимої за різних систем удобрення, середнє за 2016-2019 рр.**

| Система удобрення     | Урожайність, т/га | Натура, г/л | Масова частка сирої клейковини, % | Якість клейковини, о. п. | Масова частка білку, % | Число падіння Хагберга, с |
|-----------------------|-------------------|-------------|-----------------------------------|--------------------------|------------------------|---------------------------|
| Промислова (контроль) | 7,9               | 807         | 23,7                              | 90                       | 13,4                   | 290                       |
| Екологічна            | 6,9               | 810         | 23,2                              | 85                       | 13,5                   | 294                       |
| Біологічна            | 7,7               | 814         | 25,0                              | 90                       | 14,0                   | 307                       |
| НІР <sub>0,05</sub>   | 0,5               | 6           | 1,1                               | 3                        | 0,5                    | 5                         |

Встановлено, що за застосування промислової системи удобрення було отримано максимальні показники урожайності зерна – 7,9 т/га. А от за біологічної системи 7,7 т/га. Тобто відхилення в 0,3 т/га були статистично недостовірними і перебували в межах параметрів похибки дослідів.

А от якщо продовжити питання аналізу приросту біомаси загалом, то на варіанті промислової системи удобрення лише 0,3 т/га було забезпечено за рахунок зерна, а решта – 0,5 т/га- це збільшення обсягів отримуваної соломи.

Для пшениці озимої чітко регламентовані показники якості зерна, які доволі повно представлені в національних стандартах. За результатами перевірки цих показників зерно відноситься до того чи іншого класу, а відповідно визначається придатність для переробки на харчові, промислові чи кормові цілі.

Встановлено, що натура зерна відповідала параметрам першого класу, адже згідно ДСТУ 3768:2019 «Пшениця. Технічні умови» потрібно щоб цей показник був не менше чим 760 г/л. Причому найкраща натура зерна була

сформована власне за застосування екологічної та біологічної систем удобрення – 810-814 г/л.

Масова частка сирої клейковини на варіантах систем удобрення промислової, екологічної та біологічної відповідала другому класу зерна, хоча найкращі параметри були якраз за застосування біологічної системи удобрення.

Вміст білку та кількість клейковини вважаються основними показниками якості для зерна пшениці озимої, адже власне вони напряду визначають хлібопекарську та товарну цінність зерна. Однак, лише вміст білка не здатен об'єктивно визначити хлібопекарську якість, а тому його слід розглядати в комплексі з параметрами якості клейковини [48].

Встановлено, що вміст білку в межах дослідів змінювався від 13,4 % (промислова система удобрення) до 14,0 % (екологічна система удобрення) та 13,5 % (промислова система удобрення). Причиною такого вмісту білку є часовий дефіцит необхідних кількостей азоту в ґрунті на час формування та наливу зерна пшениці озимої. Адже за промислової системи підживлення спрямоване суто на формування якості зерна пшениці озимої не проводилось, а на час наливу зерна спостерігався дефіцит азоту в ґрунті, викликаний його втратою та надмірним засвоєнням рослинами на більш ранніх етапах росту та розвитку. Однак, загалом, за вмістом білку промислова та екологічна системи удобрення можна віднести до таких що формують зерно другого класу, а біологічну – першого класу за ДСТУ 3768:2019 «Пшениця. Технічні умови».

Відомо, що вміст білка і клейковини також дуже суттєво формується під впливом погодних умов вегетаційного періоду, особливо в фазі цвітіння – наливання зерна пшениці озимої [85]. А тому, як наслідок, якість клейковини в наших дослідженнях була задовільно слабкою, та формувалась в межах 85-90 о. п., що дозволяє віднести отримане зерно до другої групи якості.

Якщо аналізувати детально даний показник, то вважаємо що причиною такої якості клейковини є пошкодження зерна клопом-черепашкою, адже кількість цих шкідників в роки проведення досліджень була доволі високою на посівах пшениці. Крім того, аналіз праць інших вчених показує що навіть

пошкодження зерна на рівні 1-2 % призводить до часткової деградації білку, що в свою чергу суттєво впливає і на погіршення якості клейковини та харчових властивостей зерна. Адже протеолітичні та амілолітичні ферменти що містяться в слині клопів-черепашок доволі активні і від простого укусу жуком зернівки більша половина азотистих речовин перетворюються на низькомолекулярні сполуки [82; 83].

Число падіння Хагберга показує активність альфа-амілази, рівень вмісту якої повинен бути низьким, оскільки через занадто активне розщеплення крохмалю тісто буде в'язким і липким. Високе число падіння є показником низької активності альфа-амілази і, отже, хорошого вмісту білка для випікання хлібу [82; 83]. Якщо ж проаналізувати наші дані то за показником числа падіння зерно відповідає першому класу, а кращі параметри сформовано за застосування біологічної системи удобрення.

Отже, в цілому впродовж років досліджень спостерігаються дещо нижчі показники якості за застосування промислової системи удобрення. Це пояснюється тим, що при цій системі удобрення вносяться мінеральні добрива і рослина в основному використовує для формування урожаю лише ті поживні речовини, що доступні з мінеральних добрив. За такого способу удобрення зростає роль підживлень по вегетації – спрямованих на формування врожаю та в подальшому і на забезпечення високого рівня якості. А от за рахунок впливу погодних умов що склались в роки досліджень провести якісно підживлення по вегетації мінеральними добривами було неможливо з-за відсутності вологи або ж в окремі роки значних зливових опадів на час формування врожаю. В той же час, доступний рослинам азот біологічної та екологічної систем удобрення дозволив забезпечити формування прийнятних показників якості зерна пшениці м'якої озимої. Що фактично й підтвердило припущення про те що високого рівня продуктивності та якості продукції можна досягати і за рахунок заходів біологізації, а не виключно завдяки інтенсифікації технологій вирощування.

В технологіях вирощування буряків цукрових застосування удобрення є основним фактором формування достатньої кількості поживних речовин у ґрунті

та відповідно гарантією накопичення рослинами високого рівня врожаю коренеплодів з хорошими показниками якості. А тому правильне застосування добрив не тільки суттєво підвищує родючість ґрунту та стан його мікробіоти а й створює хороші умови для росту та розвитку рослин. Як наслідок, внесення раціонально збалансованих норм добрив як органічних так і мінеральних, за вирощування буряків цукрових, створює хороші умови формування родючості ґрунту та відповідно це дозволяє рослинам впродовж вегетації активно розвиватись.

Дані формування основних біометричних показників буряків цукрових за впливу різних систем удобрення наведено в таблиці 7.5.

*Таблиця 7.5*

**Основні біометричні показники буряків цукрових за різних систем удобрення, середнє за 2016-2019 рр.**

| Система удобрення     | Густота рослин, тис шт./га | Площа листя в фазу змикання міжрядь, тис. м <sup>2</sup> /га | Надземна біомаса, т/га |
|-----------------------|----------------------------|--|------------------------|
| Промислова (контроль) | 93                         | 57,1   | 109                    |
| Екологічна            | 89                         | 49,8   | 95                     |
| Біологічна            | 92                         | 51,3   | 103                    |
| НІР <sub>0,05</sub>   | 7                          | 0,8  | 9                      |

За результатами проведених досліджень визначено, що густота рослин буряків цукрових перебувала в допустимих межах відхилень та відповідала оптимальним умовам для зони Лісостепу України – 95 тис шт./га з допустимими відхиленнями в межах 10 тис шт./га.

Аналогічно іншим культурам застосування високих доз мінерального удобрення сприяло формуванню значної вегетативної маси. А тому, на промисловій системі удобрення площа листової поверхні була максимальною в

досліді (52,1 тис. м<sup>2</sup>/га). Водночас за застосування екологічної та біологічної систем удобрення ми отримали близькі за значенням параметри – 49,8-51,3 тис. м<sup>2</sup>/га, які є більш кращими з точки зору ефективності накопичення сухої речовини рослинами. Адже в затінених посівах нижні яруси листків рослин не практично не здійснюють фотосинтезу.

Відповідно аналіз особливостей формування надземної маси підтвердив наші припущення стосовно надмірності вегетативної маси. Так, максимальні значення були на промисловій системі удобрення – 109 т/га, а біологічна система забезпечувала 103 т/га, причому різниця в площі листової поверхні була доволі суттєва – 5,8 тис. м<sup>2</sup>/га.

Параметри вивчення урожайності та цукристості коренеплодів буряків цукрових за різних систем удобрення подані в таблиці 7.6.

*Таблиця 7.6*

**Урожайність та цукристість буряків цукрових за різних систем удобрення, середнє за 2016-2019 рр.**

| Система удобрення     | Урожайність коренеплодів, т/га | Цукристість коренеплодів, % | Збір цукру, т/га |
|-----------------------|--------------------------------|-----------------------------|------------------|
| Промислова (контроль) | 70,0                           | 17,1                        | 12,0             |
| Екологічна            | 64,5                           | 17,9                        | 11,5             |
| Біологічна            | 68,9                           | 18,5                        | 12,7             |
| НІР <sub>0,05</sub>   | 1,2                            | 0,5                         | 0,4              |

Аналіз отриманих урожайних даних показує нам що найвищий врожай отримано за промислової системи удобрення – 70,0 т/га. За умови використання екологічної та біологічної систем удобрення ми отримали трохи нижчий врожай, який становив 64,5 та 68,9 т/га відповідно.



Окремо варто загострити увагу на тому що застосування біологічної системи удобрення сприяло формуванню більшого рівня цукристості в коренеплодах буряків цукрових порівняно з іншими системами. Що пояснюється більш оптимальним рівнем забезпечення рухомими елементами живлення, а особливо азотом. Адже надмірні кількості азоту на початку вегетації в промисловій системі удобрення не тільки безпосередньо впливають на величину формування врожаю а й сприяють активному накопиченню маси гички.

Крім того, згідно проведених досліджень визначено обернену залежність між урожаєм коренеплодів та вмістом в них цукрів. Зниження вмісту цукрів у коренеплодах за застосування промислової та екологічної систем удобрення цьому яскравий приклад. Так, визначено що цукристість коренеплодів за біологічної системи землеробства становила 18,5 %, порівняно з промисловою та екологічною системами землеробства де цукристість склала відповідно 17,1 та 17,9 %.

Отже, можна стверджувати, що за застосування біологічної системи удобрення відмічається підвищення вмісту цукру у коренеплодах та зниження врожайності порівняно з промисловою та екологічною системами удобрення. Однак, якщо аналізувати вихід цукру то в умовах досліді найбільшу ефективність якраз і відмічено в біологічної системи землеробства, яка забезпечила збір цукру в досліді на рівні 12,7 т/га.

Застосування промислової системи удобрення гарантувало отримання високого рівня врожайності, порівняно з іншими системами удобрення, але за умови погіршення цукристості та технологічних якостей коренеплодів ми не отримали максимального збору цукру з одиниці площі.

Аналогічно бурякам цукровим рівень продуктивності кукурудзи, як просапної культури яку відносять до рослин інтенсивного типу використання родючості ґрунту в значній мірі залежить від особливостей удобрення ґрунту та стану його мікробіоти а й від можливостей та доступності до засвоєння основних елементів живлення [55].

Дані встановлення особливостей зміни основних біометричних показників кукурудзи на зерно за різних систем удобрення наведені в таблиці 7.7.

Таблиця 7.7

**Основні біометричні показники кукурудзи на зерно за різних систем  
удобрень, середнє за 2016-2019 рр.**

| Система удобрення     | Висота рослин,<br>см | Площа листя в<br>фазу молочної<br>стиглості зерна,<br>тис. м <sup>2</sup> /га | Надземна біомаса,<br>т/га |
|-----------------------|----------------------|---|---------------------------|
| Промислова (контроль) | 198                  | 63,0  | 30,0                      |
| Екологічна            | 165                  | 54,2  | 24,8                      |
| Біологічна            | 173                  | 57,1  | 28,2                      |
| НІР <sub>0,05</sub>   | 3,9                  | 5,7   | 2,4                       |

За результатами визначення біометричних показників рослин кукурудзи встановлено що максимальні параметри висоти рослин формувались за застосування промислової системи удобрення, як такої що забезпечувала великі кількості надлишкового азоту на ранніх етапах росту та розвитку рослин кукурудзи. А от за біологічної та екологічної систем удобрення висота рослин склала 173 та 165 см

Аналогічно іншим культурам застосування системи мінерального удобрення сприяло не тільки формуванню значної висоти рослин кукурудзи а й утворенню 63,0 тис. м<sup>2</sup>/га листової поверхні. В той же час за застосування екологічної та біологічної систем удобрення площа листя становила 54,2 та 57,1 тис. м<sup>2</sup>/га.

Відповідно на промисловій системі удобрення формувались найбільші значення біомаси – 30,0 т/га, а найменші показники були за екологічного удобрення – 24,8 т/га, а от за застосування біологічної – 28,2 т/га.

Особливості формування урожайності та показників технологічної якості зерна кукурудзи за впливу різних систем удобрення подані в таблиці 7.8.

Таблиця 7.8

**Урожайність та технологічні показники кукурудзи на зерно за різних систем удобрення, середнє за 2016-2019 рр.**

| Система удобрення     | Урожайність, т/га | Вміст білку, % | Вміст крохмалю, % | Вміст жиру, % |
|-----------------------|-------------------|----------------|-------------------|---------------|
| Промислова (контроль) | 11,7              | 4,34           | 68,1              | 3,40          |
| Екологічна            | 10,2              | 3,79           | 69,5              | 3,51          |
| Біологічна            | 11,5              | 4,21           | 70,3              | 3,74          |
| НІР <sub>0,05</sub>   | 0,5               | 0,37           | 0,8               | 0,58          |

За результатами проведених досліджень встановлено що максимальну урожайність зерна кукурудзи отримано в варіанті промислової системи удобрення – 11,7 т/га, а біологічна система удобрення не суттєво уступала кращим показникам – 11,5 т/га. А отже, отримані параметри відхилень показника урожайності зерна перебували в межах похибки дослідів.

За застосування промислової системи удобрення формувались в зерні кукурудзи хороші показники вмісту білку – 4,34 %, в той же час вміст крохмалю та вміст жиру був найнижчим в досліді.

А от використання біологічної системи удобрення дозволило отримати добрі якісні показники зерна кукурудзи. Попри те що вміст білку наближався до кращого варіанту це не головний показник якості зерна кукурудзи. Головним показником можна вважати вміст крохмалю, який становив 70,3 %, тобто був максимальним по досліді.

## 7.2. Економічна ефективність культур агроценозу

Важливим питанням вирощування сільськогосподарських культур залишається не тільки рівень їх продуктивності а й економічні аспекти технології вирощування. Адже власне ефективність та окупність врожаєм застосовуваних технологічних заходів дозволяє в повній мірі оцінити беззбитковість технології вирощування в цілому та рекомендувати її для поширення у виробництво [100].

На даний час в Україні питання збереження родючості ґрунтів та оцінки стану ґрунту доволі добре висвітлені та регулюються низкою законів, таких як: Закон України про охорону земель, Закон України про землеустрій, Закон України про державний контроль за використанням та охороною земель, Закон України про оцінку земель та .Постановою Кабінету міністрів від 19 квітня 1993 р. «Про порядок визначення та відшкодування збитків власникам землі та землекористувачам» [3].

Однак загалом відсутня методика оцінювання власне не втрат родючості ґрунтів а поліпшення їх стану та відповідного врахування заходів спрямованих на поліпшення родючості ґрунтів з економічної точки зору. Адже часто-густо затрати спрямовані на систематичне поліпшення родючості ґрунтів є доволі вартісними та вимагають від виробників проведення додаткових ґрунтозахисних операцій.

Стосовно стану ґрунтової мікробіоти то це питання абсолютно не висвітлене на законодавчому рівні та відповідним чином не контролюється попри те що давно уже відомо основні групи ґрунтоживучих мікроорганізмів та вивчені загалом основні питання стосовно їх впливу на ґрунт та рослини.

Попри те що моніторинг основних груп мікроорганізмів ґрунту може давати оперативну інформацію власникам та орендарям земельних ділянок які процеси відбуваються в ґрунті питання не вивчене і повністю залежить від тих агрозаходів які виробники сільськогосподарської продукції застосовують на даній ділянці.

Зазвичай в глобальному масштабі виробничники схильні застосовувати практичні та дешеві рішення – які не завжди сприяють поліпшенню родючості ґрунту, а часто – навпаки дозволяють більш активно експлуатувати природню родючість тим самим знижуючи її потенціал.

А тому актуальним питанням усіх заходів спрямованих на поліпшення родючості ґрунту та стану його мікробіоти є оцінка їх в плані конкурентності та економічної ефективності за вирощування сільськогосподарських культур сівозміни.

В свою чергу показники економічної ефективності вирощування культур сівозміни залежать не тільки від виробничих витрат по технології вирощування а й від кон'юнктури ринку та власне цін та попиту що склались на певні види продукції рослинництва на даний момент часу. А тому найбільш доцільно розрахунки проводити в цінах 2020 року – як мірила ефективності рекомендованих агрозаходів на даний час.

Дані економічних показників ефективності технології вирощування сої за застосування різних систем удобрення (промислової, екологічної та біологічної) наведено в таблиці 7.9.

*Таблиця 7.9*

**Економічні показники вирощування сої, за цінами 2020 р.**

| Система удобрення     | Виробничі витрати, грн./га | Вартість отриманої продукції, грн./га | Собівартість 1 т вирощеної продукції | Прибуток, грн/га | Рівень рентабельності, % |
|-----------------------|----------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|------------------|--------------------------|
| Промислова (контроль) | 19929                      | 50520                                 | 4734                                 | 30591            | 154                      |
| Екологічна            | 18214                      | 44160                                 | 4950                                 | 25946            | 142                      |
| Біологічна            | 17750                      | 50160                                 | 4246                                 | 32410            | 183                      |

Визначено, що застосування традиційної промислової системи удобрення сільськогосподарських культур дозволяє отримати високий рівень прибутку попри значні економічні витрати (19929 грн.). При цьому вартість отриманої продукції склала 50520 грн., а рівень рентабельності становив 154 %.

За використання екологічної системи удобрення було отримано найменші в досліді значення вартості отриманої продукції та відповідно прибутку і рівня рентабельності. Що пояснюється відносно високими показниками виробничих витрат та нижчим рівнем урожайності насіння сої.

Найкращі показники по отриманому прибутку (32410 грн./га) та рівню рентабельності (183 %) отримано за використання біологічної системи удобрення. Цьому сприяв не тільки високий рівень урожайності насіння сої а й найменші виробничі витрати з розрахунку на один гектар – 17750 грн.

Показники економічної ефективності технології вирощування пшениці озимої за застосування різних систем удобрення (промислової, екологічної та біологічної) наведено в таблиці 7.10.

*Таблиця 7.10*

**Економічні показники вирощування пшениці озимої, за цінами 2020 р.**

| Система удобрення     | Виробничі витрати, грн./га | Вартість отриманої продукції, грн./га | Собівартість 1 т вирощеної продукції | Прибуток, грн/га | Рівень рентабельності, % |
|-----------------------|----------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|------------------|--------------------------|
| Промислова (контроль) | 19343                      | 49770                                 | 2448                                 | 30427            | 157                      |
| Екологічна            | 16771                      | 43470                                 | 2431                                 | 26699            | 159                      |
| Біологічна            | 17325                      | 48510                                 | 2250                                 | 31185            | 180                      |

За вирощування пшениці озимої встановлено, що застосування традиційної промислової системи удобрення дозволяє отримати відносно низький рівень прибутку (30427 грн.) попри найбільші в досліді економічні

витрати на технологію вирощування – 19343. Також визначено що вартість отриманої нами продукції була на найвищому по культурі рівні 49770 грн., а рівень рентабельності становив 157 %.

Середні в досліді показники рівня рентабельності одержано за використання екологічної системи удобрення, попри низьку вартість отриманої продукції та відповідно й прибуток. Можна стверджувати що це цілком закономірно спричинене найнижчими для пшениці озимої показниками виробничих витрат, а відповідно навіть менший рівень урожайності зерна не призвів до значних втрат рівня рентабельності.

А от найкращі показники по отриманому прибутку (31185 грн./га) та рівню рентабельності (180 %) отримано за використання біологічної системи удобрення. Цьому сприяв не тільки високий рівень урожайності зерна пшениці а й середній рівень виробничих витрат з розрахунку на один гектар – 17325 грн.

Отже, при вирощуванні пшениці озимої спостерігається зовсім інша стратегія формування прибутковості та рівня рентабельності. При цьому варто відмітити, що за рахунок відносно низької вартості отримуваного врожаю існує ризик вибору екстенсивних малозатратних технологій вирощування, застосування яких ґрунтується винятково на експлуатації природньої родючості ґрунту без проведення заходів по його поліпшенню.

Звичайно дані отримані за застосування екологічної системи удобрення не дозволяють в повній мірі оцінити проблематику даного питання, адже загалом ця система удобрення спрямована на поновлення родючості ґрунту. Однак, аналіз показників ефективності вирощування пшениці озимої в Україні показує проблематику даного питання і висвітлює негативні тенденції по експлуатації родючості ґрунту без кардинального застосування навіть достатньої кількості мінерального удобрення [163].

Буряки цукрові по праву вважаються найбільш затратною в плані витрат на технологію вирощування культурою сівозміни. А тому варто більш детально зупинитись на економічних аспектах застосування різних систем удобрення за їх вирощування.

Дані економічних показників ефективності технології вирощування буряків цукрових за застосування різних систем удобрення (промислової, екологічної та біологічної) наведено в таблиці 7.11.

Таблиця 7.11

**Економічні показники вирощування буряків цукрових, за цінами 2020 р.**

| Система удобрення     | Виробничі витрати, грн./га | Вартість отриманої продукції, грн./га | Собівартість 1 т вирощеної продукції | Прибуток, грн/га | Рівень рентабельності, % |
|-----------------------|----------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|------------------|--------------------------|
| Промислова (контроль) | 40286                      | 65800                                 | 576                                  | 25514            | 63                       |
| Екологічна            | 30571                      | 60630                                 | 474                                  | 30059            | 98                       |
| Біологічна            | 28250                      | 64766                                 | 410                                  | 36516            | 129                      |

Визначено, що застосування промислової системи удобрення найбільш затратне по обсягу виробничих витрат порівняно з іншими системами удобрення буряків цукрових. Причому отриманий урожай за існуючих його якісних показників не дозволив отримати значних рівнів прибутковості. А отже, промислова система в порівнянні з іншими двома системами удобрення була найменш прибутковою та мала найменший рівень рентабельності – 63 %.

За вирощування буряків цукрових з використанням екологічної системи удобрення витрати на технологію знизились порівняно з промисловою системою, що дозволило загалом підняти рівень прибутковості та рентабельності вирощування до 98 %.

Найкращі показники економічної ефективності вирощування буряків цукрових забезпечувала біологічна система удобрення. Так, виробничі витрати були найнижчими серед усіх систем удобрення (28250 грн./га), а собівартість однієї тони вирощеної продукції мінімальною – 410грн. це дозволило отримати найвищий рівень прибутку – 36516 грн/га та рентабельності – 129 %.



Окремо варто зауважити на тому що буряки цукрові по рівню прибутку є однією з найбільш вигідних культур сівозміни. Так, за застосування біологічної системи удобрення отримано 36516 грн./га прибутку, що суттєво перевищує найкращі варіанти прибутковості усіх інших досліджуваних нами культур. Навіть такі здавалося б прибуткові культури як соя та кукурудза виявляються менш ефективними в плані рівня прибутку, хоча й вимагають менших затрат на технологію вирощування.

Параметри економічної ефективності технології вирощування кукурудзи на зерно за застосування різних систем удобрення (промислової, екологічної та біологічної) наведено в таблиці 7.12.

Таблиця 7.12

**Економічні показники вирощування кукурудзи на зерно, за цінами 2020 р.**

| Система удобрення     | Виробничі витрати, грн./га | Вартість отриманої продукції, грн./га | Собівартість 1 т вирощеної продукції | Прибуток, грн/га | Рівень рентабельності, % |
|-----------------------|----------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|------------------|--------------------------|
| Промислова (контроль) | 24657                      | 57330                                 | 2107                                 | 32673            | 133                      |
| Екологічна            | 21229                      | 49980                                 | 2081                                 | 28751            | 135                      |
| Біологічна            | 22488                      | 56350                                 | 1955                                 | 33863            | 151                      |

Аналіз економічних показників вирощування кукурудзи на зерно показує нам що за застосування промислової системи вирощування даної культури ми отримали найвищі параметри вартості отриманої продукції 57330 грн./га, що цілком закономірно, адже й урожайність в цьому варіанті була найвищою. Однак, найвищі виробничі витрати (24657 грн./га) не сприяли отриманню хороших значень рівня рентабельності – 133 %. Хоча, слід сказати, що рівень отриманого прибутку був доволі непоганим – 32673 грн./га.

Варіант застосування екологічної системи удобрення можна охарактеризувати як такий що має найменший рівень виробничих витрат – 21229 грн./га, однак низька вартість отриманої продукції не сприяла формуванню хороших показників прибутковості. Так, за середнього рівня рентабельності ми отримали найнижчий рівень прибутку в порівнянні з іншими варіантами досліджу.

За біологічної системи удобрення виробничі витрати на вирощування кукурудзи на зерно були дещо вищими чим в варіанті екологічного удобрення, однак собівартість однієї тони отриманої продукції була найменшою – 1955 грн. Це сприяло отриманню найвищого по варіантах показника прибутку – 33863 грн./га та рівня рентабельності – 151 %.

### **Висновки за розділом 7:**

Досліджено, що за урожайністю сої максимальні показники забезпечувала промислова система удобрення – 4,21 т/га, а от значення біологічної системи удобрення (4,18 т/га) перебували в межах довірчого інтервалу. Причому за вмістом жиру та білку в насінні сої кращою виявилась біологічна система удобрення.

Урожайність зерна пшениці озимої за застосування промислової системи удобрення склала 7,9 т/га, а за біологічної системи 7,7 т/га. Тобто відхилення в 0,3 т/га були статистично недостовірними і перебували в межах параметрів похибки досліджу. Однак, приріст біомаси загалом засвідчив що на варіанті промислової системи удобрення ресурси мінерального живлення витрачались не раціонально і прибавка зерна склала лише 0,3 т/га тоді як соломи було сформовано на 0,5 т/га більше.

Досліджено, що за біологічної системи удобрення відмічається підвищення вмісту цукру у коренеплодах буряків цукрових, та зниження врожайності порівняно з промисловою та екологічною системами удобрення. Однак, якщо аналізувати вихід цукру то в умовах досліджу найбільшу

ефективність якраз і відмічено в біологічній системі землеробства, яка забезпечила збір цукру в досліді на рівні 12,7 т/га .

Встановлено, що використання біологічної системи удобрення дозволило отримати добрі якісні показники зерна кукурудзи за урожайності 11,5 т/га, що відповідала кращим параметрам отриманого рівня продуктивності в досліді.

Аналіз економічної ефективності вирощування культур сівозміни засвідчив високі рівні їх окупності врожаєм. Так, на біологічній системі отримано найвищі показники в: сої отримано прибутку (32410 грн./га) та рівня рентабельності (183 %), в пшениці озимої прибутку (31185 грн./га) та рівня рентабельності (180 %), в буряків цукрових прибутку – 36516 грн/га та рентабельності – 129 %, в кукурудзи прибутку – 33863 грн./га та рівня рентабельності – 151 %.

## УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

Біологічна складова ґрунту є ключовим елементом функціонування ґрунту, та структура і різноманіття її в значній мірі залежить від удобрення культур сівозміни. А тому дослідження взаємодії мікробного комплексу під впливом зовнішніх чинників технології вирощування культурних рослин має значення з визначення механізмів у системі взаємодій: мікроорганізми – ґрунт – рослина.

Аналіз результатів вчених у галузі ґрунтової мікробіології показав, що виникає необхідність у пошуку агроприйомів, спрямованих на оптимізацію складу та активності мікроорганізмів ґрунту. Це дозволить активізувати процеси підвищення родючості ґрунту та отримувати стабільно високі врожаї вирощуваних культур, адже, як було встановлено, ґрунти в умовах інтенсивної сільськогосподарської експлуатації стають біологічно деградованими.

Відповідно виявлені розбіжності в знаннях щодо комплексної взаємодії мікроорганізмів під впливом удобрення (особливо нової формуляції) та за динамічних змін спричинених сучасними методами вирощування культур у короткоротаційних сівозмінах є одним з завдань мікробіології. Адже детальне вивчення закономірностей розвитку мікробного біому чорноземних ґрунтів та його внеску у формування родючості ґрунту в кінцевому підсумку призведе до раціонального використання мікробіоти у сучасному рослинництві.

Отже, застосування традиційних мікробіологічних методів дозволяє ідентифікувати лише до 10 % мікробного біому ґрунту, що пов'язано з можливостями методів традиційного культивування мікроорганізмів [217]. А от за молекулярно-біологічних методів ідентифікації мікроорганізмів можна досліджувати їх структуру в природних середовищах існування [120; 121; 122; 223; 24; 105; 179].

Вивчення біорізноманіття ґрунтової мікрофлори на основі нуклеотидних послідовностей 16S РНК показано у роботах таких вчених як: J. C. Wooley, C. A.

Osborne, М. В. Патика, Є. Є. Андронов, О.Ю. Колодяжний О.Ю., Тонха О.Л., Борко Ю.П., Вознюк С. В., Титова Л. В., Іутинська Г. О. [121; 175; 118; 76; 24].

За нашими дослідженнями встановлено, що основу еубактеріального комплексу озимої пшениці складали представники філ *Acidobacteria*, *Actinobacteria*, *Armatimonadetes*, *Bacteroidetes*, *Chlamydiae*, *Chlorobi*, *Chloroflexi*, *Cyanobacteria*, *Elusimicrobia*, *Fibrobacteres*, *Firmicutes*, *Gemmatimonadetes*, *Nitrospirae*, *Planctomycetes*, *Proteobacteria*, *Thermi*, *Verrucomicrobia*, а також архейних філ: *Euryarchaeota* та *Crenarchaeota*. Абсолютними домінантами були представники бактеріальних філ *Proteobacteria* – 79,1 %, *Actinobacteria* – 14,0 %. При цьому в агроценозі пшениці озимої за різних систем удобрення переважне поширення мали представники родин *Alcaligenaceae*, *Pseudomonadaceae*, *Comamonadaceae*, *Enterobacteriaceae*, *Gaiellaceae*, *Geodermatophilaceae*, *Intrasporangiaceae*, *Micrococcaceae*, *Nitrososphaeraceae*, *Nocardioideaceae*, *Rhodobiaceae*, *Solimonadaceae*, *Solirubrobacteraceae*, *Streptomycetaceae*, *Xanthomonadaceae*. А от за біологічної системи удобрення супроводжується збільшенням видового різноманіття мікробіоти ґрунту за рахунок філ *Acidobacteria*, *Actinobacteria*, *Bacteroidetes*, *Firmicutes*, *Proteobacteria*, *Verrucomicrobia*, а застосування екологічної системи удобрення - за рахунок таких філ, як *Actinobacteria*, *Bacteroidetes*, *Firmicutes* та *Proteobacteria*.

А от еубактеріальний комплекс сої в середньому по досліді представлений такими філами: *Proteobacteria* – 82,0 %, *Actinobacteria* – 12,1 %, *Acidobacteria* – 0,9 %, *Gemmatimonadetes* – 0,7 %, *Chloroflexi* – 0,5 %, *Firmicutes* – 0,5 %, *Verrucomicrobia* – 0,4 %, *Bacteroidetes* – 0,2 %, *Planctomycetes* – 0,1 %, а частка інших філ становила 2,6 %.

Також визначено, що основу еубактеріального комплексу буряків цукрових складали представники філ *Proteobacteria*, *Actinobacteria*, *Gemmatimonadetes*, *Chloroflexi*, *Acidobacteria*, *Firmicutes*, *Planctomycetes*, *Verrucomicrobia*, *Bacteroidetes*. Абсолютними домінантами були представники бактеріальних філ *Proteobacteria* – 76,9 %, *Actinobacteria* – 13,4 %. В агроценозі буряків цукрових за різних систем удобрення переважне поширення мали

представники родин *Alcaligenaceae*, *Pseudomonadaceae*, *Nitrososphaeraceae*, *Gaiellaceae*, *Micrococcaceae*, *Solirubrobacteraceae*, *Streptomycetaceae*, *Intrasporangiaceae*, *Solimonadaceae*, *Syntrophobacteraceae*, *Xanthomonadaceae*, *Enterobacteriaceae*, *Nocardiodaceae*, *Hyphomicrobiaceae*, *Comamonadaceae*. А от застосування біологічної системи удобрення супроводжується збільшенням видового різноманіття мікробіоти ґрунту за рахунок філ: *Alcaligenaceae*, *Gaiellaceae*, *Solirubrobacteraceae*, *Streptomycetaceae*, *Solimonadaceae*, *Syntrophobacteraceae*, *Xanthomonadaceae*, *Enterobacteriaceae*, *Nocardiodaceae*, *Hyphomicrobiaceae*, *Hyphomicrobiaceae* а от екологічної системи удобрення - за рахунок таких філ як: *Alcaligenaceae*, *Micrococcaceae*, *Streptomycetaceae*, *Intrasporangiaceae*, *Nocardiodaceae*, *Hyphomicrobiaceae* та *Hyphomicrobiaceae*.

Встановлено, що за використання промислової системи удобрення кукурудзи порівняно з біологічною та екологічними системами частка представників порядків *Acidimicrobiales* та *Clostridiales* у структурі ґрунтової мікробіоти була вищою. Застосування екологічної та біологічної систем удобрення сприяло зростанню чисельності представників порядку *Gaiellales*, *Actinomycetales*, *Solirubrobacterales*, *Xanthomonadales*, *Myxococcales*, *Rhizobiales*, *Bacillales*, *Sphingomonadales* та *Gemmatimonadetes*.

Аналіз особливостей перебігу мікробних процесів в ґрунті, за вирощування сої, показав, що найвища чисельність популяцій мікроорганізмів, що використовують органічний азот була сформована за обмеження або ж відмови від застосування засобів хімізації втілених у екологічній та біологічній системі удобрення та у фазу побуріння бобів складала 8,35 та 7,41, тоді як за промислової системи лише 5,15 млн. КУО/г ґрунту. Встановлено також, що застосування мінеральних добрив суттєво посилювало розвиток мікроорганізмів що використовують азот мінеральних сполук і за біологічної системи удобрення в ґрунті був представлений мікробний ценоз збіднений видами, здатними утилізувати мінеральні сполуки азоту. Відповідно за екологічної та біологічної систем удобрення сої чисельність амілолітичних мікроорганізмів в фазу сходів культури була меншою порівняно з промисловою системою удобрення. В

процесі вивчення закономірностей формування чисельності педотрофних мікроорганізмів в агрофітоценозах сої нами було встановлено, що численна перевага їх спостерігалась в випадку наявності достатньої кількості органічних добрив, тобто за застосування екологічного та біологічного варіантів удобрення. А от чисельність оліготрофів була вищою при застосуванні промислової системи удобрення. Виявлені закономірності свідчать про вичерпання запасів легкодоступних поживних елементів та посилення гуміфікаційних процесів. Також нами встановлено що щільність мікробних клітин в одиниці об'єму ризосферного ґрунту сої була вищою стосовно усіх досліджуваних еколого-трофічних угруповань та закономірно зберігалось в динаміці вегетації.

Праці інших вчених (Андреюк К.І., Круглов Ю.В., Пароменська Л.М., Писаренко П.В., Танчик С. П., та ін.) підтверджують, що систематичне застосування органічних добрив та їх поєднання з невисокими дозами мінеральних сприяє збільшенню чисельності мікроорганізмів, які здійснюють кругообіг азоту, целюлозоруйнівних та спороутворюючих мікроорганізмів у фазу активної вегетації рослин та зменшенню чисельності оліготрофної та педотрофної мікрофлори [5; 6; 7; 146; 206; 124].

За результатами аналізу коефіцієнтів мінералізації–іммобілізації, оліготрофності та педотрофності визначено спрямованість мікробіологічних процесів за різних систем удобрення сої. Встановлено, що за застосування біологічної системи удобрення показники коефіцієнту мінералізації–іммобілізації азоту були найнижчим (0,60-0,99), що свідчить про зрівноваження процесів мінералізації та іммобілізації. А от підвищення величини коефіцієнту педотрофності, що свідчить про збільшення інтенсивності розкладу органічної речовини ґрунту, зокрема гумусових сполук спостерігалась за застосування промислової системи удобрення. Причому, встановлено, що показники коефіцієнту оліготрофності екологічної та біологічної систем удобрення на етапах бутонізації та побуріння бобів (0,52-0,84) свідчать про хорошу забезпеченість ґрунтової мікробіоти легкозасвоюваними органічними

речовинами, та формування оптимальних умов для функціонування ґрунтового мікробного комплексу.

За вивчення мікробної активності впродовж вегетації пшениці озимої чисельність основних груп мікроорганізмів зростала, набуваючи максимуму у фазу молочно-воскової стиглості. На час початку виходу в трубку чисельність амоніфікуючих мікроорганізмів за екологічної та біологічної систем удобрення була більшою на 5,5 та 19,7 %, а от в фазу колосіння на 40,0 % та 45,7 % порівняно з промисловою системою удобрення. За екологічної та біологічної системи удобрення пшениці озимої чисельність амілолітичних мікроорганізмів була меншою порівняно з промисловою системою удобрення. А от педотрофних мікроорганізмів за екологічного та біологічного варіантів удобрення в фазу початку виходу в трубку було на 9,7 та 15,5 %, а в фазу колосіння на 2,9 та 16,0 %, та в фазу молочно-воскової стиглості на 9,5 та 25,0 % більше чим на промисловій системі удобрення. В той же час чисельність оліготрофних мікроорганізмів була вищою при застосуванні промислової системи удобрення, а мікроскопічних грибів навпаки – на варіантах екологічної та біологічної систем удобрення пшениці озимої.

За даними Андреюк К. А., Ємцева В. Т., Звягінцева Д. Г., Іутинської Г. І., за інтенсивних технологій вирощування сільськогосподарських культур спостерігається переважання мінералізаційних процесів. Також, за даними Колодяжного О.Ю. за промислової системи землеробства спостерігалось перевищення чисельності мікроорганізмів, що використовують мінеральні форми азоту у 1,5 – 2 рази над амоніфікувальними [6; 7; 50; 52; 58; 75; 74; 71].

Аналіз мікробіологічних коефіцієнтів за вирощування пшениці озимої показав переважання коефіцієнту мінералізації-імобілізації азоту у варіанті промислової системи удобрення за усіх досліджуваних фаз розвитку рослин. Максимальні значення коефіцієнту педотрофності по досліді спостерігались в фазу молочно-воскової стиглості рослин, що відповідає збільшенню інтенсивності розкладу органічної речовини ґрунту для забезпечення потреб рослин в елементах живлення. А от попри нестачу легкозасвоюваних органічних



речовин для ґрунтової мікробіоти в фазу молочно-воскової стиглості на усіх варіантах удобрення показники коефіцієнту оліготрофності екологічної та біологічної систем удобрення були кращими порівняно з промисловою системою удобрення.

За вирощування буряків цукрових сприятливі умови для розвитку амоніфікуючих мікроорганізмів, що визначають азотний режим ґрунту, склалися за біологізованих систем удобрення. Адже нестача лабільних форм азоту, на нашу думку, стала потужним імпульсом до активної діяльності мікробіоти, що добуває енергетичний матеріал із негуміфікованих органічних решток гною, післяжнивних сидератів та соломи. Так, найбільша чисельність амілолітичних мікроорганізмів була на варіантах використання промислової системи удобрення. Визначено, що на час змикання рядків в рослин буряків цукрових чисельність заселення органічних колоїдів педотрофними мікроорганізмами зроста і за екологічної та біологічної систем удобрення була вищою на 53,0 % та 85,3 % від промислової системи удобрення. А от чисельність оліготрофів постійно зростала і максимальною була в фазу технічної стиглості, що відповідає періоду вичерпання запасів легкодоступних поживних елементів та посиленню гуміфікаційних процесів в ґрунті. За застосування екологічної та біологічної систем удобрення рослин цукрових буряків чисельність мікроскопічних грибів була максимальною порівняно з промисловою системою, адже достатній вміст клітковини в ґрунті стимулював активізацію розвитку грибної мікрофлори.

За вирощування буряків цукрових, на варіанті застосування виключно мінерального живлення визначено високі показники коефіцієнтів мінералізації-імобілізації азоту в усі фази росту та розвитку. А от за екологічної та біологічної систем удобрення показники коефіцієнту педотрофності були великими на початку вегетації (перший критичний етап росту та розвитку), та зростали до максимальних значень в період активного споживання поживних речовин рослинами – друга половина вегетації. Зниження вмісту в ґрунті доступних рослинам поживних речовин призводило до короточасних значень високих показників коефіцієнту оліготрофності на початку вегетаційного періоду по всіх

варіантах досліду. В той же час значення коефіцієнту оліготрофності на екологічній та біологічній системах удобрення на час технічної стиглості коренеплодів буряків цукрових свідчать про кращу забезпеченість ґрунтової мікробіоти легкозасвоюваними органічними речовинами порівняно з показниками за промислової системи удобрення рослин.

За вирощування кукурудзи чисельність амоніфікаторів на варіантах екологічної та біологічної систем удобрення в фазу 5-7 листків культури була вищою на 8,0 та 19,7 %, а в період активного росту – викидання волоті чисельність цієї групи мікроорганізмів зросла на 24,0 % та 31,7 % порівняно з промисловою системою удобрення. Водночас на екологічній та біологічній системах удобрення представлений мікробний ценоз збіднений видами, здатними утилізувати мінеральні сполуки азоту. Так, за біологічної системи в досліджувані фази розвитку культури мікроорганізмів було на 22,6 %, 12,3 % та 36,0 % менше чим на контролі. Встановлено, що педотрофних мікроорганізмів за екологічної та біологічної систем удобрення було більше чим на промисловій системі, а от оліготрофних – навпаки - при застосуванні промислової системи удобрення. В той же час за чисельністю мікроміцетів кращими були варіанти застосування екологічної та біологічної систем удобрення.

Визначено, що за вирощування кукурудзи спостерігалось переважання процесів деструкції органічної речовини над синтезом по всіх етапах розвитку рослин на варіанті промислової системи удобрення. А от за біологічної системи удобрення показники коефіцієнту мінералізації-імобілізації азоту підтвердили те, що дана система є більш збалансованою за елементами живлення. Аналогічно згідно значення коефіцієнту оліготрофності в порівнянні з промисловою системою удобрення рослини були краще забезпечені легкозасвоюваними органічними речовинами за екологічної та біологічної систем удобрення.

Також наші дослідження показали, що активність протеази зростала від початку до кінця вегетаційного періоду, а максимальні показники активності каталази спостерігались орієнтовно в середині вегетації досліджуваних культур, а до завершення її відбувалось зменшення цього показника. Отримані результати не суперечать з працями інших вчених, в яких стверджується що високі

показники вмісту гумусу призводять до вищих значень активності гідролаз: протеази, фосфатази, уреаз, інвертази, а ферменти оксидоредуктази: пероксидаза, каталаза, поліфенолоксидаза мають зворотну залежність від вмісту в ґрунті гумусу.

Дослідження проведені Козлов А. В., Полянською Л. М., Семенов В. М., Тітовою В. И., Туєвою М. А., показали високі значення мінералізаційних процесів ґрунту в умовах інтенсивного землеробства, що активізує процеси руйнування гумусу [135; 147].

За результатами проведених досліджень визначено, що за застосування промислової системи удобрення на початку вегетаційного періоду культур попри вище агрохімічне навантаження створювались кращі умови формування поживного режиму ґрунту порівняно з системами удобрення. А от з початком активних мікробіологічних процесів в ґрунті доступність елементів живлення на біологічній системі живлення культур зростала порівняно з промисловою системою удобрення і до часу активного споживання рослинами елементів живлення, особливо азоту, їх концентрація в ґрунті досягала хороших рівнів забезпечення.

Використання біологічної системи удобрення дозволило отримати добрі якісні показники досліджуваних культур з незначними відхиленнями урожайності. А от аналіз економічної ефективності вирощування культур сівозміни також засвідчив високі рівні їх окупності врожаєм на біологічній системі удобрення.

## ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі наведено теоретичне обґрунтування та практичне вирішення важливого наукового завдання оптимізації агробіогеоценозів короткоротаційної сівозміни Правобережного Лісостепу України за різних рівнів антропогенного навантаження.

1. Визначено, що в агроценозі пшениці озимої за різних систем удобрення переважне поширення мали представники родин *Alcaligenaceae*, *Pseudomonadaceae*, *Comamonadaceae*, *Enterobacteriaceae*, *Gaiellaceae*, *Geodermatophilaceae*, *Intrasporangiaceae*, *Micrococcaceae*, *Nitrososphaeraceae*, *Nocardiodaceae*, *Rhodobiaceae*, *Solimonadaceae*, *Solirubrobacteraceae*, *Streptomyetaceae*, *Xanthomonadaceae*. За біологічної системи удобрення збільшується видове різноманіття мікробіоти ґрунту за рахунок філ *Acidobacteria*, *Actinobacteria*, *Bacteroidetes*, *Firmicutes*, *Proteobacteria*, *Verrucomicrobia*, а за екологічної системи удобрення - за рахунок таких філ, як *Actinobacteria*, *Bacteroidetes*, *Firmicutes* та *Proteobacteria*.

2. Досліджено, що еубактеріальний комплекс сої в середньому по досліді представлений такими філами: *Proteobacteria* – 82,0 %, *Actinobacteria* – 12,1 %, *Acidobacteria* – 0,9 %, *Gemmatimonadetes* – 0,7 %, *Chloroflexi* – 0,5 %, *Firmicutes* – 0,5 %, *Verrucomicrobia* – 0,4 %, *Bacteroidetes* – 0,2 %, *Planctomycetes* – 0,1 %, а частка інших філ становила 2,6 %.

3. Встановлено, що в агроценозі буряків цукрових за різних систем удобрення переважне поширення мали представники родин *Alcaligenaceae*, *Pseudomonadaceae*, *Nitrososphaeraceae*, *Gaiellaceae*, *Micrococcaceae*, *Solirubrobacteraceae*, *Streptomyetaceae*, *Intrasporangiaceae*, *Solimonadaceae*, *Syntrophobacteraceae*, *Xanthomonadaceae*, *Enterobacteriaceae*, *Nocardiodaceae*, *Hyphomicrobiaceae*, *Comamonadaceae*. Застосування біологічної системи удобрення супроводжується збільшенням видового різноманіття мікробіоти ґрунту за рахунок філ: *Alcaligenaceae*, *Gaiellaceae*, *Solirubrobacteraceae*, *Streptomyetaceae*, *Solimonadaceae*, *Syntrophobacteraceae*, *Xanthomonadaceae*, *Enterobacteriaceae*, *Nocardiodaceae*, *Hyphomicrobiaceae*, *Hyphomicrobiaceae*, екологічної системи удобрення - за рахунок таких філ як: *Alcaligenaceae*,

*Micrococcaceae*, *Streptomycetaceae*, *Intrasporangiaceae*, *Nocardoidaceae*, *Hyphomicrobiaceae* та *Hyphomicrobiaceae*.

4. Досліджено, що за використання промислової системи удобрення кукурудзи порівняно з біологічною та екологічними системами частка представників порядків *Acidimicrobiales* та *Clostridiales* у структурі ґрунтової мікробіоти була вищою. Застосування екологічної та біологічної систем удобрення сприяло зростанню чисельності представників порядків *Gaiellales*, *Actinomycetales*, *Solirubrobacterales*, *Xanthomonadales*, *Myxococcales*, *Rhizobiales*, *Bacillales*, *Sphingomonadales* та *Gemmatimonadetes*.

5. За визначення особливостей перебігу біологічних процесів у ґрунті при вирощуванні досліджуваних культур встановлено, що найвища чисельність популяцій мікроорганізмів, які використовують переважно органічний азот, була сформована за обмеження або ж відмови від застосування засобів хімізації. Застосування мінеральних добрив суттєво посилювало розвиток мікроорганізмів, що переважно використовують азот мінеральних сполук, тому за біологічної системи удобрення мікробний ценоз ґрунту збіднено представлений видами, здатними утилізувати мінеральні сполуки азоту. Чисельність педотрофних мікроорганізмів була вищою за достатньої кількості органічних добрив, тобто за екологічного та біологічного варіантів удобрення. У той же час, кількість оліготрофів була вищою за промислової системи удобрення. За екологічної та біологічної систем удобрення чисельність мікроскопічних грибів була максимальною порівняно з промисловою системою, що пояснюється достатнім вмістом клітковини в ґрунті для активізації розвитку мікробіоти.

6. За біологічної системи удобрення показники коефіцієнту мінералізації-іммобілізації азоту були найнижчими, що свідчить про врівноваження процесів мінералізації та іммобілізації. У той же час, підвищення величини коефіцієнту педотрофності, який свідчить про збільшення інтенсивності розкладу органічної речовини ґрунту, зокрема гумусових сполук спостерігали за промислової системи удобрення. Показники коефіцієнту оліготрофності за екологічної та біологічної систем удобрення свідчать про забезпеченість ґрунтової мікробіоти легкозасвоюваними органічними

речовинами, та формування оптимальних умов для функціонування ґрунтового мікробного комплексу.

7. Вміст токсинів у ґрунті зазнає постійних змін і наприкінці вегетації алелопатична активність ґрунту за промислової системи удобрення максимальна порівняно з іншими системами. У ризосферному ґрунті відмічено мінімальні значення фітотоксичності в усіх досліджуваних нами культур. Умови ґрунтового середовища при вирощуванні сої за біологічної системи землеробства виявились найбільш сприятливими для розвитку наступних сільськогосподарських культур: сої, пшениці, цукрових буряків, кукурудзи.

8. Визначено, що активність протеази зростала від початку до кінця вегетаційного періоду, а максимальні показники активності каталази спостерігались орієнтовно в середині вегетації досліджуваних культур, а до завершення її відбувалося зменшення цього показника. Протеазна активність ґрунту впродовж вегетації зростає, активність каталази знижується, що яскраво помітно в другій половині вегетації сільськогосподарських культур досліджуваної сівозміни.

9. Досліджено, що впродовж вегетації культур сівозміни запаси елементів живлення в ґрунті виснажувались і на час передзбиральної стиглості вони були мінімальними порівняно з іншими фазами росту та розвитку культур. Найбільша інтенсивність споживання азоту з ґрунту спостерігалась у період інтенсивного накопичення вегетативної маси рослин і його вміст за промислової системи удобрення на кінець вегетації сягав критично низьких рівнів забезпечення. У той же час, динаміка формування поживного режиму ґрунту за екологічної та біологічної систем удобрення була кращою з фізіологічної точки зору споживання культурами основних макроелементів.

10. За урожайністю сої, пшениці, цукрових буряків та кукурудзи максимальні показники забезпечувала промислова система удобрення, показники біологічної системи удобрення були дещо нижчими, хоча статистично не відрізнялися. Використання біологічної системи удобрення дозволило отримати найкращі в досліді якісні показники зерна та коренеплодів.

## **ПРОПОЗИЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ**

В умовах Правобережного Лісостепу України для підвищення функціональної активності та формування гомеостазу ґрунту, та як наслідок - отримання високого рівня продуктивності культур короткоротаційної сівозміни (соя, пшениця озима, буряки цукрові, кукурудза) пропонується застосовувати біологічну систему удобрення з внесенням біодобрих нової формуляції: біогумус «ЕКОЧУДО», та обробки насіння і рослин по вегетації біодобривом Вермісол, а також приорювання пожнивних решток культур.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Агаев В.А., Семенов В.М., Соколов О.А. Агроэкологические факторы накопления нитратов растениями. Агрохимия. 1989. №8. С.124-128.
2. Агроекологічні основи високоефективного вирощування польових культур у сівозмінах біологічного землеробства: Рекомендації /за ред. І. А. Шувара. Львів: Українські технології, 2003. 36 с.
3. Агропромисловий комплекс України : Стан та перспективи розвитку (1999-2000). Київ, ІАЕ УААН, 1999. С. 336.
4. Алимova Ф.К., Тухбатова Р.И., Тазетдинова Д.И. Методы определения гидролаз почв и почвенных микроорганизмов: учеб.-метод. пособие. Казань: Казанский университет; 2010. 67 с.
5. Андреюк Е.И. Структура микробных ценозов почв с различной антропогенной нагрузкой. Тр. Ин-та микробиологии и вирусологии АН КазССР. 1980. С. 79-90.
6. Андреюк Е.И., Иутинская Г.А., Дульгерov А.Н. Почвенные микроорганизмы и интенсивное землепользование. Киев: Наук. думка, 1988. 192 с.
7. Андреюк К.І., Іутинська Г.О., Антипчук А.Ф. та ін. Функціонування мікробних ценозів в умовах антропогенного навантаження. К.: Обереги, 2001. 240 с.
8. Андронов Е. Е., Першина Е. В., Дольник А. С. Почвенный микробиом как биоиндикатор: новые подходы к анализу данных высокопроизводительного секвенирования. Биодиагностика в экологической оценке почв и сопредельных сред: Тезисы докладов Международной конференции. Москва, 2013.
9. Антипчук А.Ф., Піляшенко-Новохатний А.І., Євдокименко Т.М. Практикум з мікробіології: навч. посібн. Київ: Ун-т “Україна”; 2011. 155 с.



10. Ахмедова З.Н., Рамазанова Н.И., Гасанов Г.Н. Фосфатазная и уреазная активность почв горных и равнинных ландшафтов Дагестана. Вест Дагестан науч центра. 2014; 52: 36-9.
11. Ашмарин И.П., Воробьев А.А. Статистические методы в микробиологических исследованиях. Л.: Медгиз, 1962. 186 с.
12. Балаев А. Д., Гаврилюк М. В., Недбаев В. Н. Трансформация органического вещества черноземных почв под влиянием длительного применения различных систем обработки и удобрения. Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2015. № 1. С. 1–2.
13. Бардина Т. В., Чугунова М. В., Бардина В. И. Изучение экотоксичности урбаноземов методами биотестирования. *Живые и биокосные системы*. 2013. № 5; URL: <http://www.jbks.ru/archive/issue-5/article-8>.
14. Безверха О.В. Зміна целюлозолітичної активності дерново-підзолистих ґрунтів у природних та антропогенно трансформованих екосистемах. В: Матеріали XI Міжнародної конференції молодих учених. Біологія: від молекули до біосфери; 2016 Лист 29-Груд 2, Харків, Україна. Харків: ХНУ імені В.Н. Каразіна; 2016: 173-4.
15. Берестецкий О.А., Возняковская Ю.М., Доросинский Л.М. и др. Биологические основы плодородия почвы. Всесоюз. акад. с.-х. наук им. В.И. Ленина, М.: Колос, 1984. 287 с.
16. Бешлей З. М., Бешлей С. В., Баранов В. І., Терек О. І. Використання рослинних тест-систем для оцінки токсичності техногенно забруднених субстратів. *Вісник Харківського національного аграрного університету. Серія: Біологія*. 2014, Вип. 1 (31). С. 97–102.
17. Бобрик Н.Ю., Кривцова М.В., Ніколайчук В.І. Біологічна активність ґрунтів призалізничних екосистем за мікробіологічними показниками. *Ґрунтознавство*. 2013;14(1–2):40-8.
18. Бойко П.І., Коваленко Н.П. Проблеми екологічно врівноважених сівозмін. *Вісник аграрної науки*. 2003. № 8. С. 9–13.

19. Буткевич В.В. Изменчивость белковости и белковой продуктивности пшеницы под влиянием агротехнических и природных факторов. Труды ВИУА. 1959.
20. Важенин И.Г. Методы определения калия в почве. В кн.: Агрохимические методы исследования почв. М.: Изд-во АН СССР, 1960. С.115-149.
21. Варюшкина Н.М. Потери питательных веществ из почв и удобрений. М.: ВНИИТЭИСХ, 1980. С.17.
22. Вирощування екологічно чистої продукції рослинництва. За ред. Е.Г. Дегодюка. К.: Урожай. 1992. 320 с.
23. Вільний Р. П. Вплив мінімізації обробітку ґрунту на структуру мікробних угруповань азотного циклу чорнозему типового. Агрохімія і ґрунтознавство. 2014. Вип. 81. С. 118–122.
24. Вознюк С. В., Титова Л. В., Іутинська Г О. Порівняльний аналіз методів виділення ДНК з ґрунту для дослідження ризосферних мікробіоценозів. Мікробіологічний журнал. 2014. Т. 76. № 4. – С. 2–8.
25. Волкогон В.В. Мікробіологія у сучасному аграрному виробництві. Сільськогосподарська мікробіологія: міжвідомчий темат. наук. зб. Чернігів: ЦНТЕІ, 2005. Вип.1-2. С. 6-29.
26. Гадзало Я.М., Патыка Н.В., Заришняк А.С. Агробіологія ризосфери рослин: монографія. К.: Аграрна наука, 2015. 386 с.
27. Галстян А.Ш. Об устойчивости ферментов почв. Почвоведение. 1982. №4. С. 108-110.
28. Гамзиков Г.П., Кострик Г.И., Емельянова В.Н. Баланс и превращение азота удобрений. Новосибирск: Наука, 1985. 160с.
29. Геркиял А.М. Агрохимические показатели почвы в севооборотах с длительным применением разных удобрений. Плодородие почвы и продуктивность севооборотов. К.: Урожай, 1985. С.18-28.
30. Гойчук А.Ф., Копитко П.Г., Грицаєнко З.М., Трифонова М.Ф., Господаренко Г.М., Єщенко В.О., Чучмій І.П., Герасименко С.М. Біологічні та

агроекологічні основи підвищення продуктивності сільськогосподарських культур. Збірник наукових праць Уманського державного аграрного університету (спец. випуск). Умань. 2003. С. 5-14.

31. Головка Е.А., Борисик Б.В., Іщук О.В. Еколого-фізіологічні аспекти функціонування агроєкосистем. Науковий вісник НАУ. 2005. №87. С. 213-223.

32. Горленко М.В., Якименко О. С., Голиченков М. В. Функциональное биоразнообразие почвенных микробных сообществ при внесении органических субстратов различной природы. Вестник Моск. Ун-та: Серия 17. Почвоведение. 2012 №2. С. 20 – 27.

33. Горова А. І., Риженко С. А., Скворцова Т. В. Обстеження та районування території за ступенем впливу антропогенних чинників на стан об'єктів довкілля з використанням цитогенетичних методів: методичні рекомендації. К.: 2007. 36 с.

34. Горшков П.А. Результаты опытов по изучению системы удобрений свекловичного севооборота на слабо выщелоченном черноземе. Данные стационаров Сумской опытной станции ВИУА. Влияние длительного применения удобрений на плодородие почвы и продуктивность севооборотов. М., 1960. С.307-315.

35. Гребенюк П., Корж., Яценюк А. Нове про зміну глобального та регіонального клімату в Україні на початку ХХ ст. Водне господарство України. №5-6. Київ, 2002. С.34-38.

36. Грицаєнко З.М., Голодрига О.В. Симбіотична діяльність та тривалість симбіозу у рослинах сої під впливом різних норм Хармоні 75 і Емістиму С. Зб. наук. праць Уманського ДАУ. 2008. С. 223–229.

37. Гродзинський А.М. Основи хімічної взаємодії рослин. К.: Наук. думка, 1973. 224 с

38. Губачов О. І. Особливості використання рослин для біотестування ґрунтів з метою визначення рівня екологічної безпеки промислових територій. *Наук. вісн. КУЕІТУ. Нові технології*. 2010. № 3 (29). С. 164–171.

39. Даденко Е.В. Некоторые методические аспекты применения показателей ферментативной активности в диагностике и мониторинге почв. Тезисы докладов международной научной конференции "Экология и биология почв" Ростов-на-Дону, 2005. С. 143-147.

40. Дегодюк Е.Г. Добри́ва та хімічні меліоранти у підвищенні конкурентоспроможності виробництва продукції рослинництва. Агроінком. 1997. №. 6-7. С.18-19.

41. Дегодюк Е.Г. Екологічні проблеми землеробства в ХХІ столітті. Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції "Землеробство України в ХХІ столітті". К. 2000. С. 4–7.

42. Дегодюк Е.Г. Система удобрення озимих зернових культур у зонах Лісостепу і Полісся України. Агроінком. 1998. №9-10. С.10-11.

43. Дем'янчук О.С., Симочко Л.Ю., Тертична О.В. Сучасні методичні підходи до оцінювання екологічного стану ґрунту за активністю мікробіоценозу. Питання біоіндикації та екології. 2017. Вип. 22, № 1. С. 55–68.

44. Джура Н. М., Романюк О. І., Гонсьор Ян, Цвілінюк О. М., Терек О. І. Використання рослин для рекультивації ґрунтів, забруднених нафтою і нафтопродуктами. *Екологія та ноосферологія*. 2006. Т. 17, Вип. 1–2. С. 55– 60.

45. Доманская О.В., Доманский В.О., Кулакова А.Ю. Исследование микробиологической и биохимической активности мерзлых отложений Западной Сибири. Современные проблемы науки и образования. Доступно: [http:// www.science-education.ru/ru/article/view?id=21761](http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=21761).

46. Дурманов Д.Н., Горчаков Я.В. Мировое органическое земледелие ХХІ века. М.: ПАИМС, 2002. 402

47. Еремченко О. З., Москвина Н. В., Шестаков И. Е., Швецов А. А. Использование тест-культур для оценки экологического состояния городских почв. *Вестник ТГУ*. 2014. Т.19, Вып.5. С. 1280-1284.

48. Жемела Г.П. Агроекологічні фактори поліпшення якості зерна озимої пшениці Наукові праці Полтавської державної аграрної академії. Том 4 (23). Сільськогосподарські науки. Полтава.2005. 304 с.

49. Жемела Г.П. Добрива, урожай і якість зерна. К.: Урожай, 1991. 136с.
50. Звягинцев Д.Г. Почва и микроорганизмы. М.: Из-во Моск. Ун-та., 1987. 256 с.
51. Звягинцев Д.Г., Бабьева И.П., Зенова Г.М. Биология почв: учебник. 3-е изд., испр. и доп. Москва: Изд-во МГУ; 2005. 445 с.
52. Звягинцев Д.Г., Полянская Л.М. Содержание и структура микробной биомассы как показатель экологического состояния почв. Почвоведение. 2005. №6. С. 706-714.
53. Зленко І.Б., Гаврюшенко О.О., Торхова Н.А. Біологічна активність субстратів у різноякісних моделях рекультивованих земель. В: Матеріали IV Міжнародної наукової конференції. Відновлення порушених природних екосистем; 2011 Жовт 18-21; Донецьк, Україна. Донецьк: Донецьк. бот. сад; 2011:148-50.
54. Илларионова Е.С. Органический фосфор почвы и его минерализация. Изв. АН.СССР. Сер. биол., 1978. № 3. С.382-389.
55. Іваніна В.В. Біологізація удобрення культур у сівозмінах: монографія. Київ: «Компринт». 2016. 328 с.
56. Іутинська Г.О. Ґрунтова мікробіологія. Навчальний посібник. К.: Аристей, 2006. 284 с.
57. Іутинська Г.О. Мікробні біотехнології для реалізації нової глобальної програми забезпечення сталого розвитку агросфери України. Агроекологічний журнал, №2. 2017. С. 149-155
58. Іутинська Г.О. Шляхи регулювання функцій мікробних угруповань ґрунту в аспекті біологізації землеробства і стійкого розвитку агроєкосистем. Мікробіологічний журн. 2008 №1. С. 7-18.
59. Іутинська Г.О., Іванова Н.І., Коптєва Ж.П. та інші. Здатність різних ґрунтів до самоочищення при різних дозах нітратного навантаження. Мікробіол. журн. 1995. №2. С. 66-74.
60. Кавецький В.М., Макаренко Н.А. Екотоксикологія та екологічна експертиза – основа сучасної системи оцінки небезпечності засобів хімізації у

землеробстві. Збірник наукових праць Ін-ту землеробства УААН. Київ. 2000. Вип. 2. С.137-141

61. Казеев К.Ш., Колесников С.И., Вальков В.Ф. Биологическая диагностика и индикация почв: методология и методы исследований Ростов-на-Дону: Из-во ЦВВР, 2004. 350с.

62. Калдыбаев С., Малимбаева А.Д., Ошакбаева Ж.О. Изменение биологической активности темно-каштановой почвы в зависимости от длительности применения минеральных удобрений в севообороте. Сельск.хоз. Земледелие, почвоведение и агрохимия. 2013. Доступно: [http://www.rusnauka.com/1\\_NIO\\_2013/Agricole/3\\_122721.doc.htm](http://www.rusnauka.com/1_NIO_2013/Agricole/3_122721.doc.htm).

63. Канівець В.І. Життя ґрунту. К.: Аграрна наука, 2001. 131с.

64. Кардиналовська Р.І. Вплив добрив на родючість ґрунту. К. УкрНДІНТІ, 1970. 50с.

65. Киндрук Н.А., Сечняк Л.К., Слюсаренко О.К. Экологические основы семеноводства и прогнозирования урожайных качеств семян озимой пшеницы. К.: Урожай, 1990. 184 с.

66. Кисіль В.І. Агрохімічні аспекти екологізації землеробства. Харків. Вид. «13 типографія», 2005. 167 с.

67. Клімат України. За ред. В.М. Ліпінського, В.А. Дячука, В.М. Бабіченко. К.: Вид-во Раєвського, 2003. 343с.

68. Коваленко Н.П. Становлення та розвиток науково-організаційних основ застосування вітчизняних сівозмін у системах землеробства (друга половина ХІХ – початок ХХІ ст.): монографія. Київ: ТОВ «Нілан-ЛТД», 2014. 490 с.

69. Кожевин П. А. Об управлении почвенными микроорганизмами в агроэкосистемах. Вестник Московского университета. 2011. Сер. 17, Почвоведение. №1. С. 46 – 48.

70. Козлов Ф.П., Ладонин В.Ф., Конова А.М., Самойлов Л.Н. Баланс основных макроэлементов в севообороте в зависимости от комплексного применения удобрений и пестицидов. Агрохимия. 2003. №6. С.33-38.

71. Колодяжний А. Ю., Патыка Н.В., Орлова О. В. Особенности формирования метагенома и функциональной структуры микробного комплекса при внесении соломы в почву. Научно-практический журнал «Збалансоване природокористування». 2014. №2. С. 61-68.

72. Колодяжний О. Ю., Патыка М. В. Дослідження мікробного комплексу чорнозему типового методом високопродуктивного секвенування. Бюлетень Асоціації учасників біовиробництва «БІОЛан Україна». 2014. №11. С. 13.

73. Колодяжний О. Ю., Патыка М. В. Аналіз філотипової структури еубактеріального комплексу чорнозему типового при вирощуванні пшениці озимої. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України: Серія «Біологія, біотехнологія, екологія», №178. К.: 2012. С. 231 – 236.

74. Колодяжний О. Ю., Патыка М. В. Формування мікробного комплексу чорнозему типового в агроценозі пшениці озимої за різних систем землеробства. Вісник Полтавської державної аграрної академії. 2014. №2 (73). С. 26–33.

75. Колодяжний О. Ю., Патыка М. В., Танчик С. П. Структура мікробного комплексу чорнозему типового під посівами гороху з використанням різних систем землеробства. Міжвідомчий тематичний науковий збірник «Корми і кормовиробництво». №74. 2012. С. 73–80.

76. Колодяжний О. Ю., Патыка М.В. Порівняльна характеристика мікробіому чорнозему типового в агроценозі пшениці озимої за різних систем землеробства. Біоресурси і природокористування. К.: НУБіП України. 2014. Том 6. № 3-4. С. 81–87.

77. Конышева Е.Н., Коротченко И.С. Влияние тяжелых металлов и их детоксикантов на ферментативную активность почв. Вест Крас ГАУ. Экология. 2011; 1: 114-9.

78. Кореньков Д.А. Вопросы агрохимии азота и экология. Агрохимия. 1990. №11. С.28-37.

79. Кошельков П.Н., Оксентьян У.Г., Осипова З.М., Хорьков Д.А. Влияние длительного внесения навоза и минеральных удобрений на плодородие дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы. Влияние длительного применения удобрений на плодородие почвы и продуктивность севооборотов. М.: МСХ СССР, 1960. С.7-32.
80. Кузмичева Ю. В., Шапошников А. И., Азарова Т. С. Состав корневых экзометаболитов высокосимбиотического сорта гороха триумф и его родительских форм. Физиология растений. 2014. Т. 61. № 1. С. 121–128.
81. Кулик А.Ф., Василюк О.М., Рошка О.В. Активність інвертази та уреази у ґрунтах лісових біогеоценозів Присамар'я. Вісн Дніпропетр ун-ту. Сер Біол Екол. 2007; 15(11): 77-81.
82. Кульбида Н.И. Е Адаменко Усі сорти пшениці нарощують вміст білка в зерні у міру зменшення географічної широти. Журнал для керівників, спеціалістів і науковців галузі хлібопродуктів. Зерно і хліб №3, 2007 С 22-23
83. Кульбида Н.И. Оценка влияния возможного изменения климата на качество ранних хлебов. Хранения и переработка зерна. №6 (36) 2002. С. 33-35.
84. Купревич В.Ф., Щербакова Т.А. Почвенная энзимология. Минск: Наука и техника. 1966. 275 с.
85. Кураков А. В. Гузеев В. С. Степанов А. Л. И др. Микробиология и охрана почв. М.: Изд-во МГУ, 1989. С. 47-85
86. Курдиш І.К. Роль мікроорганізмів у відтворенні родючості ґрунтів. С.-г мікробіол. 2009; 9: 7-32.
87. Куценко О.М., Писаренко В.М. Агроекологія. К.: Урожай, 1995. 256 с.
88. Кучерявий В. П. Екологія. Львів: Світ, 2001. 500с.
89. Леонова Н.О., Титова Л.В., Танцюренко О.В., Антипчук А.Ф. Вплив різних агроприйомів на енергію проростання насіння сої, формування проростків та їх стійкість до фітопатогенів. Агроекологічний журн. 2005. №1. С. 37-40.
90. Листопадов И.Н., Шапошникова И.М. Плодородие почвы при интенсивном земледелии. М.: Россельхозиздат, 1984. 87с.



91. Люта В.А., Кононов О.В. Практикум з мікробіології: навчальний посібник (ВНЗ I—III р.а.). К.: «Медицина», 2018. 184 с. ISBN: 978-617-505-6356
92. Малиновська І. М. Агроєкологічні основи мікробіологічної трансформації біогенних елементів ґрунту: Автореф. дис. док. біол. наук. 2003. 34 с
93. Малиновська І. М. Спрямованість мікробіологічних процесів у темно-сірому опідзоленому ґрунті за різних технологій вирощування сої. Проблеми екологічної біотехнології [електронне наукове видання]. 2012. №1. Режим доступу: <http://ecobio.nau.edu.ua/index.php/ecobiotech/article/view/767/744>.
94. Малиновська І. М., Ткаченко М. А., Сачок В. Г., Скуміна М. О. Вплив агротехнічних заходів на мікробні угруповання сірого лісового ґрунту. Проблеми екологічної біотехнології [електронне наукове видання]. 2014. № 1. Режим доступу: <http://ecobio.nau.edu.ua/index.php/ecobiotech/article/view/6741/7552>.
95. Маменко П.М., Маліченко С.М., Омельчук С.В. Ефективність симбіозу та продуктивність сої, інокульованої новими аналітично селекціонованими культурами *Bradyrhizobium japonicum*. Вісник Харківського національного аграрного університету. Сер. : Біологія. 2014. Вип. 1 (31). С. 72–78.
96. Манько Ю.П., Прокопенко Г.В. Вплив екологізації землеробства на показники біологічної родючості ґрунту в умовах лісостепу України. Науковий вісник НАУ. Київ. 2004. №72. С. 89-94.
97. Мартянова А.И., Кравцов Б.Е., Васюсина Т.В., Гришина Г.Е. Оценка технологических свойств товарных партий пшеницы. М.: Агропромиздат, 1986. 152 с.
98. Марчик Т. П., Головатый С. Е. Численность, биомасса и эколого-трофическая структура микробных ценозов дерново-карбонатных почв. Vesnik Hrodzenskaha Dziarzhaunaha Universiteta Imia Lanki Kupaly. Seryia 5 —Ekanomika, Satsialohiia, Biialohiia. 2012. N 1. P. 107 – 118.

99. Мекіч М.З., Джура Н.М, Терек О.І. Функціональне і прикладне значення біологічної активності ґрунту. Біологічні студії. 2013. Т. 7. № 3. С. 247–258.
100. Методичні вказівки з використання вихідної інформації до складання технологічних карт вирощування сільськогосподарських культур. Одеса, 2009. Ч. 1, 2. 65 с.
101. Методы почвенной микробиологии и биохимии. Под ред. Д.Г. Звягинцева. Изд. Моск. университета, 1980. 223 с.
102. Минакова О.А., Путилина Л.Н., Тамбовцева Л.В., Александрова Л.В., Лазутина Н.А. Влияние применения удобрений в основное внесение и подкормку на продуктивность, и технологические качества сахарной свеклы. *Сахарная свекла*. №7. 2016. С. 12–16
103. Мірошніченко М.М. Систематика хімічного забруднення ґрунтів. Агрохімія і ґрунтознавство. Спец. вип. до VI з'їзду УТГА. Кн. 3. Харків, 2002. С. 102-104.
104. Москалевська Ю. П., Патыка Н. В. Микробная трансформация углеродсодержащих веществ ризосферы сахарной свеклы в различных агроценозах. Збірник наукових праць «Наукові праці інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків». 2014. Вип. 21. С. 138–143.
105. Москалевська Ю. П., Патыка М. В. Активність мікробного біому чорнозему типового в посівах буряків цукрових за різних технологій вирощування. Збірник наукових праць ННЦ «Інститут землеробства НААН». 2014. № 4. С. 39–45.
106. Москалевська Ю. П., Патыка М. В. Особливості мікробної трансформації сполук вуглецю в чорноземі типовому при вирощуванні буряка цукрового за різних агрозаходів. Тези доповідей науково-практичної конференції молодих учених і спеціалістів «Новітні технології для конкурентоспроможного аграрного виробництва». К., 2014. С. 53–54.
107. Москалевська Ю. П., Патыка М. В., Танчик С. П. Особливості формування мікробного комплексу чорнозему типового в агроценозі буряка

цукрового. Наукові доповіді НУБіП України. 2015. № 50 (січень). Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/j-pdf/Nd\\_2015\\_1\\_7.pdf](http://nbuv.gov.ua/j-pdf/Nd_2015_1_7.pdf)

108. Москалевська Ю.П., Патики М.В. Біологічна активність та мікробна трансформація органічної речовини чорнозему типового за різних систем землеробства. Науково-практичний журнал «Збалансоване природокористування». 2014. № 2. С. 68–72.

109. Мосолов И.Г. Физиологические основы применения минеральных удобрений. М.: Колос, 1979. 255с.

110. Мынбаева Б.Н., Медведева А.В. Подавление биохимической активности загрязненных городских почв. Извест АГУ. Биол. науки. 2011; 3–2(71): 23-5.

111. Наукове забезпечення сталого розвитку сільського господарства в Лісостепу України. Монографія в 2-х томах, Кабінет міністрів України, Національний аграрний університет

112. Новак Ю.В. Вплив органічних добрив на активність окисно-відновних ферментів ґрунту різного рівня родючості. Збірник наукових праць Уманського державного аграрного університету. 2004. №58. С.14-19.

113. Новосад К.Б., Гавва Д.В., Ревтьє А.В., Фісун М.М. Біогенність чорноземів типових Українського степового природного заповідника (відділення «Михайлівська цілина»). Вісник ХНАУ. 2010. №5. С.67-75

114. Орлов Д.С., Бирюкова Д.Н., Розанова М.С. Реальные и кажущиеся потери органического вещества почвами Российской Федерации. Почвоведение. 1996. №2. С.197-212.

115. Орлова О. В., Андронов Е. Е., Воробьев Н. И., Колодяжный А. Ю., Москалевская Ю. П., Патыка Н. В., Свиридова О. В. Состав и функционирование микробного сообщества при разложении соломы злаковых культур в дерново-подзолистой почве. Сельскохозяйственная биология. 2015. Т. 50. № 3. С. 305–314.

116. Панников В.Д., Минеев В.Г. Почва, климат, удобрение и урожай. М.: Колос, 1977. 416 с.

117. Пати́ка В.П. Проблеми і перспектива використання мікробіологічних препаратів. Вісник аграрної науки. 2006. №11. С. 96–101.
118. Пати́ка В.П., Симочко Л.Ю. Мікробіологічний моніторинг ґрунту природних та трансформованих екосистем Закарпаття України. Мікробіол журн. 2013; 75(2): 21-31.
119. Пати́ка М.В., Колодяжний О.Ю., Борко Ю.П., Пати́ка Т.І. Застосування молекулярно-біологічних методів у дослідженні метабеному та структури прокаріотного комплексу ґрунтів. Науково-методичні рекомендації. К.: НУБіП України, 2017. 37 с.
120. Пати́ка М.В., Танчик С.П., Колодяжний О.Ю. Формування біорізноманіття та філотипової структури еубактеріального комплексу чорнозему типового при вирощуванні пшениці озимої. Доповіді НАН України. 2012. № 11. С.163-171.
121. Пати́ка М.В., Тонха О.Л., Пати́ка Т.І., Кіроянц М.О., Веретюк С.В. Оцінка метабеному прокаріотного комплексу чорнозему за аграрного використання. Мікробіол. журн., 2018, Т. 80, № 6. С. 109-122.
122. Паты́ка Н.В., Паты́ка В.Ф. Агробиология микроорганизмов: разнообразие, структурная организация и функциональные особенности. Имунология та алергология: наука і практика. 2014. № 1. С. 77-78.
123. Першина Е., Тамазян Г., Дольник А. Изучение структуры микробного сообщества засоленных почв с использованием высокопроизводительного секвенирования. Экологическая генетика. 2012. Т 10. №2. С. 31 – 38.
124. Писаренко П. В., Тараненко С. В., Тараненко А. О. Вибір, обґрунтування та характеристика індикаторів біологічного різноманіття ґрунту. Вісник Полтавської державної аграрної академії. 2013. №1. С. 20-23.
125. Подолец А.А., Феоктистова И.Д. Влияние высоких концентраций ионов тяжелых металлов на показатели ферментативной активности почв. Современные проблемы науки и образования. 2015. Доступно: <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=21006>.

126. Помазкина Л.В., Лубнина Е.В., Котова Л.Г. Агроэкологический мониторинг и оценка функционирования агроэкосистем на техногенно загрязняемых почвах. Иркутск, 1996. 62 с.
127. Прижуков Ф.Б. Агрономические аспекты альтернативного земледелия. М.: ВНИИТЭИАгропром, 1989. 50 с.
128. Присяжнюк О.І., Каражбей Г.М., Лещук Н.В., Циба С.В., Мажуга К.М., Бровкін В.В., Симоненко В.А., Маслечкін В.В. Статистичний аналіз агрономічних дослідних даних в пакеті Statistica 10.0 : методичні вказівки. К.: «Нілан-ЛТД», 2016. 54 с.
129. Пряженникова О.Е. Целлюлозолитическая активность почв в условиях городской среды. Вест Кемеров гос ун-та. 2011;3(47):10-3.
130. Пушкарьова М.М., Четкина Л.В., Ильницкий А.П. и др. Химия в сел. хоз-ве. – 1983. - №11. – С. 19-22
131. Роїк М. В., Гізбуллін Н. Г., Сінченко В. М., Присяжнюк О. І. та ін. Методики проведення досліджень у буряківництві / за ред. М. В. Роїка, Н. Г. Гізбулліна. Київ : ФОП Корзун Д. Ю., 2014. 373 с.
132. Савчук Н.Т., Подпратов Г.І., Скалецька Л.Ф., Нинько П.І., Гунько С.М., Войцехівський В.І. Технохімічний контроль продукції рослинництва: Навчальний посібник. К.: Арістей, 2005. 256 с.
133. Свирскене А. Микробиологические и биохимические показатели при оценке антропогенного воздействия на почвы. Почвоведение. 2003. № 2. С. 202-210.
134. Седельникова Л. Л., Ларичкина Н. И., Седельникова А. А. Использование метода биотестирования экологического состояния в городской среде. *Ученые записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского. Серия «Биология, химия»*. 2014. Том 27 (66), №5. С. 154–159.
135. Семенов В.М., Кузнецова Т.В., Иванникова Н.А., Семенова И.А., Лисова Е. П. Участие растительной биомассы в формировании активной фазы почвенного азота. Агрохимия. 2001. №7. С. 5-12

136. Семенов В.Н. Образование “экстра”- азота в удобренных почвах и его роль в питании растений. *Агрохимия*. 1999. №8. С. 5–12.
137. Семиколенных А.А. Каталазная активность почв Северной Тайги. *Почвоведение*. 2001. №1. С. 90-91.
138. Симочко Л.Ю., Калініченко АВ. Мікробіом ґрунту пралісових екосистем Закарпаття. *Мікробіол журн*. 2018; 80(3): 3-14. DOI: <https://doi.org/10.15407/microbiolj80.03.003>.
139. Слободенюк О.А. Ферментативна активність забрудненого пестицидами ґрунту. *Наукові доповіді НАУ*. 2008 3 (11). С. 28-34.
140. Смирнов П.М. Вопросы агрохимии азота. М.: ТСХА, 1977. 72с.
141. Соколова Т.А. Калийное состояние почв, методы его оценки и пути оптимизации. *Агрохимия*. 1987. №5. С. 48-53.
142. Соловиченко В. Д., Тютюнов С. И., Уваров Г. И. Воспроизводство плодородия почв и рост продуктивности сельскохозяйственных культур Центрально-Черноземного региона. Белгород: «Отчий край», 2012. 256 с.
143. Стаднічук О. Біоіндикаційне оцінювання токсичності ґрунтів у зоні впливу військової діяльності. *Науковий вісник Східноєвропейського національного університету імені Лесі Українки. Серія: Хімічні науки*. 2013. Т. 24 (273). С. 37–42.
144. Султанов Р.А. Органические формы фосфатов в почве. М.: ВНИИТЕКСХ, 1976. 35с.
145. Сымочко Л.Ю., Домбай И.В. Почвенные микроорганизмы как тест объекты при мониторинговых исследованиях наземных экосистем. Тезисы докладов международной научной конференции ”Естественные и инвазийные процессы формирования биоразнообразия водных и наземных экосистем” Ростов-на Дону, 2007. С. 290.
146. Танчик С.П., Демідов О.А., Манько Ю.П. Екологічна система землеробства в Лісостепу України. Методичні рекомендації для впровадження у виробництво. К: НУБіП України, 2011. 39 с.

147. Титова В. И., Козлов А. В. Методы оценки функционирования микробоценоза почвы, участвующего в трансформации органического вещества: Научно-методическое пособие. Нижний Новгород: Нижегородская с.-х. академия, 2012. 64 с.

148. Тонха О. Л. Молекулярно-генетична оцінка прокаріотного комплексу чорнозему типового. Вісник аграрної науки. 2012. № 1. С. 38–41.

149. Тонха О. Л. Особливості мікробної трансформації гумусових речовин цілинних і освоєних чорноземів українського степового природного заповідника (відділення «Хомутовська цілина»). Сучасне ґрунтознавство: наукові проблеми та методологія викладання: Міжнародна науково-практична конференція, присвячена 90-річчю кафедри ґрунтознавства та охорони ґрунтів ім. проф. М. К. Шикולי, 29–30 травня. Київ, 2012. С. 133–136.

150. Тонха О. Л., Євтушенко Т. В. Мікробна трансформація органічної речовини чорнозему типового за різних обробітків ґрунту. Вісник Харківського національного аграрного університету імені В. В. Докучаєва. Серія «Ґрунтознавство, агрохімія, землеробство, лісове господарство, екологія». 2012. № 4. С. 61–66.

151. Тонха О. Л., Патика М. В. Оцінка поліморфізму прокаріотного комплексу чорноземів типових молекулярно-генетичними методами. Біоресурси і природокористування. 2012. Т. 4. № 1–2. С. 58–66.

152. Тузова Р. В. Микробный ценоз в редукции органического субстрата и органо-минеральных комплексов почвы. Биология почв антропогенных ландшафтов. Тез. докл. Днепропетр.: 1995. С. 31–32.

153. Узбек И. Х. Целлюлозоразрушающие микроорганизмы как компонент биологического фактора почвообразования. Екологія та ноосферологія. 2006; 17(1-2): 11–6.

154. Уморов М. М. Роль почв в микробиологической трансформации азотсодержащих газов в биосфере. Функции почв в биосферно-геосферной системах: Мат. междунаrod. симпозиума. Москва 27–30 авг., 2001. М., 2001. С. 174–196.

155. Фахрутдинов А.И., Ямпольская Т.Д. Ферментативная активность почв ХМАО при длительной углеводородной провокации. Извест Самар науч центра РАН. 2012; 14(1(8)): 2077-81.
156. Федорова Н.А. Зимостійкість і врожайність озимої пшениці. К.: Урожай, 1972. С. 260.
157. Філон В.І., Казаков В.А., Ольховський Г.Ф., Залізівський В.С. Методика агрохімічних досліджень. Х., 2017. 224 с.
158. Фокин А.Д. Идеи В.В. Докучаева и проблема органического вещества почвы. Почвоведение. 1996. №2. С.187-196.
159. Хазиев Ф.Х. Методы почвенной энзимологии. Ин-т биологии Уфим. НЦ. М.: Наука, 2005. 252 с.
160. Хлыстовский А.Д., Касицкий Ю.И. Последствие фосфора, оптимальные фосфатные уровни в дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве и применение фосфорных удобрений. Агрохимия. 1987. №5. С.10-14.
161. Хофман Дж., Ван Клімпут О., Бьоме М., Городній М., Каленський В., Кохан С. Кавецький С., Крайнюк М., Бикін А., Сердюк А. Кравченко С. Якість ґрунтів та сучасні стратегії удобрення, К.: Арістей, 2004р.
162. Христенко С.І., Шатохіна С.Ф., Найдьонова О.Є. Перспективи використання біологічних показників для моніторингу агроекологічного стану ґрунту. Інтернет-ресурс: <http://www.ecoleague.net/34903999-228.html>.
163. Цвей Я.П. Родючість ґрунтів і продуктивність сівозмін (монографія). Київ: «КОМПРИНТ». 2014. 416 с.
164. Чурикова В.В., Грабович М.Ю. Морфология и культивирование микроорганизмов: малый практикум по микробиологии. Воронеж: Воронежский государственный университет, 2003. 55 с.
165. Шарков И.Н. Азотные удобрения и минерализация азот содержащих соединений почвы. Почвоведение. 1992. №2. С.91-103.
166. Шиліна Л.І., Гринчук П.Д., Ермолаєв М.М., Літвінов Д.В. Основні програмні і методичні питання з вивчення сівозмін у стаціонарних дослідях. К. : “ЕКМО”, 2008. 32 с.



167. Шкурмат В.П., Андрійченко Л.В., Порудєєв В.О. Принципи побудови сівозмін короткої ротації. Матеріали науково-практичної конференції «Удосконалення технологій вирощування сільськогосподарських культур в умовах півдня України». Миколаїв, 2011. С. 22.

168. Шувар І.А. Біологічне землеробство на шляху удосконалення енергетичної системи „грунт-добрива-рослина”. Сільський господар. 2005. №7-8. С. 23-25.

169. Шувар І.А., Мазур І.Б., Назар М.Ю., Шувар Б.І. Біологізація землеробства – невід’ємна складова продовольчої і екологічної безпеки України. Львівський державний аграрний університет, Львівський центр «Облдержродючість».

Інтернет-ресурс:  
[www.rusnauka.com/NPM\\_2006/Agricole/3\\_shuvar%20i.a.doc.htm](http://www.rusnauka.com/NPM_2006/Agricole/3_shuvar%20i.a.doc.htm) 43k

170. Щелчкова М.В., Стручкова Л.К., Федоров И.А. Комплексное влияние тяжелых металлов на ферментативную активность и эффективное плодородие мерзлотной лугово-черноземной почвы. Вест СВФУ. 2010; 7(4): 16-21.

171. Aislabie, J. A., & Deslippe, J. Soil microbes and their contribution to soil services. In: Dymond, J. R. (Ed.). Ecosystem services in New Zealand – condition and trends. Manaaki Whenua Press, New Zealand. 2013. P. 143–161.

172. Asad, M., Asad, U., Lavoie, M., Song, H., Jin, Y., Fu, Z., Qian, H. Interaction of chiral herbicides with soil microorganisms, algae and vascular plants. Science of The Total Environment, 2017. 580, 1287-1299

173. Bardgett R. D. The biology of soil. A community and ecosystem approach. Oxford University Press, 2005. 242p.

174. Biological Test Method: Test of Reproduction and Survival Using the Cladoceran *Ceriodaphnia dubia*. Report EPS 1/RM/21 Febr.1992. Environment Canada.

175. Borko Yu.P., Patyka M.V., Kolodiazhnyi O.Yu. [Microbial coenosis of chernozem typical of biological and intensive farming systems]. Agriculture. 2016. Issue 1. 58-63. Ukrainian.

176. Chebanova V.V. Dynamics of fermentative activity of chernozem typical for the use of different types of fertilizers. *Environmental sciences*. № 1(24). 2019. T. 1 82-86.
177. De Quadros PD, Zhalnina K, Davis-Richardson AG, Drew JC, Menezes FB, Camargo FAdeO, Triplett EW. Coal mining practices reduce the microbial biomass, richness and diversity of soil. *Appl Soil Ecol*. 2016;98:195-203. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2015.10.016>.
178. Demyanyuk, O. S., Patyka, V. P., Sherstoboeva, O. V., & Bunas, A. A. Formation of the structure of microbiocenoses of soils of agroecosystems depending on trophic and hydrothermal factors. *Biosystems Diversity*, 26(2), 2018.103–110. doi:10.15421/011816
179. Eichorst S. A., Kuske C. R. Identification of cellulose-responsive bacterial and fungal communities in geographically and edaphically different soils by using stable isotope probing. *Applied and environmental microbiology*. 2012. Vol. 78. № 7. P. 2316–2327.
180. emPCR Amplification Method Manual – Lib-L for GS Junior Titanium Series / Method Manual. 454 Life Sciences Corp., A Roche Company Branford, 2012. 12 p.
181. Fall Gudrun M., Kreft Luder, Altenburger Rolf, Faust Michael, Boedeker Wolfgang, Grimme L. Horst. pH – Dependent sorption, bioconcentration and algal toxicity of sulfonylurea herbicides. *Aquat. Toxicol*. 1995. 31, № 2. C.175–187.
182. Fedotov G.N., Lysak L.V. The possible role of microorganisms in humus formation in soils. *Doklady Biological Sciences*. 2014. Vol. 455. №1. P. 87– 90.
183. Felske A, Wolterink A, Van Lis R. Response of a soil bacterial community to grassland succession as monitored by 16S rRNA levels of the predominant ribotypes. *Applied and Environmental Microbiology*. 2000; 66:3998–4003.
184. Fogarty W. M., Kelly C. T. *Microbial enzymes and biotechnology*. Springer Science and Business Media, 2012. 472 p.
185. Geisseler D., Scow K. M. Long-term effects of mineral fertilizers on soil microorganisms. *Soil Biology and Biochemistry*. 2014. Vol. 75. P. 54-63.

186. Gianfreda L., Rao M., Piotrowska A., Palumbo G., Colombo C. Soil enzyme activities as affected by anthropogenic alterations: intensive agricultural practices and organic pollution. *Science of the Total Environment*. 2005. 265–279.
187. Gray T.R., Williams S.T. *Soil microorganisms*. London, 1987. 550 p.
188. Handelsman J. Metagenomics: application of genomics to uncultured microorganisms. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*. 2004. Vol. 68, № 4. P. 669-685
189. Harwood C. S., Greenberg E. P. Mega roles of microorganisms. *Science*. 1999. 286, № 5442. P. 1096.
190. Hrynyk I.V, Patyka VP, Shykula Yu.M. Microbiological basis of improving yield and quality of crops. 2011; 4: 7-10.
191. Imfeld, G., Vuilleumier, S. Measuring the effects of pesticides on bacterial communities in soil: A critical review. *European Journal of Soil Biology*, 2012. 49, 22–30
192. Iutynska H.O, Yamborko N.Ya. The stability of soil microbial communities to toxic and mutagenic pesticides in various agricultural technologies of growing crops. *Scientific herald NAU*. 2005; 81: 21–25.
193. Kennedy A.C., Gewin V.L. Soil microbial diversity: Present and future considerations. *Soil Sci*. 1997. 162, № 9. P. 607-617.
194. Kuczynski J., Stombaugh J., Anton Walters W. Using QIIME to analyze 16S rRNA gene sequences from Microbial Communities. *Curr Protoc Bioinformatics* 2012. Mode of access: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3249058>
195. Lazcano C., Gómez-Brandón M., Revilla P., Domínguez J. Short-term effects of organic and inorganic fertilizers on soil microbial community structure and function. *Biology and fertility of soils*. 2013. Vol. 49 (6). P. 723–733.
196. Li X., Rui J., Mao Y. Dynamics of the bacterial community structure in the rhizosphere of a maize cultivar / *Soil Biology and Biochemistry*. 2014. Vol. 68. P. 392–401.

197. Liu W, Marsh T, Cheng H, Forney L. Characterization of microbial diversity by determining terminal restriction fragment length polymorphisms of genes encoding 16S rRNA. *Environ. Microbiol.* 1997; 63:4516–4522.
198. M. Yussefi and H.Willer *The World of Organic Agriculture 2003: Statistics and Future Prospects*. Интернет-ресурс: <http://www.ifoam.org/>
199. Mekich M.Z., Dzhura N.M, Terek O.I. Enzymatic activity of oil-contaminated soils in the process of phytorecultivation by maize plants (*Zea mays* L.). *Visnyk of the Lviv University. Series Biology.* 2015. Issue 69. P. 140–147
200. Nannipieri P., Ascher J., Ceccherini M. T., Landi L., Pietramellara G., Renella G. Microbial diversity and soil functions. *European Journal of Soil Science.* 2017; 68: 1, 12-26.
201. Nannipieri P., Ascher J., Ceccherini M. Microbial diversity and soil functions. *European Journal of Soil Science.* 2003. Vol. 54, № 4. P. 655–670
202. Nystrom Bo, Bjornsater Bo, Blanck Hans Effects of sulfonylurea herbicides on non-target aquatic micro-organisms. Growth inhibition of micro-algae and short-term inhibition of adenine and thymidine incorporation in periphyton communities. *Aquat. Toxicol.* 1999. 47, № 1. C. 9–22.
203. Oleszczuka P., Jośkoa I., Futab B. Effect of pesticides on microorganisms, enzymatic activity and plant in biochar-amended soil. *Geoderma.* 2014. Vol. 214–215. P. 10–18.
204. Palka-Santini M., Schwarz-Herzke B., Hosel M. et al. *Mol. Genet. Genomics.* 2003. №270. P.201-215.
205. Pandey, S. N., Abid, M., & Khan, M. M. A. A. Diversity, functions, and stress responses of soil microorganisms. In: Egamberdieva, D., & Ahmad, P.(Eds.). *Plant microbiome: Stress response. Microorganisms for Sustainability*, 5, 2018. 1–19. [http://doi.org/10.1007/978-981-10-5514-0\\_1](http://doi.org/10.1007/978-981-10-5514-0_1)
206. Patyka M. V., Borko Yu. P., Ibatullin I. I., Kolodyazhnyi A. Yu., Tanchyk S. P. The features of functional-enzymatic directivity of microbial biome in agroecosystems of sugar beet. *Mikrobiol. Z.* 2017; 79(6):28-40.

207. Piterson A., Greman D. Biological activity of soil. International Symposium "Structure and Function of Soil Microbiota". 2005. P. 235-236.
208. Romero-Olivares, A. L., Allison, S. D., & Treseder, K. K. Soil microbes and their response to experimental warming over time: A meta-analysis of field studies. *Soil Biology and Biochemistry*, 107, 2017.32–40. <http://doi.org/10.1016/j.soilbio.2016.12.026>
209. Ronaghi M. Pyrosequencing: a tool for DNA sequencing analysis. *Methods of Molecular Biology*. 2004. Vol. 255. P. 211–219.
210. Rose, M.T., Cavagnaro, T.R., Scanlan, C.A., Rose, T.J., Vancov, T., Kimber, S., Van Zwieten, L. Impact of herbicides on soil biology and function. et al. *Advances in Agronomy*. 2016. Vol. 136. P. 133–220.
211. Schulz S., Brankatschk R., Dümig A. The role of microorganisms at different stages of ecosystem development for soil formation. *Biogeosciences*. 2013. Vol. 10. № 6. P. 3983–3996.
212. Shukla G., Varma A. *Soil Enzymology*. Springer, 2011. 384 p.
213. Srivastava S.L., Singh J.S. Microbial C,N,P in dray soils. *Soil boil. Biochem*, 1991. V.23. №2. P.117-124.
214. Sugiyama A., Yazaki K. Root exudates of legume plants and their involvement in interactions with soil microbes. *Secretions and Exudates in Biological Systems*. Springer Berlin Heidelberg, 2012. P. 27–48.
215. Symochko L., Roshko V. Influence of electromagnetic field on the functioning of microbial soil cenosis. Book of abstracts the young scientists and students international scientific conference "Modern problems of microbiology and biotechnology" 28-31 May, Odesa 2007. P. 27.
216. Symochko L.Yu., Fizer A.I. Authentic soil microbial communities in primeval forest ecosystems of Uzhanskyi National Nature Park. *Gruntoznavstvo*. 2017; 18(3-4): 51-6. DOI: 10.15421/041715.
217. Tonkha O. L., Balayev A. D. Structure of prokaryotic complex of chernozem typical and its changes under conservation tillage. *Annals of Agrarian Science*. 2015. Vol 13. № 1. P. 60–63.

218. Tonkha O. L., Bykova O. Ye., Ievtushenko T. V. Features of microbocenoses formation in virgin and cultivated chernozems of Ukrainian steppe nature reservation (department «Khomutovska tsilyna»). *Annals of Agrarian Science*. 2013. Vol 11. № 1. P. 23–30.

219. Tsentylo L. V. Enzymatic activity of typical black soil depending on basic tillage and fertilizer. *Podilian Bulletin: agriculture, engineering, economics*. Issue 30. 2019. 66-71.

220. Tsyhichko H.O, Makliuk O.I. The dynamics of chemical activity of typical chernozem organic and conventional farming systems. *Agrochemicals & Soil*. 2015; 82: 91-97.

221. Tsyuk O. A., Kyrylyuk V. I., Yushchenko L.P. Biochemical activity of typical chernozem in different farming systems. *Mikrobiol. Z.* 2017; 79(3):65-71.

222. Tytova V.Y., Kozlov A.V. Methods for assessing the functioning of the soil microbiocenosis involved in the transformation of organic matter: Scientific and methodological manual. Nizhny Novgorod, 2012.

223. Wang Y.P., Shi J.Y., Wang H., Lin Q., Chen X.C., Chen Y.X. The influence of soil heavy metals pollution on soil microbial biomass, enzyme activity, and community composition near a copper smelter. *Ecotoxicol Environ Saf.* 2007;67(1):75-81. DOI:10.1016/j.ecoenv.2006.03.007.

224. Zachow C., Müller H., Tilcher R., Berg G. Differences between the rhizosphere microbiome of *Beta vulgaris* ssp. *maritima* – ancestor of all beet crops – and modern sugar beets. *Frontiers in Microbiology*. 2014. Vol. 5. № 415. P. 1–13.

## ДОДАТКИ

## АКТ

впровадження науково-технічного досягнення (НТД) як результат закінченої науково-дослідної чи дослідно-конструкторської наукової роботи (НДР чи ДКР)

1. Назва НДР, що впроваджується: елементи технології вирощування культур у короткоротаційних сівозмінах, що включають застосування біологічної системи удобрення з внесенням біодобрих нової формуляції: біогумус «ЕКОЧУДО», та обробки насіння і рослин по вегетації біодобрином Вермісол, а також приорювання пожнивних решток культур.

2. Якою науково-дослідною установою (вищим навчальним закладом) одержано НТД та запропоновано до впровадження, і його автори: **ННЦ «Інститут біології та медицини» Київського національного університету імені Тараса Шевченка, здобувач Гудзь С.О.**

3. Коли і ким прийнято рішення про впровадження НТД: **Вченою радою ННЦ «Інститут біології та медицини» Київського національного університету імені Тараса Шевченка (протокол №4).**

4. Назва господарства і його адреса, де проводиться впровадження: **ТОВ «Агрофірма Київська» Макарієвського району, Київської області.**

5. Рік і обсяг впровадження (план, фактично): **у 2019-20 роках план 20 га, фактично 20 га.**

6. Отримано фактичний економічний ефект від впровадження на одиницю (га, голову, машину і т. п.) і на весь обсяг впровадження: **отримано високий рівень рентабельності сої та кукурудзи і прибуток з площі 20 га на 35,7 тис. грн. більше порівняно з системою мінерального удобрення.**

Акт складено 16 лютого 2021 року

Представник наукової установи

здобувач,  Гудзь С.О.

Керівник господарства

