

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

ФРУНЗЕ НІНА ІВАНІВНА

УДК 631.445.4:631.8 (478) (043.3)

**МІКРОБІОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ РОДЮЧОСТІ ЧОРНОЗЕМІВ
РЕСПУБЛІКИ МОЛДОВА**

03.00.07 «Мікробіологія»

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора сільськогосподарських наук

Київ – 2018

Дисертацією є рукопис

Роботу виконано в Інституті мікробіології і біотехнології Академії наук Молдови

Науковий консультант доктор сільськогосподарських наук, професор
Боінчан Борис Павлович,
Науково-дослідний інститут
польових культур «Селекція»,
завідувач відділу стійких систем землеробства

Офіційні опоненти: доктор сільськогосподарських наук,
старший науковий співробітник,
член-кореспондент НААН
Патика Микола Володимирович,
Національний університет біоресурсів
і природокористування України,
завідувач кафедри екобіотехнології
та біорізноманіття

доктор сільськогосподарських наук, професор,
член-кореспондент НААН
Волкогон Віталій Васильович,
Інститут сільськогосподарської мікробіології
та агропромислового виробництва НААН,
директор

доктор біологічних наук,
старший науковий співробітник
Пасічник Лідія Анатоліївна,
Інститут мікробіології і вірусології
імені Д. К. Заболотного НАН України,
старший науковий співробітник відділу
фітопатогенних бактерій

Захист відбудеться «15» лютого 2018 року о 10⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.004.21 у Національному університеті біоресурсів і природокористування України за адресою: 03041, м. Київ, вул. Героїв Оборони, 15, навчальний корпус № 3, кімната 301

З дисертацією можна ознайомитися у науковій бібліотеці Національного університету біоресурсів і природокористування України за адресою: 03041, м. Київ, вул. Героїв Оборони, 13, навчальний корпус № 4, кімната 41а

Автореферат розіслано « » січня 2018 року

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

О. С. Павлов

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. В останні десятиліття у всьому світі посилюються процеси деградації ґрунтів, що призводить до втрати їх біогеоценотичних і біосферних функцій, а також до значного скорочення біорізноманіття (Добровольський Г. В., 1999). Особливо гостро ця проблема стоїть для країн, де сільське господарство є провідною галуззю. У структурі земельного фонду Республіки Молдова землі сільськогосподарського призначення становлять ~58,1 % (Serbari V. V., 2010). Їх екологічна ситуація офіційно оцінюється як «тривожна» (Крупеников І. А., 2008). Орні чорноземи давно відчувають однотипний вплив і багаторазово залучалися до повних циклів сівозмін (антропогенний ґрунтоутворний процес). З них близько 2/3 мають негативний баланс гумусу (Zagorsea C. L., 1999; Voincean V. P., 2014) через порушення: а) кількісно і якісно проведених агротехнічних заходів; б) недотримання чергування культур у сівозмінах; в) значного скорочення внесення мінеральних і органічних добрив, аж до повної відсутності їх застосування; г) не завжди науково обґрунтованого використання хімічних засобів захисту рослин (Lurașcu M. F., 2004; Крупеников І. А., Боинчан Б. П., 2004). Такий стан продовжує посилюватися у зв'язку з переходом від колективного землекористування до індивідуальних та фермерських господарств (Загорча К. Л., 1990; Либерштейн Й. Й., 2014). З вищезазначеного випливає, що особливо актуальним стає вивчення масштабів трансформації ґрунтових властивостей в результаті антропогенного впливу і здатності ґрунту відновлювати свої функції, а також факторів, що на них впливають.

У першу чергу, це відноситься до мікробних угруповань, як до найбільш чутливого та динамічного компоненту ґрунту в умовах антропогенного впливу (Ананьева Н. Д., 2003; Гузев В. Г., Звягинцев Д. Г., 2003; Заварзин Г. А., 2004; Кожевин П. А., 2004; Марфенина О. Е., 2005; Благодатский С. А., 2012; Полянська Л. М., Пинчук І. П., Звягинцев Д. Г., 2015). Беручи до уваги, що ґрунтові мікроорганізми відіграють виняткову роль у колообігу речовин, продуктивності фітоценозів і стійкості екосистем в цілому, встановлення особливостей трансформації мікробних спільнот ґрунтів в умовах антропогенного пресингу є одним із пріоритетних завдань. У зв'язку з цим, діагностика мікробіологічного стану сільськогосподарських ґрунтів є необхідністю для вирішення ґрунтово-екологічних проблем, формування принципів екологічно-безпечного землекористування.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Експериментальні дисертаційні дослідження виконано в лабораторії ґрунтової мікробіології та лабораторії рослинного білка Інституту мікробіології і біотехнології Академії наук Республіки Молдова в рамках науково-технічних програм за темами: «Вивчення можливостей використання мікроорганізмів, які здійснюють процеси трансформації органічної речовини рослинних залишків, для підвищення ґрунтової родючості» (номер державної реєстрації: В 13–14 01, 1991–1995 pp.); «Elaborarea bazelor microbiologice de întrebuințare a rămășițelor vegetale și sideratelor în condițiile asolamentelor furajere de scurtă rotație, destinate

gospodăriilor de acționari și fermieri din Republica Moldova» («Розробка мікробіологічних основ використання рослинних решток і сидератів в умовах короткоротаційних кормових сівозмін, призначених для фермерських господарств Республіки Молдова») (номер державної реєстрації E 18–19, 1996–2000 pp.); «Studierea complexului microbial al solului cu scopul elaborării de pronostic al dezvoltării epifotiiilor micotice în agrocenoze» («Вивчення мікробного комплексу ґрунту з метою розробки прогнозу мікотичних епіфітотій в агроценозах») (номер державної реєстрації 06.407.011 F, 2006–2010 pp.); «Evaluarea ecologică a capacității de reglare microbiologică a mediului din solul agrocenozelor și culturilor permanente» («Екологічна оцінка мікробіологічної регуляції ґрунту агроценозів і беззмінних культур») (номер державної реєстрації 07.407.04.09 PF, 2007–2008 pp.); «Evaluarea și valorificarea potențialului microbiologic pentru elaborarea tehnologiilor agriculturii durabile» («Оцінка та освоєння мікробіологічного потенціалу з метою розробки технологій для сталого землеробства») (номер державної реєстрації 11.817.04.011A, 2011–2014 pp.). З 2015 року по теперішній час триває робота за науковою темою «Potențialul nanotehnologic în bioremedierea solului, contaminat cu poluanți organici persistenti» («Нанотехнологічний потенціал біоремедіації ґрунту, забрудненого стійкими органічними поллютантами») (номер державної реєстрації 15.817.05.17A).

Мета та завдання дослідження. Мета роботи – мікробіологічний моніторинг чорноземів сільськогосподарського використання Республіки Молдова у зв'язку з їх відповідною реакцією і стійкістю до тривалих антропогенних впливів та їх агроекологічна оцінка.

Основні завдання досліджень:

- визначити мікробіологічний потенціал чорноземів і його різноманіття у відповідності з ґрунтовою родючістю;
- установити величини мікробної біомаси чорноземів, її структуру і функціональний стан залежно від систем землеробства;
- виявити частку мікробного вуглецю у загальному органічному і напрями трансформації живої речовини чорноземів за тривалого застосування добрив;
- дослідити амінокислотне різноманіття чорнозему типового і особливості його утворення за впливу систем землеробства;
- визначити інтенсивність дихання ґрунтових мікроорганізмів і їх фізіологічний статус;
- оцінити «якість» і «здоров'я» ґрунтів – головних умов їх родючості для виявлення можливих екологічних ризиків і здатність угруповань мікроорганізмів до відновлення за порушення вимог до землеробських заходів;
- обґрунтувати наукові підходи до управління ґрунтовими компонентами для підвищення ефективності заходів землеробства з ремедіації ґрунтів.

Об'єкт дослідження – мікробіота природних ґрунтів і агроекосистем двох екологічних зон Республіки Молдова – Центральної і Північної.

Предмет дослідження – ґрунт трьох польових полігонів. У Центральній екологічній зоні – тривалий стаціонар (з 1990 року) експериментальної бази Академії наук Молдови «Біотрон» (чорнозем типовий) і експериментальний (закладений в 1950 році) стаціонар польових культур, науково-дидактичне

господарство Аграрного університету Республіки Молдова, розташоване в с. Кетросу Ново-Аненського району (чорнозем карбонатний). У Північній екологічній зоні (м. Більці) – тривалий (з 1964 року) різновіковий стаціонар НППК «Селекція» – чорнозем типовий.

Методи дослідження. В роботі використано як класичні, так і найсучасніші методи досліджень: мікробіологічні, біохімічні, фізіологічні, агрохімічні, іонообмінна і газорідинна хроматографія, світлова, люмінесцентна та електронна мікроскопія, біотехнологічні методи і прийоми, методи статистичної обробки.

Наукова новизна одержаних результатів. Вперше в умовах Республіки Молдова проведено моніторинг мікробіологічного стану чорноземів, залучених у тривале сільськогосподарське землекористування з встановленням закономірностей формування і функціонування мікробних угруповань. Продемонстровано особливості утворення біогенних властивостей на різних суцесійно-вікових стадіях угруповань мікроорганізмів і рівнях їх організації.

Встановлено стійкий кількісний вміст ґрунтових мікроорганізмів, вуглецю мікробної біомаси і його частки в оброблюваних ґрунтах і ґрунтах природного стану. Здійснено оцінку запасів загальної мікробної біомаси, її структури і метаболічного стану, а також тренд трансформації живої речовини в ґрунтах, що тривалий час знаходяться в сільськогосподарському використанні.

Досліджено пул, різноманітність і природа амінокислотних біомолекул в чорноземі типовому, а також фракційний склад азоту. Встановлено, що поряд зі зменшенням вуглецю відбувається і зменшення валового азоту ґрунту, модифікується співвідношення складових компонентів і, що більша частина його компонентів залишається невивченою.

Досліджено чисельність і дихальну активність (БД, СІД, $q\text{CO}_2$) ґрунтових мікроорганізмів, проведено оцінку їх фізіологічного статусу. Обґрунтовано новий методологічний підхід до оцінки дихання ґрунту, що визначає стан глибокого стресу угруповань мікроорганізмів, викликаного наявністю диспропорцій між базальним і субстрат-індукованим диханням, як реакції у відповідь на антропогенний пресинг.

Проведено оцінку «якості» і «здоров'я» чорноземів та існуючих диспропорцій між живими і абіотичними ґрунтовими компонентами із встановленням їх оптимальних параметрів.

Вперше в умовах Молдови використано новий методологічний підхід, відповідно до якого мікробні угруповання ґрунту розглядаються як динамічний компонент біогеоценозу, який забезпечує визначальний вплив на вектор ґрунтоутворного процесу в агроекосистемах, замість загальноприйнятого (традиційного) підходу, який ґрунтується на екстраполяції на ґрунтові екосистеми закономірностей життєдіяльності мікроорганізмів, вирощуваних на поживних середовищах.

Практичне значення одержаних результатів. Мікробіологічний моніторинг чорноземів Молдови характеризує зміни стану живої речовини і її структури (грибного і бактеріального компонентів) в ґрунтах з різними фізико-хімічними властивостями. Агроєкологічна оцінка свідчить про порушення

біологічних механізмів функціонування мікробних угруповань і дозволяє встановити оптимальні рівні антропогенних навантажень в умовах сучасного землекористування. Біологічна діагностика стану біоценозу фактично відображає екологічний стан ґрунтів і може бути фундаментальною основою природоохоронних заходів коригування та розроблення наукових підходів щодо агротехнічних прийомів регулювання мікробіологічної активності, а також кадастрової оцінки та паспортизації земель.

Пряме вимірювання вмісту вуглецю мікробної біомаси в чорноземі Республіки і оцінка його частки у вмісті загального органічного дає додаткову характеристику органічного вуглецю ґрунту і може бути основою бази даних мікробного пулу різних ґрунтів і екосистем, яку, в свою чергу, можна використовувати для прогнозування.

Визначення амінокислотного пулу, його різноманітності і природи виявили особливості анаболізму амінокислот у трансформованих чорноземах і охарактеризувати фракційний склад азоту ґрунту.

Дослідження закономірностей продукування CO₂ різними ґрунтами і екосистемами через функціонування ґрунтового мікробного компоненту (розмір, структура, активність) дозволить зрозуміти причини збільшення вмісту вуглекислого газу в сучасній атмосфері, оцінити ризики і запропонувати заходи щодо їх зниження. Експериментальне обґрунтування взаємозв'язку між продукуванням двоокису вуглецю і його мікробним компонентом буде внеском у пізнання механізмів утворення цього парникового газу.

Результати досліджень є підставою для цілеспрямованого картування, оцінки та відчуження різних категорій земель, що може бути використано агрохімічними і екологічними службами Республіки з метою оцінки збитку при нерациональному використанні ґрунтових ресурсів і розробленні економічних обґрунтувань «ціни», «якості» і «здоров'я» ґрунту.

Особистий внесок здобувача полягає у постановці і формулюванні наукових завдань, розроблені методичних шляхів їх вирішення, плануванні і проведенні лабораторних і польових досліджень, статистичній обробці, систематизації та інтерпретації отриманих даних, апробації і публікації результатів. Всі лабораторні та польові дослідження проведено за безпосередньої участі автора дисертації. Фактичний матеріал зібрано упродовж 25 років проведення стаціонарних дослідів і експедиційних обстежень.

Апробація результатів дисертації. Основні положення і результати досліджень доповідались на наступних міжнародних науково-практичних конференціях: «Микроорганизмы в сельском хозяйстве» (м. Пушино, Російська Федерація, 1992 р.); «Congresul 22 al Academiei Româno-Americane de Științe și Arte» (м. Тирговіште, Румунія, 1997 р.); «Diminuarea impactului hazardelor naturale și tehnogene asupra mediului și societății» (м. Кишинів, Республіка Молдова, 2005 р.); «Environmental theoretical and practical Conference dedicated to 10 years of the Ecology departement» (м. Дніпропетровськ, 2008 р.); «Culturile tehnice în agricultura modernă» (м. Бельці, Республіка Молдова, 2008 р.); «Congresului igienistilor, epidimiologilor și microbiologilor din RM» (м. Кишинів, Республіка Молдова, 2008 р.); «Cernoziomurile Moldovei – evoluția, protecția și

restabilirea fertilității lor» (м. Кишинів, Республіка Молдова, 2013 р.); «Microbial Biotechnology» (м. Кишинів, Республіка Молдова, 2014 р.).

Публікації. За темою дисертації опубліковано 38 наукових праць, з яких монографія, колективна монографія, розділ монографії, 11 статей у міжнародних наукових виданнях з імпаکت-фактором, 16 статей у наукових профільних виданнях Республіки Молдова, включених до міжнародних наукометричних баз даних, науково-методичні рекомендації, 7 тез наукових доповідей.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається з анотацій, вступу, шести розділів, висновків, рекомендацій виробництву, списку використаних джерел та додатків. Список використаної літератури включає 388 найменувань, у тому числі 180 латиницею. Загальний обсяг дисертації становить 290 сторінок комп'ютерного тексту. Робота містить 33 таблиці та 37 рисунків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

ГРУНТОВІ МІКРООРГАНІЗМИ І АНТРОПОГЕНЕЗ: СУЧАСНІ АСПЕКТИ ТА МЕТОДОЛОГІЧНІ РІШЕННЯ ПРОБЛЕМИ

(огляд літератури)

В огляді літературних джерел обґрунтовано ключову роль мікроорганізмів у функціонуванні та саморегулюванні ґрунтової родючості за тривалого сільськогосподарського використання (Артамонова З. С., 2002; Ананьєва Н. Д., 2003; Dumanski J., Pieri C., 2000; Sorcimaru S. S., 2014). Представлено результати досліджень вітчизняних і зарубіжних вчених щодо вирішення проблеми відновлення мікробіологічної активності та гумусного стану чорноземів (Свистова І. Д., 2005; Назарько М. Д., 2008; Кураков А. В., 2012; Hund K., Schenk B., 1994; Blagodatski S. A. et al., 2000). Проведено аналіз підходів і показників оцінки стану мікробних угруповань ґрунтів агроценозів, що підтверджує особливе значення функціональної реакції мікробного угруповання ґрунту, як індикатора тривалого впливу антропогенних чинників (Паников Н. С., 1992; Патыка Н. В., 2004; Благодаский С. А., 2012; Doran J. W., 1996; Dalal R. S., 1998; Blagodatskaya E. V., Anderson T. H., 1998).

На основі аналізу і узагальнення наукової літератури показано, що ця проблема комплексна. Тому дуже складну та добре організовану ґрунтову систему не вдається охарактеризувати лише за характеристикою властивостей її окремих компонентів. Неможливо дати однозначну відповідь чи прогноз зміни системи «ґрунт – мікроорганізми – рослина» за впливу на неї будь-якого зовнішнього фактора, якщо не враховувати сукупність всіх взаємопов'язаних процесів трансформації живої речовини, дії абіотичних і інших компонентів ґрунту (Вернадский В. И., 2004; Robert L., 2000; Cerbari V. A., 2010; Vanlauwe B. et al., 2010; Senicovscaia I., 2012; Voincean B. P., 2014). Незважаючи на велику кількість досліджень щодо розроблення підходів з управління мікробним компонентом ґрунтів за використання агротехнічних заходів (науково обґрунтовані сівозміни, внесення мінеральних і органічних добрив і т. д.)

нинішню ситуацію можна охарактеризувати як недостатньо вивчену (Кожевин П. А., 2004; Коваленко Л. А., 2004; Ванькова А. А., 2013).

На думку провідних вчених становище можна змінити з'ясувавши наступні невідповідності: 1 – актуальна кількість мікроорганізмів, частка справжніх мікробів і їх форм існування в загальному арсеналі мікроорганізмів, взаємозв'язок між аллометричними характеристиками мікробних клітин та умовами середовища (Гузев В. С., Звягинцев Д. Г., 2003; Марфенина О. Е., 2005; Kajander E. O., 2006); 2 – величина ґрунтового дихання і співвідношення його компонентів, а також взаємозв'язок з родючістю ґрунту і стійкістю мікробного угруповання (Благодатская Е. В. и др., 1995; Горшков В. Г., Кондратьев К. Я., 1998; Богомоллова И. Н., 2005; Мякшина Т. Н., 2007; Наумов А. В., 2008); 3 – диспропорції між різноманітністю мікроорганізмів, співвідношенням «г»- і «к»-стратегій і їх метаболічною активністю (Добровольская Т. Г. и др., 2002; Хомутова Т. Э., Демкина Т. С., Демкин В. А., 2005; Полянская Л. М., Пинчук И. П., Звягинцев Д. Г., 2015); 4 – кореляція між вмістом мікробної біомаси, її структурою та активністю (Демкина Т. С., Ананьева Н. Д., 1998; Сусьян Е. А. и др., 2009; Стольникова Е. В. и др., 2011); 5 – частка й вектор мікробного компоненту в складі органічної речовини ґрунтів різних типів, різних ґрунтово-кліматичних зон і за різних способів використання сільсько-господарських угідь (Титлянова А. А. и др., 2005; Умаров М. М., Кураков А. В., Степанов А. Л., 2008; Мошкина Е. В., 2009); 6 – якість і здоров'я ґрунтів природних фітоценозів і агроценозів (Хомяков Ю. В. и др., 2012; Фрунзе Н. И., 2017).

МІСЦЕ, УМОВИ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

Об'єктом дослідження були угруповання мікроорганізмів чорнозему трьох багаторічних стаціонарних дослідів, закладених у двох ґрунтово-кліматичних зонах Республіки Молдова – Центральній та Північній.

А. Центральна зона

1. Багаторічний ґрунтовий стаціонар (з 1990 року) експериментальної бази АН Молдови «Біотрон» і розташована поруч (~100 м) лісосмуга широколистяних порід дерев (м. Кишинів, Республіка Молдова). Ґрунт дослідних ділянок – чорнозем типовий, суглинковий. Вміст гумусу в шарі 0–60 см від 2,2 до 3,4 %. Середній початковий вміст P_2O_5 , K_2O і NO_3 в шарі 0–20 см становив, відповідно 37,0 мг/1000 г; 191,0 і 14,3 мг/1000 г ґрунту. Сума поглинених основ у шарі 0–50 см становила 28–30 мг-екв. на 100 г ґрунту. Реакція ґрунтового середовища – слабо лужна (рН=7,8). Питома маса ґрунту – 2,6 г/см³, загальна пористість – 50–60 %, об'ємна маса – 1,06–1,30 г/см³. На цьому стаціонарі було проведено два досліді:

Дослід № 1. Обрані для дослідження ділянки зайняті рослинами двох контрастних сівозмін кормових культур у чотирьох варіантах (табл. 1): 1 – неудобрений фон (контроль); 2 – мінеральний фон (мінеральні добрива); 3 – органічний фон: гній великої рогатої худоби; 4 – органічний фон* (гній великої рогатої худоби + сидерати + рослинні рештки). Починаючи з другої

ротації, введення останнього варіанту не було можливим. Добрива вносили залежно від культури таким чином, щоб варіанти за кількісним вмістом NPK були еквівалентними. Розрахунки підстилкового гною великої рогатої худоби проводили, виходячи з вмісту в 100 т гною, кг: N₄₅₀P₁₀₉K₄₇₀. Еталоном для порівняльної оцінки мікробіологічного стану досліджуваних варіантів був перелоговий ґрунт лісосууги.

Таблиця 1

Схема ротації та удобрення кормових культур чорнозему типового ґрунтового стаціонару АН Молдови «Біотрон»

Рік дослідження	Досліджуваний варіант			
	Контроль	Мінеральний	Органічний	Органічний*
Сівозміна з люцерною				
1995, 2002, 2009	Люцерна, 1-й рік	За винесенням: N ₄₅₋₉₀ P ₃₀₋₆₀ K ₆₀₋₉₀	Гній 10–12 т/га	Гній 10–12 т/га + рослинні рештки + сидерати
1996, 2003, 2010	Люцерна, 2-й рік	Те ж	Післядія	Післядія
1997, 2004, 2011	Люцерна, 3-й рік	Те ж	Післядія	Післядія
1998, 2005, 2012	Пшениця озима	Те ж	Післядія	Солома пшениці
1999, 2006, 2013	Кукурудза на зерно	Те ж	Післядія	Післядія
2000, 2007, 2014	Соя або горох на зерно	Те ж	Післядія	Післядія
2001, 2008, 2015	Пшениця озима	Те ж	Післядія	Післядія
Сівозміна без люцерни				
1995, 2002, 2009	Буряки кормові	За винесенням: N ₄₅₋₉₀ P ₃₀₋₆₀ K ₆₀₋₉₀	Гній 20–24 т/га	Гній 22–24 т/га + рослинні рештки + сидерати
1996, 2003, 2010	Соя або горох на зерно	Так же	Гній 10–12 т/га	Післядія
1997, 2004, 2011	Кукурудза на силос	Так же	Післядія	Післядія
1998, 2005, 2012	Пшениця озима	Так же	Післядія	Солома пшениці
1999, 2006, 2013	Кукурудза на зерно	Так же	Післядія	Післядія
2000, 2007, 2014	Соя або горох на зерно	Так же	Післядія	Післядія
2001, 2008, 2015	Пшениця озима	Так же	Гній 10–12 т/га	Післядія

Дослід № 2. Ґрунт дослідних ділянок – чорнозем карбонатний, важкосуглинковий, слабогумусний на лесовидних суглинках. Вміст гумусу в шарі 0–20 см – 2,5–2,8 %. Об’ємна маса – 1,15 г/см³. Потужність гумусного горизонту 90–100 см. Дослідження проводили в 1991–1999 рр. на ділянках кукурудзи в монокультурі і пару. Розміри досліджуваних ділянок – 650–1300 м². Восени 1991 р. проводили зароблення рослинних решток кукурудзи на наступних варіантах: 1 – контроль (без добрив); 2 – рослинні рештки кукурудзи 8,5 т/га; 3 – рослинні рештки кукурудзи 8,5 т/га + N₆₈P₄₅K₄₅; 4 – N₁₃₅P₉₀K₉₀; 5 – рослинні рештки кукурудзи 25 т/га.

2. Експериментальний стаціонар польових культур (закладений у 1950 році), науково-дидактичне господарство Аграрного університету, розташоване в с. Кетросу Ново-Анненського району. Ґрунт дослідних ділянок – чорнозем карбонатний, важкосуглинковий, слабогумусний на лесовидних суглинках. Вміст гумусу в шарі 0–20 см – 2,5–2,8 %. Об’ємна маса – 1,15 г/см³. Потужність гумусного горизонту 90–100 см. На цій глибині вміст гумусу становить 1,5 %. Реакція ґрунтового середовища – слабо лужна (рН=7,2–7,8), сума ввібраних основ (Ca²⁺, Mg²⁺) в орному шарі – 38,3 мг-екв./100 г ґрунту. Вміст у ґрунті рухомого фосфору характеризується як низький (10,0–15,0 мг/1000 г ґрунту), обмінного калію – високий (100–220 мг/1000 г ґрунту). Розмір ділянок 650–1300 м². Дослідження проводили з 1991 по 2008 р. (19 варіантів у чотирьох дослідах).

Дослід № 1. Беззмінні культури за варіантами: чорний пар, кукурудза, багаторічні трави, соняшник, озима пшениця, переліг. Висіяні сорти: кукурудза на зерно – Молдавська 377; кукурудза на силос – Молдавська 257; пшениця озима – Одеська 51, соняшник – ВНПМК 1646; вика – Білоцерківська 27; овес – Львівський 78; соя на зелений корм – Бельцкая 82; соя на зерно – Букурія; горох – Вото 84 і Зеленозерний; люцерна – Алтуна; буряк кормовий – Екендорфская; ячмінь ярий – Основа.

Дослід № 2. 8-пільна зерно-просапна сівозміна в п’ятій ротації з наступним чергуванням культур: вико-овес (1996) – кукурудза + соя на зелений корм (1997) – пшениця озима (1998) – кукурудза на зерно (1999) – горох (2000) – пшениця озима (2001) – пшениця озима (2002) – соняшник (2003); в шостій ротації з наступним чергуванням культур: горох (2000) – пшениця озима (2001) – пшениця озима (2002) – соняшник (2003) – вико-овес (2005) – кукурудза + соя на зелений корм (2005) – пшениця озима (2006) – кукурудза на зерно (2007). Зайняті рослинами ділянки були обрані для дослідження в наступних варіантах: абсолютний контроль (без добрив); N₆₀P₄₅K₄₅; N₁₆₀P₁₂₀K₉₀; гній 12 т/га; гній 24 т/га; гній 12 т/га + N₆₀P₄₅K₄₅. Еталоном для порівняльної оцінки мікробіологічного стану ґрунтів був розташований поруч переліг.

Дослід № 3 проведено в п’ятій ротації 8-пільної зерно-просапної сівозміни з наступним чергуванням культур: вико-овес або кукурудза + соя на зелений корм – пшениця озима – кукурудза на зерно – горох – пшениця озима – соняшник. Схема досліду: 1 – абсолютний контроль (без добрив); 2 – N₆₈P₄₅K₄₅; 3 – N₁₃₅P₉₀K₉₀; 4 – N₁₈₀P₁₂₀K₉₀; 5 – гній 20 т/га; 6 – гній 40 т/га; 7 – гній 20 т/га + N₆₈P₄₅K₄₅.

Дослід № 4 – вегетаційний (лабораторний): моноліти чорнозему карбонатного з експериментальних ділянок досліду № 3 навесні були перенесені у вегетаційні посудини і зволожені. Їх вологість підтримували на рівні 60 % ПВ. Через місяць, коли процес виділення діоксиду вуглецю стабілізувався в умовах клімакамер, щомісяця проводили заміри продукування вуглекислого газу впродовж трьох місяців.

Б. Північна зона (м. Більці)

3. Багаторічний (з 1964 року) різновіковий стаціонар НДІ польових культур «Селекція» з 12 експериментальними ділянками. Ґрунт – чорнозем

типовий. Вміст гумусу в шарі 0–20 см становив 4,08–5,77 %. Варіанти – переліг (з 1985 р.), пар чорний (з 1964 р.), під буряки цукрові щорічно вносили 40 т/га гною і $N_{60}P_{30}K_{30}$ (з 1985 р.), під пшеницю озиму щорічно вносили 20 т/га гною і $N_{60}P_{30}K_{30}$ (з 1964 р.). Ділянки оброблялися беззмінно і в сівозміні. Як контрольні ділянки для чорнозему типового північної зони обрано переліг без скошування і пар з удобренням і неудобренням фонами. Використовували сорти культур, внесені до Державного реєстру з тестування сортів.

Методи досліджень: зразки ґрунту відбирали навесні, влітку і восени з шару 0–20 см, не менше ніж з п'яти точок. Для аналізу використовували тільки репрезентативні змішані зразки. Усереднений зразок (з природною вологістю) звільняли від коренів, рослинних решток і просіювали крізь сито з діаметром отворів 3 мм.

Мікробіологічні дослідження: відбір і підготовку зразків ґрунту; попередню підготовку до підрахунку чисельності мікроорганізмів прямими мікроскопічними методами і підготовку ґрунтової суспензії до електронно-мікроскопічного дослідження; попередню підготовки ґрунту до мікробіологічного висівання; кількісний облік мікроорганізмів у ґрунті; люмінесцентно-мікроскопічне вивчення мікроорганізмів ґрунту на забарвлених ґрунтових монолітах; електронно-мікроскопічне вивчення мікроорганізмів; аналіз фізіологічних властивостей мікроорганізмів; визначення структури комплексу ґрунтових мікроскопічних грибів; диференційований облік грибів і бактерій у ґрунті (інгібіторний аналіз); визначення видового складу бактерій, родового і видового складу мікроскопічних грибів проводили за відомими методами (Методи ґрунтової мікробіології та біохімії, 1991; Скворцова І. Н., 1984; Берги, 1980; Пидопличко Н. М., 1972; Билай В. И., 1977).

Функціональну активність мікробних угруповань: дихання ґрунтів (Ананьева Н. Д., 2003); субстрат-індуковане і базальне дихання (Anderson J. P. E., Domsch K. H., 1978); мікробну біомасу кінетичним і регідратаційним методами (Методи ґрунтової мікробіології і біохімії, 1991); питоме дихання (qCO_2) або мікробний метаболічний коефіцієнт (Благодатская Е. В., Ананьева Н. Д., Мякшина Т. Н., 1995); кількісний і якісний склад амінокислот (Козаренко Т. Д., Зуев С. Н., Муляр Н. Ф., 1981); різноманіття амінокислот і синекологічних зв'язків компонентів амінокислотного спектру (Одум Ю., 1986); вивчення життєздатності ґрунтових мікроорганізмів (Полянская Л. М., Головченко А. В., Звягинцев Д. Г., 1995), метаболічне різноманіття мікроорганізмів, індекс ауксотрофності (Благодатский С. А., 2012); мікробний вуглець ґрунту (Сусьян Е. А. та ін., 2009) проводили за новими методами.

Агрохімічні аналізи здійснювали за класичними методиками: вологість ґрунту – термостатно-ваговим методом, гумус – за Тюрнім, загальний азот – за К'ельдалем, вміст карбонатів – об'ємним методом, рН водної суспензії – потенціометрично, P_2O_5 і K_2O – за Мачигінім, аміачний азот – колориметричним методом за Несслером, нітратний азот – дисульфифеноловим методом або ж визначенням нітрифікаційної здатності за Кравковим (Аринушкина Е. В., 1980). Економічну ефективність визначали відношенням величин чистого доходу і витрат (Lupașcu, 2004). Статистичний аналіз результатів проводили методом

дисперсійного та кореляційного аналізу (Доспехов Б. А., 1980) з використанням програми Statistica.

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ МІКРОБІОЛОГІЧНИЙ ПОТЕНЦІАЛ АНТРОПОГЕННО ПЕРЕТВОРЕНОГО ЧОРНОЗЕМУ І ЙОГО РІЗНОМАНІТТЯ

Чисельність ґрунтових мікроорганізмів. Дослідження *in situ* мікроорганізмів у двох типах чорнозему виявило, що в середньому за 5 років вони містили 3,72–5,72 млрд клітин/г ґрунту, з найбільшими показниками на цілинних ґрунтах, що характеризує їх як високо біогенні. Першість за чисельністю належала бактеріям. Протягом усього експерименту відмічено сприятливий вплив на чисельність мікроорганізмів як мінеральних, так і органічних добрив. Але дієвість їх відрізнялася. Так, дія мінеральних добрив проявлялася у рік внесення, а органічних добрив – у наступні роки. Особливо це було помітно у варіанті з різними видами органічних добрив – гній великої рогатої худоби, рослинні рештки і сидерати кормових сівозмін, з тенденцією до збільшення в сівозміні з люцерною. Хоча варіанти були еквівалентні за NPK і відрізнялися тільки видами добрив, закономірність впливу добрив спостерігалася протягом усього експерименту. На цих варіантах реєструвалися найвищі значення показників чисельності мікроорганізмів серед експериментальних ділянок кормових сівозмін. У варіантах лісосмуги і перелогу відмічено найвищі значення чисельності мікроорганізмів, але першість належала ґрунтам перелогу. В окремі роки тут виявляли до 16 млрд клітин мікроорганізмів. Показники жодного з експериментальних варіантів не сягали значень природних біоценозів, хоча така тенденція і спостерігалася у варіантах з органічними добривами. Між чисельністю мікроорганізмів і вмістом гумусу, а також урожаєм пшениці, встановлено тісний кореляційний зв'язок ($r=0,90$ і $0,88$ відповідно).

Специфіка локалізації, розташування і клітинного виживання едафічних мікроорганізмів у ґрунті з непорушеною структурою. Більшість мікробних клітин знаходяться в адсорбованому стані (рис. 1). Менше 1/3 становили вільні клітини, з яких 67,19–90,34 % асоційовані в агрегати з 2–3 вільних клітин, і лише 32,81–9,56 % були представлені поодинокими клітинами. Хоча більшість мікробів проявляли достовірні ознаки життєздатності, специфіка локалізації та розташування клітин – адсорбованих або вільних, свідчила про те, що мікробні клітини протягом вегетаційного періоду відчували стресовий стан. А конкретні умови їх асоціювання (складання) в агрегати, або присутності як поодинокі, представляють собою форми їх виживання.

Це передбачає ймовірність незначної життєдіяльності едафічних мікроорганізмів за таких умов. Виходячи з того, що адсорбція мікроорганізмів має важливе екологічне значення для їх виживання за несприятливих умов і, що більшість з них залишаються життєздатними, можна вважати підвищену кількість адсорбованих клітин, як їх відповідною реакцією на екстремальні умови поживного і водного режимів ґрунту.

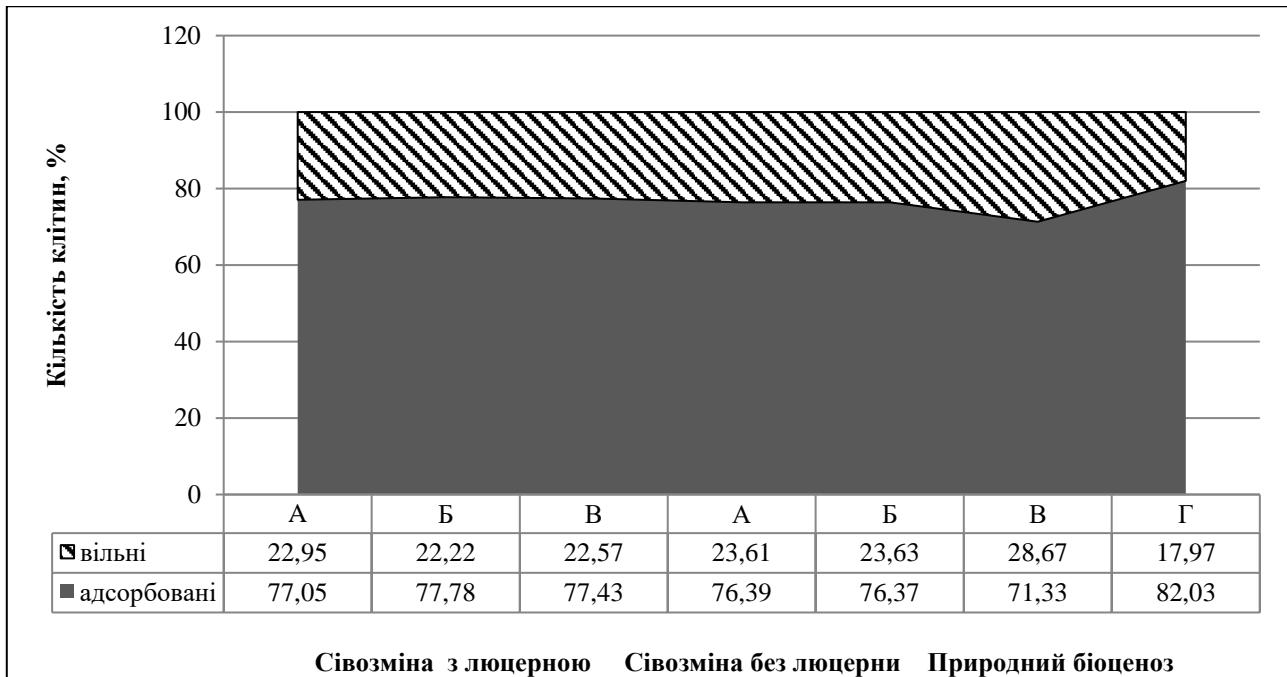


Рис. 1. Частка вільних і адсорбованих клітин на ґрунтових частках мікромонолітів з непорушеною структурою чорнозему типового ґрунтового стаціонару АН «Біотрон»: А – неудобрений фон; Б – мінеральний фон; В – органічний фон; Г – лісосмуга.

Поліпшення родючості ґрунтів ініціюванням мікробних угруповань. Мікробні угруповання кормових сівозмін володіли різноманітною метаболічною активністю: «г»-стратегі краще розвивалися у варіантах з органічними добривами, а «к»-стратегі – у варіанті з мінеральними і на неудобреному ґрунті.

Такі відмінності пояснюються незворотною втратою життєздатності частиною швидкорослих мікроорганізмів у процесі тривалого удобрення ґрунту тільки мінеральними речовинами, або ж експлуатацією земель без додаткового внесення поживних речовин протягом тривалого періоду часу.

Найнижчі індекси ауксотрофності відмічено у варіанті з органічними добривами та лісосмузі. З цього випливає, що ці угруповання мікроорганізмів суттєво залежать від ростових факторів субстрату. Тривалий обробіток ґрунтів спричиняє сильну перебудову угруповань мікроорганізмів. Мікроорганізми по-різному використовують альтернативні метаболічні шляхи, які забезпечували їм перевагу в конкуренції з мікроорганізмами, здатними до швидкого зростання на бідних середовищах. Остання обставина пов'язана з різною насиченістю ґрунту різноманітними поживними субстратами рослинної і мікробної природи (табл. 2).

Видова структура угруповань амоніфікувальних бактерій карбонатного чорнозему за тривалого удобрення мінеральними і органічними добривами. Амоніфікувальні бактерії, найширше представлені в досліджуваних ґрунтах, віднесено до 4 родів і 16 видів, з яких 30–96 % становили представники роду *Bacillus*. Найкраще ці бактерії розвивались в умовах тривало удобреного ґрунту, де вносили 40 т/га гною – 95,52 %. У варіанті $N_{180}P_{90}K_{90}$ вміст їх становив 76,3 %, $N_{68}P_{45}K_{45}$ – 67,4 %, контроль – 49,2 % і $N_{135}P_{90}K_{90}$ –

30,1 %. Наступними в порядку зниження були варіанти: гній 20 т + $N_{68}P_{45}K_{45}$, де домінування мікроорганізмів знаходилося в межах 0,00003–0,2098 за індексом Сімпсона.

Таблиця 2

Зміна вмісту поживних речовин і гумусу, а також урожайності пшениці озимої за одну ротацію кормових сівозмін чорнозему типового ґрунтового стаціонару АН Молдови «Біотрон», середнє за 1995–2002 рр.

Фон	Гумус, %	NO ₃ , мг/100 г	P ₂ O ₅ , мг/100 г	K ₂ O, мг/100 г	Урожайність, т/га
Сівозміна з люцерною					
Неудобрений	2,8±0,072	1,15±0,037	2,05±0,054	21,20±0,64	4,63±0,15
Мінеральний	2,9±0,075	4,07±0,116	6,30±0,168	24,00±0,73	5,48±0,17
Органічний	3,2±0,099	2,31±0,067	5,93±0,160	23,20±0,72	5,01±0,16
Органічний*	3,1±0,096	1,95±0,057	6,75±0,184	23,20±0,72	4,94±0,16
НіP ₀₅	0,22	0,091	0,16	1,65	0,36
Сівозміна без люцерни					
Неудобрений	3,0±0,077	1,42±0,040	2,15±0,056	20,10±0,55	3,98±0,13
Мінеральний	3,0±0,078	4,20±0,120	6,65±0,177	28,20±0,78	5,31±0,17
Органічний	3,3±0,086	3,20±0,093	9,80±0,265	39,00±1,11	4,94±0,16
Органічний*	3,4±0,089	3,60±0,105	19,30±0,53	42,80±1,34	5,04±0,16
НіP ₀₅	0,24	0,11	0,17	1,61	0,31

Примітка. *Вміст NO₃, P₂O₅ і K₂O на початок досліджень (1995 р.) становив 1,43 мг/100 г, 3,7 і 19,1 мг/100 г ґрунту, а вміст гумусу 2,8 % – в сівозміні з люцерною і 3,0 % – у сівозміні без люцерни, відповідно

Згідно з індексом Шеннона (0,6785–0,9267 для загального Рі та 0,0764–0,0969 для індивідуального Рі), удобрення ґрунту знижує видове різноманіття амоніфікувальних бактерій. Найбільше їх різноманіття притаманне ґрунтам з низькими дозами добрив і контролю, потім тим, де вносили $N_{180}P_{90}K_{90}$. Показники інших варіантів були майже на однаковому рівні. Видове різноманіття бактерій формувалося в основному за рахунок видів, що рідко трапляються, а зазначені в цих варіантах домінуючі види, за тривалого удобрення ґрунту (крім $N_{180}P_{90}K_{90}$) також переходили в розряд тих, що рідко трапляються. У варіанті з підвищеними дозами мінеральних добрив відбувалося збільшення кількості видів із домінуючою і субдомінуючою ролями. Стабільнішими були комплекси угруповань мікроорганізмів за внесення помірних доз мінеральних добрив ($N_{135}P_{90}K_{90}$), а також гною разом з ними.

Бактерії нанометричного діапазону як складова частина мікробного угруповання ґрунтів Республіки. Крім типових бактерій з розміром 2–5 мкм і діаметром 0,6–1,0 мкм, що вивчаються і використовуються сучасною мікробіологією і біотехнологією, в ґрунтах Молдови виявлено і дуже дрібні бактерії, діаметр яких не перевищує 200–300 нм, невідомі до недавнього часу науці, але визнані багатьма провідними вченими світу. Попередній підрахунок показав, що частка відфільтрованих форм досить велика і складає 10–36 % від загальної кількості бактерій нефільтрованої суспензії.

Зміна структури угруповань мікроміцетів за окультурення ґрунтів.

Порівняльний аналіз складу угруповань мікроскопічних грибів ґрунту двох екологічних зон Республіки виявив у чорноземі Північної зони 20 видів, що належали до восьми родів: *Alternaria*, *Aspergillus*, *Fusarium*, *Mucor*, *Penicillium*, *Rhizopus*, *Trichoderma* і *Humicola* (рис. 2, 3).

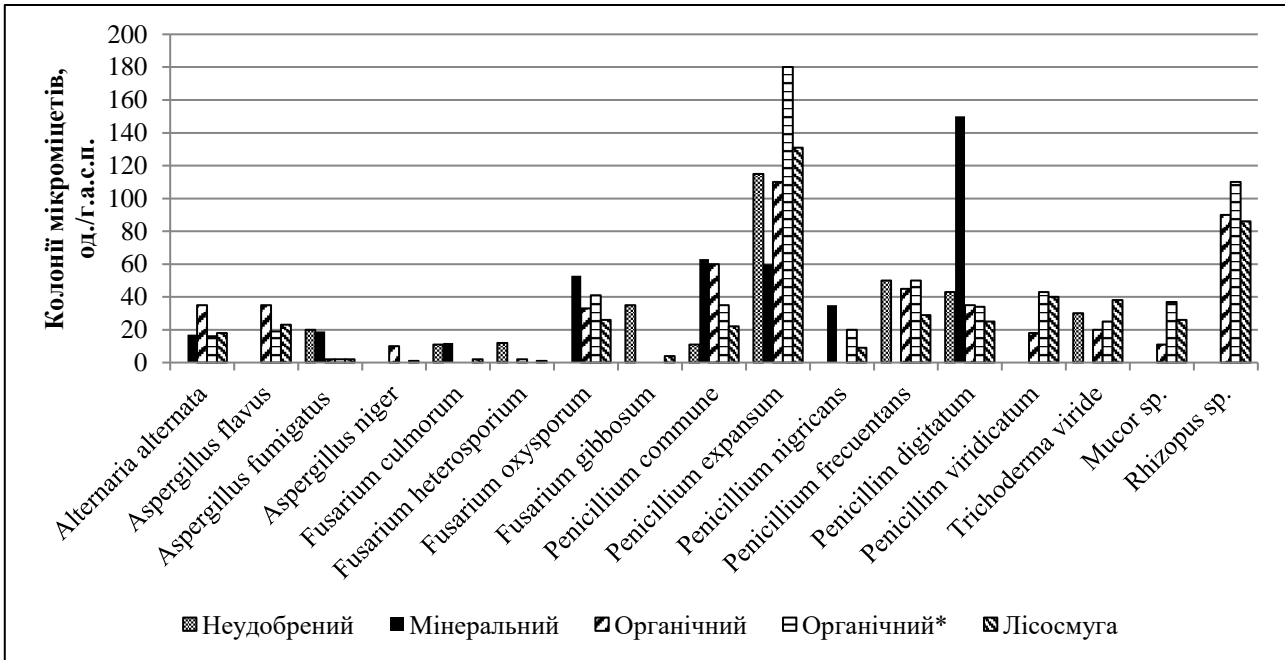


Рис. 2. Структура угруповання мікроміцетів чорнозему типового під пшеницею озимою (сівозміна з люцерною Центральної зони)

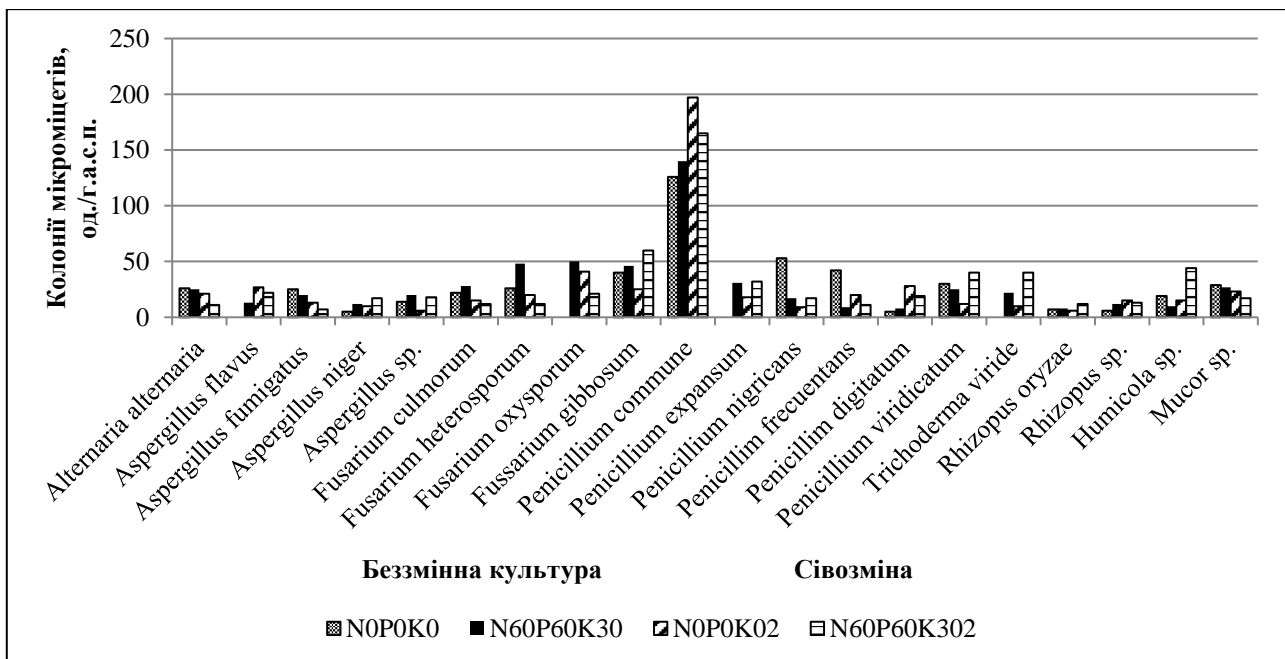


Рис. 3. Структура угруповання мікроміцетів чорнозему типового під пшеницею озимою (беззмінна культура і сівозміна Північної зони)

Мікроскопічні гриби були присутні в усіх досліджуваних варіантах за різної чисельності кожного виду, за винятком неудобреного варіанту беззмінної культури, де було виявлено тільки 16 видів.

Угрупування мікроміцетів експериментальної ділянки Центральної зони представлені 17 видами, що належали до 7 родів (відсутні представники роду *Humicola*), але всі види не були присутні одночасно за жодного з варіантів. На цих ділянках кардинально змінювалася й кількість видів залежно від варіантів. За визначення екологічної структури представлених видів встановлено, що досліджувані ґрунти мають багато спільного: домінуючим у них родом є *Penicillium*, що характеризує ґрунтові умови обох чорноземів як карбооліготрофні. Коефіцієнт подібності угруповань мікроміцетів (С'єренсена-Чекановського) становить 0,11–0,44.

Супресорна активність чорнозему типового. За вивчення різноманітності мікроміцетів чорнозему двох екологічних зон Республіки Молдова встановлено, що вміст фітопатогенних грибів роду *Fusarium* переважає за чисельністю супресорів роду *Trichoderma*. Їхні співвідношення свідчать про складні взаємодії мікроскопічних грибів у ґрунті і зумовлюють високу ймовірність захворювання рослин, а це, у підсумку, вказує на нездоровий розвиток мікробіоти та неблагополучний стан ґрунту за цим показником в цілому. У неудобреному чорноземі Центральної зони за виявлення 17,73 % грибів роду *Fusarium* було встановлено 9,17 % грибів-супресорів, а на мінеральному фоні його зовсім не виявили, незважаючи на досить високу частоту трапляння цього фітопатогенного гриба (15,89 %). На органічних фонах присутність обох представників була більш збалансована, хоча і в цьому випадку грибів-супресорів було менше: 3,95 і 4,08 % відповідно, за наявності 6,70–6,91 % мікроскопічних грибів роду *Fusarium* і представників антагоністичних форм роду *Trichoderma*.

МІКРОБНА БІОМАСА ЧОРНОЗЕМІВ: ЇЇ СТРУКТУРА І ФУНКЦІОНАЛЬНИЙ СТАН

Мікробна маса ґрунту – джерело біогенних елементів. Мікробна біомаса (табл. 3) визначена регідратаційним методом, містила 708–1434 кг С/га, що становило 0,95–1,97 % від загального вмісту вуглецю в ґрунті. Розрахунковим методом встановлено, що до її складу входило 198–402 кг N/га, 42–86 кг P/га, 14–29 кг K/га. У цілинних ґрунтах вміст вуглецю мікробної біомаси становив 2,54 %, а біогенних елементів N~596 кг/га, P~128, K~43 кг/га, що свідчить про зниження маси ґрунтових мікроорганізмів за обробітку ґрунту.

Маса ґрунтових мікроорганізмів в орних чорноземах. Порівняльне вивчення чорноземів Республіки Молдова за вмістом мікробної біомаси свідчить, що мікробіота чорнозему карбонатного, як і інших орних ґрунтів, дуже чутлива до вирощування рослин у беззмінних посівах і сівозміні. Мікроорганізми, залежно від виду вирощуваної культури, способу обробітку ґрунту і дози внесених добрив, синтезували від 0,219–0,008 до 1,060–0,040 мг С/г, з найбільшими кількостями в природному необроблюваному ґрунті. Зіставлення закономірностей формування мікробної біомаси в орних чорноземах і інших ґрунтах Республіки Молдова свідчить про загальну тенденцію до зростання мікробної біомаси під впливом добрив.

Біомаса ґрунтових мікроорганізмів (мг С/г ґрунту) в карбонатному чорноземі ґрунтового стаціонару Аграрного Університету «Кетросу», в середньому за вегетаційний період

Варіант	1997 р.	1998 р.	1999 р
Безмінні посіви			
Пар	0,498±0,021	0,219±0,008	0,474±0,017
Пшениця озима	0,546±0,022	0,439±0,018	0,710±0,030
Кукурудза	0,202±0,007	0,342±0,013	0,497±0,018
Соняшник	0,252±0,012	0,419±0,016	0,506±0,017
Багаторічні трави	0,596±0,024	0,514±0,014	0,761±0,031
Переліг	0,737±0,029	1,030±0,029	1,060±0,040
Зерно-просапна сівозміна			
Абсолютний контроль	0,314±0,009	0,324±0,008	0,286±0,012
N ₆₀ P ₄₅ K ₄₅	0,396±0,012	0,398±0,010	0,373±0,012
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	0,503±0,017	0,448±0,014	0,425±0,015
N ₁₆₀ P ₁₂₀ K ₉₀	0,436±0,016	0,433±0,015	0,417±0,013
Гній 12 т + P ₁₅	0,424±0,012	0,503±0,021	0,481±0,019
Гній 24 т + P ₃₀	0,721±0,025	0,524±0,019	0,538±0,022
Гній 12 т + N ₆₀ P ₄₅ K ₄₅	0,554±0,016	0,391±0,013	0,526±0,020

Структура мікробної біомаси. Виражені відмінності в накопиченні мікробної біомаси чорноземом за його різного сільськогосподарського використання свідчить про різну структуру мікробних угруповань. Аналіз результатів (табл. 4), отриманих за селективного інгібування субстрат-індукованого дихання виявив, що попереднє багаторічне внесення мінеральних і органічних добрив формує угруповання з домінантною часткою мікроскопічних грибів (62,78–79,45 %) у загальній біомасі едафічних мікроорганізмів. Співвідношення грибів до бактерій варіювало від 1,82 до 3,88 в сівозміні з люцерною і від 1,70 до 3,61 – в сівозміні без люцерни і було обумовлено взаємозв'язком співвідношення С:N в ґрунті.

Таблиця 4

Біомаса мікроорганізмів (еукаріотів і прокаріотів), співвідношення маси грибів до бактерій і деякі фізико-хімічні характеристики чорнозему типового ґрунтового стаціонару АН «Біотрон», в середньому за три роки

Фон	Гумус, %	С:N	рН	Біомаса, мкг С/г		Гриби: бактерії
				гриби	бактерії	
Сівозміна з люцерною						
Неудобрений	3,0	8,60	8,2	340,71	176,55	1,93
Мінеральний	3,0	7,03	8,2	328,70	180,55	1,82
Органічний	3,3	4,80	8,2	564,93	156,53	3,61
Органічний*	3,4	4,40	8,3	576,95	148,52	3,88
Сівозміна без люцерни						
Неудобрений	2,8	7,17	8,2	232,60	136,51	1,70
Мінеральний	2,9	6,10	8,2	264,63	144,51	1,83
Органічний	3,2	4,49	8,2	420,79	116,49	3,61
Органічний*	3,1	4,20	8,3	416,79	140,51	2,97

Сумарна мікробна біомаса і метаболічний стан мікроорганізмів у чорноземі типовому. Досліджуваний чорнозем характеризувався широким діапазоном вмісту мікробної біомаси (МБ). Мікробне угруповання орного ґрунту продукувало найбільшу кількість мікробної біомаси ($C_{\text{мік}}$) навесні (720–1222 мкг С/г ґрунту), а найменшу – влітку (252–870 мкг С/г ґрунту). Восени вміст $C_{\text{мік}}$ був вищий (598–1007 мкг С/г ґрунту) ніж влітку, проте не сягав весняних показників. Сумарна біомаса мікроорганізмів у варіантах орного чорнозему становила 419–1033 мкг С/г ґрунту, а в ґрунті лісосмуги – 1002–1432 мкг С/г ґрунту (табл. 5).

Таблиця 5

Сумарна і активна біомаса мікроорганізмів чорнозему типового ґрунтового стаціонару АН «Біотрон» за різного сільськогосподарського використання, в середньому за 2010–2012 рр.

Варіант	Мікробна біомаса, мкг С/г ґрунту		Частка активної, % від сумарної
	сумарна	активна	
Сівозміна з люцерною: люцерна			
Неудобрений	566±13	60±2	10,6
Мінеральний	769±20	142±3	18,5
Органічний	1033±18	193±5	18,7
Сівозміна без люцерни: кукурудза на силос			
Неудобрений	419±14	41±1	9,8
Мінеральний	544±20	82±1	15,1
Органічний	919±25	200±3	21,8
Природний біоценоз			
Лісосмуга	1211±20	353±10	29,1

Біомаса мікроорганізмів в ґрунті лісосмуги була у 2,1–2,9 раза; 1,6–2,2; 1,2–1,3 раза більше, ніж в орних аналогах (неудобрений, мінеральний, органічний) за обох сівозмін. Внесення в ґрунт органічних добрив створювало найбільш сприятливі умови для розвитку ґрунтової мікробіоти. Це доводить, що мікроорганізмам не вистачає вуглецевих субстратів, через це лише частина мікроорганізмів була функціонально активною: в ґрунті природної екосистеми активна маса становила близько 1/3 від її сумарного вмісту (~ в середньому 29,1 %), а в орних аналогах була меншою (9,8–21,8 %).

Тренд живого компоненту антропогенних ґрунтів. На прикладі чорноземів двох ґрунтово-кліматичних зон встановлено, що вміст мікробного вуглецю становив 252–1222 мкг С/г ґрунту в збідненому на органічну речовину ґрунті і 931–3866 мкг С/г – у багатому. Його запаси становили 571–1145 кг С/га в чорноземі Центральної зони і 2511–6766 кг С/га в чорноземі Північної зони. У співвідношенні з вмістом $C_{\text{орг}}$ цим величинам відповідало 0,95–2,54 % в чорноземі Центральної зони і 2511–6766 кг С/га – в чорноземі Північної зони Республіки. У ґрунті перелогу вміст мікробного вуглецю зазвичай вище, ніж в орному. Утворення живого компонента ґрунту зростає в міру збільшення кількісного вмісту в ньому органічного вуглецю (коефіцієнт кореляції $r=0,98$). Між орними і природними ґрунтами встановлено значний дисбаланс в акумулюванні основних компонентів органічної речовини. Порушення

рівноваги виражалось у відставанні всіх варіантів орних ґрунтів від цілинних за утворенням мікробного вуглецю на 6–60 % і органічного – на 10–20 %. Зменшення пропорційних співвідношень $C_{\text{мік}}:C_{\text{орг}}$ в орних ґрунтах Центральної зони становило 6–45 % в порівнянні з цілинними, а в орному чорноземі Північної зони – 35–62 %, що характеризує спрямованість вуглецевого балансу між ними як негативного. Якщо співставити встановлені параметри орного чорнозему Беліцького степу з аналогами Центральної зони Республіки Молдова, то очевидні явні переваги чорнозему Беліцького степу. В цілому, мікробні угруповання ґрунту Центральної зони за запасами $C_{\text{мік}}$ майже на порядок поступалися таким чорнозему Північної зони, а мікробним угрупованням природного ґрунту – майже в два рази.

АМІНОКИСЛОТНЕ РІЗНОМАНІТТЯ ЧОРНОЗЕМУ ТИПОВОГО І ОСОБЛИВОСТІ ЇХ УТВОРЕННЯ

Амінокислотний пул чорнозему типового характеризується високими показниками (табл. 6). Сумарний вміст вільних і зв'язаних амінокислот варіював від 197 до 317 мг N/кг ґрунту, що становило 8–11 % від загального азоту подібних чорноземів. Його величина сильно корелює із вмістом органічної речовини ґрунту, $r=0,97$. Азот амінокислот у ґрунтових гідролізатах становив 43,73–74,59 % від загального амінного азоту.

Таблиця 6

Вміст амінокислот в чорноземі типовому ґрунтового стаціонару АН «Біотрон», мг N/кг ґрунту, в середньому за 2006–2008 рр.

Амінокислота	Без добрив Контроль	Мінеральний фон	Органічний фон	Органічний фон*
Аспарагінова	25,00±0,55	31,00±0,20	40,00±1,05	29,00±0,72
Треонін	8,00±0,15	10,00±0,08	13,00±0,27	13,00±0,25
Серин	13,00±0,21	16,00±0,34	18,00±0,24	21,00±0,34
Глютамінова	19,00±0,47	24,00±0,79	34,00±0,84	23,00±0,58
Пролін	7,00±0,12	11,00±0,22	12,00±0,37	17,00±0,38
Гліцин	21,00±0,25	28,00±0,36	35,00±0,70	46,00±0,71
Аланін	34,00±0,42	40,00±0,67	45,00±0,83	44,00±0,96
Валін	6,00±0,09	8,00±0,20	11,00±0,27	13,00±0,39
Цистин	4,00±0,03	7,00±0,20	8,00±0,10	8,00±0,13
Метіонін	2,00±0,02	2,00±0,09	2,00±0,07	2,00±0,07
Ізолейцин	4,00±0,04	8,00±0,20	8,00±0,22	10,00±0,32
Лейцин	5,00±0,05	12,00±0,29	13,00±0,26	16,00±0,54
Тирозин	2,00±0,02	2,00±0,04	3,00±0,12	1,00±0,06
Фенілаланін	2,00±0,02	3,00±0,01	3,00±0,13	3,00±0,14
γ-аміномаляна	5,00±0,06	3,00±0,05	2,00±0,04	2,00±0,04
Лізін	14,00±0,11	13,00±0,19	15,00±0,23	18,00±0,32
Гістидин	11,00±0,07	10,00±0,09	11,00±0,10	12,00±0,16
Аргінін	16,00±0,12	25,00±0,20	29,00±0,24	38,00±0,37
∑ амінокислот	197,00±3,09	252,00±4,05	301,00±8,21	317,00±7,18

Ґрунти з найменшим співвідношенням С:N містили найбільшу кількість амінокислот. Спектр амінокислот включав 18 представників з переважанням аланіну, гліцину, аспарагінової і глутамінової амінокислот, аргініну, які в середньому становили приблизно 56,78–60,80 %. Найменшу частку в загальному пулі амінокислот становили метіонін, тирозин і фенілаланін (1,89–3,55 %). Серед амінокислот, що зазвичай зустрічаються, не було визначено триптофану.

Структура, фізичні та хімічні властивості амінокислот представлені на рис. 4. Ідентифіковані амінокислоти характеризувалися не тільки невеликими розмірами молекул, а й спільною структурною особливістю – наявністю карбоксильної і &-аміногруп, пов'язаних одним і тим же атомом вуглецю.

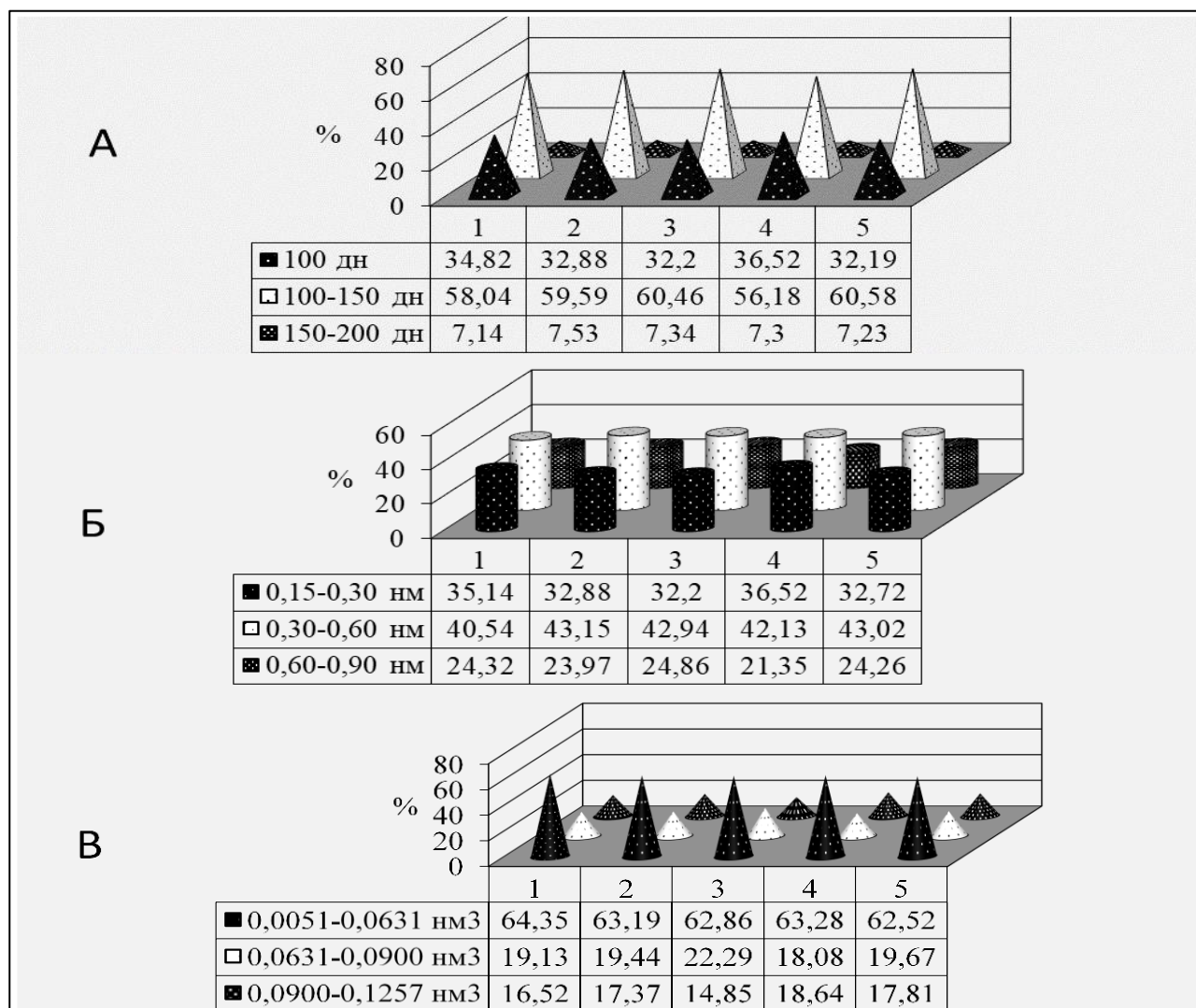


Рис. 4. Фізичні характеристики біомолекул амінокислот чорнозему типового ґрунтового стаціонару АН «Біотрон»: А – молекулярна маса; Б – довжина радикала; В – об'єм радикала; 1 – контроль; 2 – мінеральні добрива; 3 – органічні добрива; 4 – органічні добрива + рослинні рештки + сидерати; 5 – переліг.

Різнилися вони лише бічними ланцюгами (R-групами), а також своєю здатністю взаємодіяти з молекулами води, що характеризує 33,14–40,33 %, як гідрофобні; 27,33–36,35 % – полярно нейтральні; 19,38–28,40 % – негативно заряджені; 6,76–8,38 % – позитивно заряджені, а інших – нестандартні.

Амінокислоти з карбоксильними групами переважали над амінокислотами з амінними групами. Їх хімічні властивості залежать від індивідуальності R-груп і величин pK' кожної. Амінокислоти, що мають одну неіонізовану групу, характеризуються дуже близькими pK_1' , що лежать в інтервалі від 2 до 3, і pK_2' , що лежать в інтервалі від 9,0 до 10,0. Їх відносний вміст становив 62,49–71,72 %, тоді як амінокислоти з іонізованою R-групою мають 3 значення pK' і, складаючи 28,28–37,51 %, представлені в меншості.

Екологічне різноманіття амінокислот чорнозему типового. Видове різноманіття амінокислот було максимальним на контрольному варіанті. На мінеральному фоні відбулося його зниження на 52 %, органічному і природному – 50 %, поступаючись і за показниками видового різноманіття Маргалефа на 2 %; 8 і 15 % неудобреному фону і на 7 %; 29 і 48 % – за Менхініка, відповідно (рис. 5). Дослідження видової структури амінокислот встановило неоднорідність їх спектру в ґрунтах за різного антропогенного навантаження. Найбільшу концентрацію домінування зафіксовано в неудобреному ґрунті ($c=2,1025$). В інших випадках значення індексу Сімпсона були близькими і становили по 48 % на мінеральному і природному фонах і 50 % – на органічному.

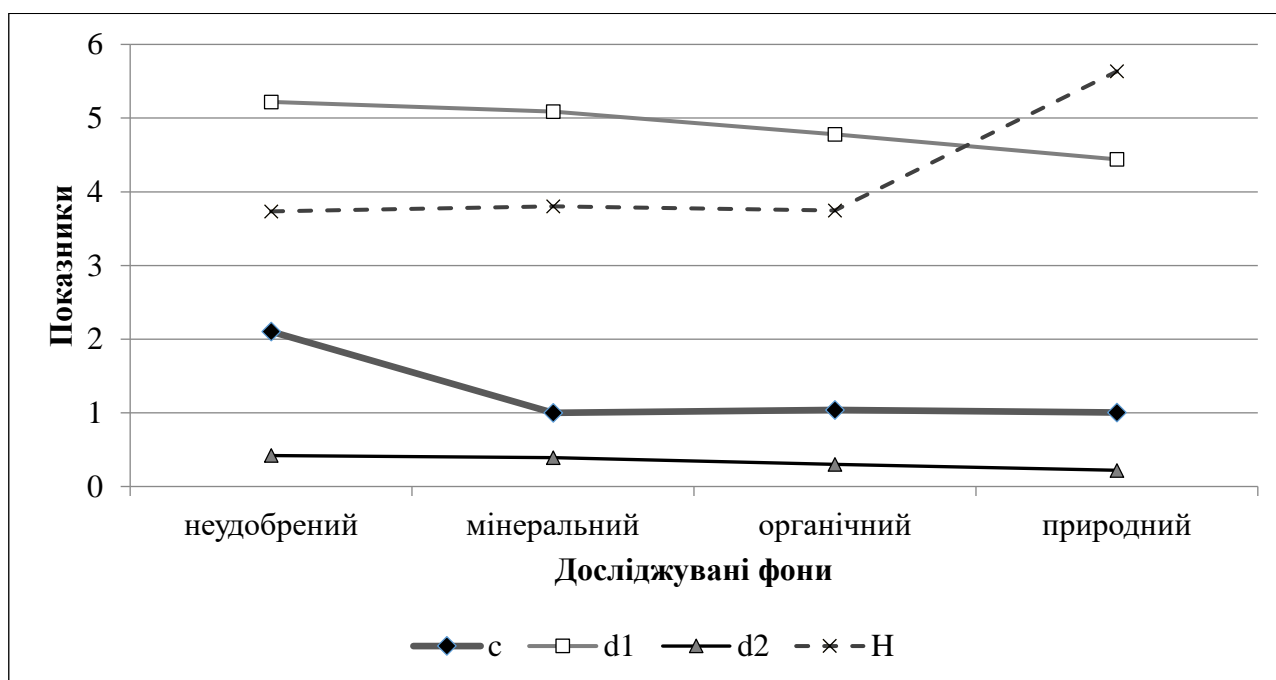


Рис. 5. Показники структури і видового різноманіття амінокислот: c – індекс домінування Сімпсона; d_1 – індекс видового різноманіття Маргалефа; d_2 – індекс видового різноманіття Менхініка; H – індекс загального видового різноманіття Шеннона.

Найвищі показники індексу різноманіття зареєстровано у природному ґрунті. При цьому, в орних ґрунтах показник Шеннона був нижчим у середньому на 33 %, що є додатковим підтвердженням збіднення спектра видового різноманіття амінокислот у результаті сільськогосподарського землекористування. Орні варіанти відрізнялися від природного переходом аланіну з розряду другорядних у субдомінантний, а на мінеральному фоні – в домінантний, а також втратою гліцином статусу субдомінантного на

неудобреному фоні і його переходом у другорядний; втратою метіоніном статусу другорядного, і переходом у розряд рідкісних, незначних видів. Вони відрізнялися також від природного фону вищим ступенем домінування аланіну, треоніну, лейцину і аргініну і порівняно меншим значенням індексу Сімпсона по проліну і цистину.

Кластерний аналіз анаболізму амінокислот у чорноземі типовому розширив уявлення про утворення амінокислот у чорноземах Республіки Молдова. Дендрограма розподілу біомолекул, відповідно їх часткового внеску, виявила, що незважаючи на утворення амінокислот по 3 кластера, їх склад і послідовність чисельно різнилися (рис. 6).

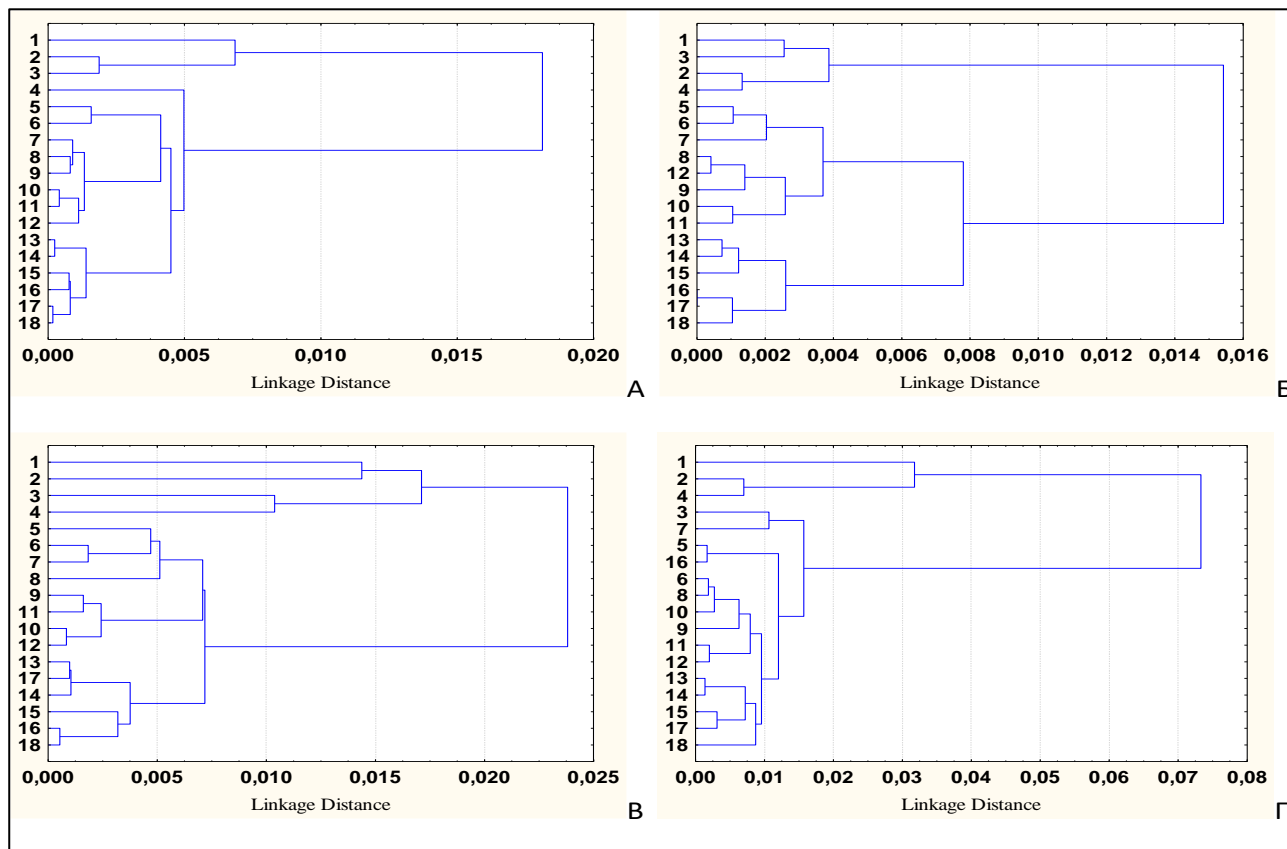


Рис. 6. Дендрограма розподілу амінокислот за варіантами дослідів: А – неудобрений; Б – мінеральний; В – органічний; Г – природний фон; 1 – аспарагінова; 2 – глютамінова; 3 – аланін; 4 – гліцин; 5 – серин; 6 – лейцин; 7 – пролін; 8 – треонін; 9 – аргінін; 10 – ізолейцин; 11 – лізин; 12 – валін; 13 – гістидин; 14 – фенілаланін; 15 – цистин; 16 – метіонін; 17 – тирозин; 18 – γ -аміномасляна кислота.

Найменшим кластером виявилось об'єднання чотирьох представників амінокислот (аспарагінова і глютамінова кислоти, аланін і гліцин) з найбільшою дольовою участю за варіантами (всього 14): в неудобреному і природному – по 3, а в мінеральному і органічному – по 4. Послідовність амінокислот за мінерального і органічного фонів була однаковою, тоді як природний відрізнявся від неудобреного тим, що замість аланіну представлений гліцин. Другий кластер виявився найчисленнішим (30), що об'єднав 10 представників амінокислот із середньою дольовою участю, а не з найменшою, як у попередньому випадку: в

неудобреному, мінеральному і природному варіантах – по 8, а в органічному – 6. Ними були в неудобреному – гліцин, серин, лейцин, пролін, треонін, аргінін, ізолейцин, лізин. Мінеральний фон відрізнявся від неудобреного відсутністю гліцину і наявністю валіну; органічний – відсутністю гліцину, а природний – відсутністю гліцину, аргініну, ізолейцину і лізину, а також додатковою присутністю аланіну, валіну і метіоніну. Третій кластер був другим за чисельністю і об'єднував 9 амінокислот (всього 28) із незначними кількісними співвідношеннями, а не з середніми, як у попередньому випадку: в неудобреному і природному варіантах – по 7, в мінеральному – 6, а в органічному – 8. Незважаючи на те, що кількість амінокислот у кластерах неудобреного і природного фонів була ідентичною, їх якісний склад відрізнявся.

Природа амінокислот чорнозему типового за різного землекористування. Дослідження метаболічних шляхів утворених амінокислот показало, що вони істотно різняться і випереджають контроль на 9–319 % за аспаратом, на 17–280 за глутаматом, на 27–134 за піруватом, на 27–134 за серином і на 9–247 % за сімейством пентоз. Це обумовлено екологічними умовами середовища, але при цьому шляхи їх утворення не є незалежними і складають: через аспарат 27–34 %, глутамат 24–25, піруват 15–25, серин 16–21 і пентозу 5–6 %. Одночасно зафіксовано відставання представників усіх сімейств амінокислот, за винятком на мінеральному фоні – пірувату (+10 %), органічному – пентоз (+1 %), а на природному – аспартату (+7 %) і серину (+5 %). Складання пропорційних співвідношень утворених амінокислот, згідно їх попередників на неудобреному, мінеральному і органічному фонах, а також у ґрунті природного біоценозу, виявило, що вони характеризувалися наступними величинами за родинами:

Пірувату:	24:25:21:15	Аспартату:	30:27:29:34
Аланін	59:51:57:46	Аспарагінова	54:47:58:50
Валін	15:21:15:29	Треонін	15:19:17:10
Лейцин	26:28:28:25	Метіонін	05:03:02:17
Серину:	16:19:19:21	Ізолейцин	13:15:11:11
Серин	40:36:37:26	Лізин	13:16:12:12
Цистин	10:08:06:06	Глутамату:	25:24:25:25
Гліцин	50:56:57:68	Глутамінова	57:47:59:57
Пентоз:	05:05:06:05	Пролін	20:27:23:31
Гістидин	44:43:31:41	Аргінін	08:23:15:11
Фенілаланін	40:39:36:39	У-аміномасляна	05:03:03:01
Тирозин	21:18:33:21		

В цілому, аналіз біосинтезу амінокислот за їх попередниками показав, що утворення амінокислотних молекул має споріднену природу, але в антропогенному ґрунті синтезується на 3–7 % більше біомолекул, ніж у ґрунті перелогу.

Фракційний склад ґрунтового азоту. Валовий азот чорнозему типового Молдови становить 0,2–0,3 % за найбільших його значень на органічних фонах (рис. 7). З вивчених фракцій азотного фонду ґрунту найбільшим валовим вмістом

характеризувалася фракція азоту амінокислот (0,02–0,05 % в орному ґрунті і до 0,07 % – у природному). Валовий вміст NH_4^+ у експериментальних варіантах був майже однаковим (0,0005–0,0006 %), а на природному фоні – у 1,8 раза більше. Валовий вміст фракції NO_3^- був у 7,3–14,3 раза вище порівняно з фракцією NH_4^+ , за найменших значень у ґрунті природного фону і найбільших – органічного.

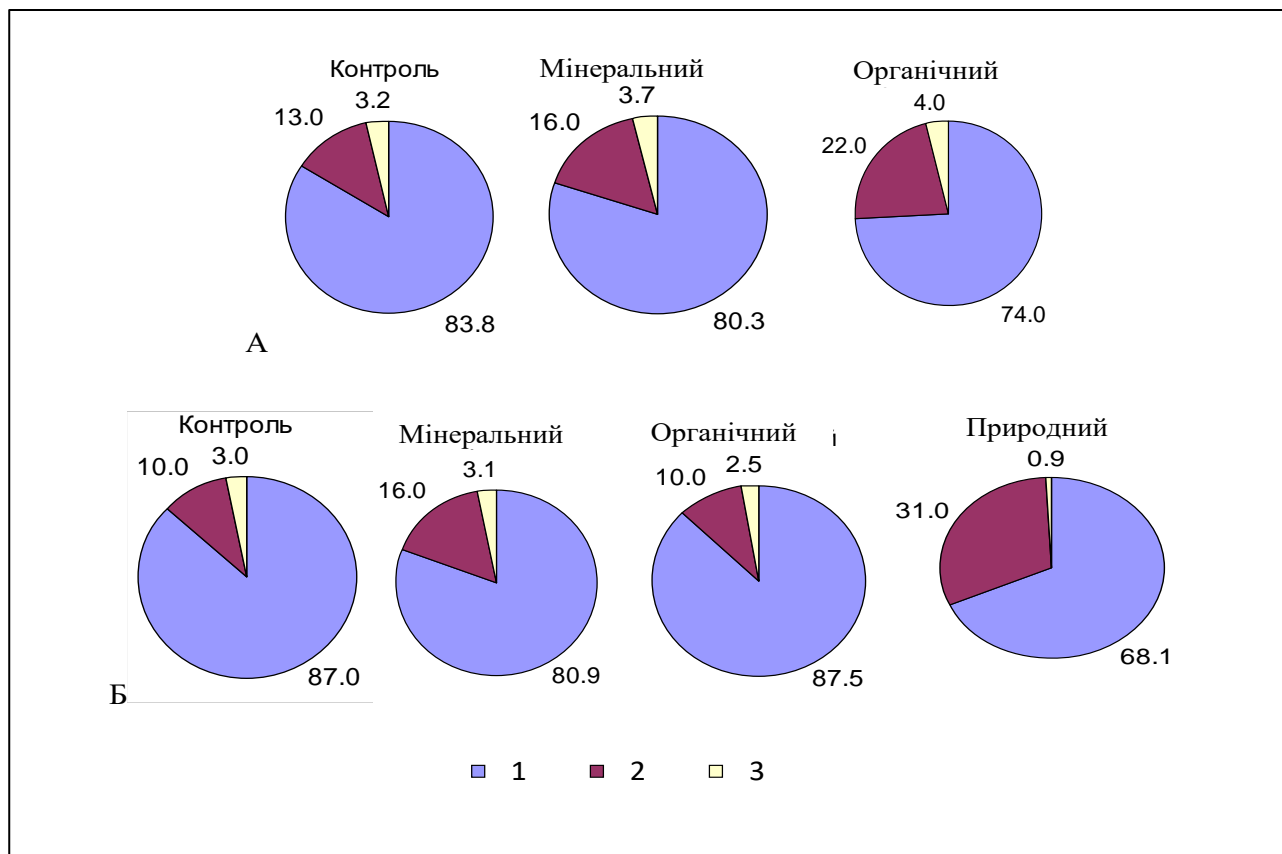


Рис. 7. Співвідношення часток фракцій азотного фонду чорнозему типового ґрунтового стаціонару АН «Біотрон», %: А – сівозміна з люцерною; Б – сівозміна без люцерни і лісосмуги; 1 – інші, невивчені фракції; 2 – азот амінокислот; 3 – сума амонійної і нітратної фракцій.

Фракційний склад азотного фонду чорнозему типового Республіки, зазначаючи істотних змін у результаті застосування різних технологій сільсько-господарського землекористування, характеризувався високою стабільністю якісної структури: 0,2–0,5 % становила частка амонійної фракції і 2,33–3,74 % – нітратної. Фракції азоту амінокислот становили 10,0–22,0 % в експериментальних варіантах і 31,0 % – на природному фоні, вказуючи на те, що в дійсності амінокислотний азот є індикатором процесів мінералізації у ґрунті та активності перетворення азоту ґрунтовими мікроорганізмами.

ДИХАННЯ ҐРУНТОВИХ МІКРООРГАНІЗМІВ І ЇХ ФІЗІОЛОГІЧНИЙ СТАТУС

Інтенсивність виділення діоксиду вуглецю мікробними угрупованнями орного чорнозему за внесення рослинних решток. Порівняльне дослідження орних чорноземів Республіки за інтенсивністю виділення діоксиду вуглецю показало, що будь-який обробіток ґрунту сприяє продукуванню CO_2 . У досліді з беззмінною кукурудзою і чорним паром, а також

за дотримання сівозмін встановлено, що мікробне угруповання чорнозему продукує більше діоксиду вуглецю в удобрених варіантах і його обсяги визначаються видами добрив і їх кількістю, а також біологічними властивостями вирощуваних рослин. Досліджені чорноземи продукують 2,44–9,60 мг CO_2 /г ґрунту. Але виділення діоксиду вуглецю в орних чорноземах Молдови поступається природним, де протягом 1992–1994 рр. фіксувалося 10,40–14,90 мг CO_2 /г ґрунту.

Взаємозв'язок інтенсивності виділення CO_2 ґрунтом із вмістом органічного вуглецю. Визначення інтенсивності виділення CO_2 і її зв'язку з вмістом $C_{\text{орг}}$ свідчить, що у досліджених чорноземах порушена замкненість колообігу CO_2 . Зі збільшенням вмісту вуглецю в ґрунті підвищувалося продукування CO_2 . Взаємозв'язок між запасами $C_{\text{орг}}$ і інтенсивністю дихання описується коефіцієнтами кореляції $r=0,38$ і $0,54$ (для ґрунту під беззмінною кукурудзою і в сівозміні без люцерни) і $r=0,67$ і $0,76$ (для ґрунту пару і сівозміни з люцерною). Частка інтенсивності дихання мікроорганізмів по відношенню до загальної кількості виділеного CO_2 в цілинному ґрунті становила 32 %, тоді як у орних аналогах цей показник сильно зростає. Різниця (до 9 %), на думку В. Г. Горшкова (1990), становить величину збурення угруповань у відповідь на антропогенний вплив.

Респіраторна активність угруповань мікроорганізмів карбонатного чорнозему. У табл. 7 представлено характеристики респірації мікроорганізмів, що активно функціонують у ґрунті за різного антропогенного навантаження. В цілому, обсяги CO_2 , виділеного мікроорганізмами в орному ґрунті, були нижче (за абсолютними величинами), ніж у природному: базальне дихання на 12–39 % і СІД на 22–60 %. Відносні ж значення базального дихання (порівняно з перелогом) в середньому на 10–21 % перевищували такі субстрат-індукованого дихання. Ця різниця за варіантами утворилася згідно з наступною схемою: середнє значення базального дихання по відношенню до ґрунту перелогу – (мінус) середнє значення субстрат-індукованого дихання по відношенню до ґрунту перелогу, %. Таким чином, у орних ґрунтах зростає фундаментальне дихання, що викликає зниження потенційної респіраторної активності ґрунтових мікроорганізмів. А дихання, що підтримує життєдіяльність мікроорганізмів у орних ґрунтах, стає інтенсивнішим порівняно з природним ґрунтом, обумовлюючи зниження CO_2 , що утворюється в результаті деградації органічних речовин. Мікробний метаболічний коефіцієнт, який є критерієм стійкості угруповань мікроорганізмів і індикатором ефективності використання ними субстрату, коливався від 3,07 до 1,99 мкг $C\text{-CO}_2$ /мг $C_{\text{мік}}$ на годину. Якщо за абсолютними величинами питома дихання можна вважати відображенням стійкого стану мікробних угруповань у досліджуваних варіантах, то між значеннями $q\text{CO}_2$ орних варіантів і $q\text{CO}_2$ природного ґрунту відзначається розбіжність, яку, відповідно до шкали Є. В. Благодатской, Н. Д. Ананьевой і Т. Н. Мякшиной (1995) про стан угруповань мікроорганізмів, не можна вважати стабільною. Величина цієї розбіжності характеризує стан угруповань як стресовий, а величина цієї розбіжності (13–54 %) буде служити мірою порушення стійкості угруповань мікроорганізмів, ступенем стресу.

Сезонна динаміка респіраторних показників мікробного угруповання карбонатного чорнозему ґрунтового стаціонару Аграрного університету «Кетросу», 2007 р.

Фон	Сезон	БД, $\bar{X} \pm x$		СІД, $\bar{X} \pm x$		qCO ₂ мкг С- СО ₂ /мг С _{мік} за годину	Різниця qCO ₂ оранки порівняно до qCO ₂ перелогу, (мкг С-СО ₂ / мг С _{мік} за годину)
		мкг С-СО ₂ /г ґрунту/год.	% до перелогу	мкг С- СО ₂ / г год.	% до перелогу		
Контроль	весна	0,84±0,019		12,40±0,41			
	літо	0,59±0,016		7,74±0,22			
	осінь	0,70±0,026		10,61±0,43			
	середнє	0,71±0,020	61	10,25±0,35	40	3,07	1,08
N ₆₀ P ₄₅ K ₄₅	весна	0,86±0,020		12,89±0,44			
	літо	0,60±0,017		8,11±0,24			
	осінь	0,70±0,026		11,06±0,44			
	середнє	0,72±0,021	62	10,69±0,37	41	2,99	1,00
N ₁₆₀ P ₁₂₀ K ₉₀	весна	0,98±0,030		15,40±0,48			
	літо	0,68±0,018		11,23±0,29			
	осінь	0,74±0,028		12,35±0,49			
	середнє	0,80±0,025	69	12,99±0,42	50	2,73	0,74
Гній 12 т/га + P ₁₅	весна	1,06±0,033		19,48±0,63			
	літо	0,80±0,019		14,55±0,35			
	осінь	0,96±0,036		17,42±0,70			
	середнє	0,94±0,029	81	17,15±0,56	66	2,44	0,45
Гній 24 т/га + P ₃₀	весна	1,08±0,034		20,26±0,66			
	літо	0,82±0,020		16,44±0,42			
	осінь	0,98±0,038		17,62±0,72			
	середнє	0,96±0,031	83	18,11±0,60	70	2,28	0,29
Гній 12 т/га + N ₆₀ P ₄₅ K ₄₅	весна	1,16±0,037		22,44±0,76			
	літо	0,89±0,023		18,00±0,49			
	осінь	1,01±0,039		20,12±0,83			
	середнє	1,02±0,033	88	20,19±0,69	78	2,25	0,26
Переліг 60 років	весна	1,46±0,051		28,44±0,97			
	літо	0,94±0,025		23,66±0,66			
	осінь	1,08±0,043		25,73±1,07			
	середнє	1,16±0,040	100	25,94±0,90	100	1,99	

Якість і здоров'я антропогенних ґрунтів. «Здоров'я» ґрунту – це здатність його, як компонента наземної екосистеми, функціонувати протягом тривалого часу, забезпечуючи її продуктивність, якість води і повітря, а також здоров'я рослин, тварин і людини.

Термін «якість» ґрунту пов'язаний з його придатністю для конкретних цілей, а «здоров'я» ґрунту – з виконанням екосистемних функцій, що має більш широкий зміст, ніж «якість».

Для здорового ґрунту існують дві вкрай важливі характеристики – це багате різноманіття його біоти і високий вміст неживої органічної речовини.

Оцінка родючості репрезентативного чорнозему, згідно з деякими елементами якості і здоров'я, виявила його неоднозначний, «тривожний» стан (Крупенников, 2008). Забезпеченість дослідженого чорнозему поживними

елементами не задовольняє пропорційне співвідношення, що характеризує їх поєднання за вмістом гумусу. Наприклад, аналіз запасів поживних елементів показав наступну забезпеченість ними чорнозему (табл. 8): вуглецем – 1,74–1,97 %, азотом – 0,20 – 0,3, фосфором – 0,29 і калієм – 0,71–1,15 %.

Таблиця 8

Вміст основних поживних елементів у ґрунті кормових сівозмін чорнозему типового ґрунтового стаціонару АН «Біотрон», середнє за 1995–2009 рр.

Агрофон	C, %	N, %	P, %	K, %
Сівозміна з люцерною				
Неудобрений	1,74±0,049	0,20±0,006	0,068±0,0047	0,71±0,019
Мінеральний	1,74±0,047	0,20±0,006	0,21±0,0049	0,80±0,020
Органічний	1,91±0,051	0,23±0,007	0,18±0,0047	0,70±0,018
Сівозміна без люцерни				
Неудобрений	1,62±0,046	0,20±0,006	0,077±0,0022	0,72±0,021
Мінеральний	1,68±0,047	0,20±0,006	0,23±0,0056	0,97±0,024
Органічний	1,97±0,049	0,30±0,007	0,29±0,0077	1,15±0,027

Згідно з Д. С. Орловим (1985), середній склад гумусу в ґрунтах становить: С – 55–65 %; Н – 3,5–5,0; О – 25–35; N – 1–2 %. Співставлення вмісту вуглецю і азоту в дослідженому ґрунті аналогічно тому, що має бути в гумусі за даного підходу, дозволило встановити, що кількість вуглецю задовольняє лише значення найменшого діапазону за вмістом органічного вуглецю до складу гумусу, а з необхідної кількості азоту визначається в кращому випадку 10 %. В цілому, за даними моніторингу, 2/3 ґрунтів Молдови мають від’ємний баланс гумусу і характеризуються недостатньою забезпеченістю азотом (Serbari V. V., 2010). Zagorcea C. L. (1999), а також S. Andrieş (2011) відзначають, що за відносно великого валового вмісту фосфору і калію, кількість їх мобільних форм є незадовільною для рослин. Показники активного вуглецю, за оцінювання з аналогами системи оцінки здоров’я ґрунтів за цим показником Університету Корнелл, США (Гутино Б. К. та ін., 2007) свідчать, що вони характеризуються значеннями нижче середніх.

Якщо, згідно названої системи, ґрунти з незадовільним здоров’ям містять 284 проміле активного вуглецю, із середнім здоров’ям – 601 проміле і з дуже високим – 1197 проміле, то, очевидно, більшість досліджених ґрунтів за цим показником можуть бути охарактеризовані як ґрунти з незадовільним здоров’ям і тільки ґрунт, удобрений гноєм, і природний ґрунт характеризуються тенденцією наближення до ґрунтів із середнім здоров’ям.

ВИСНОВКИ

Дисертаційне дослідження присвячено мікробіологічному моніторингу чорноземів сільськогосподарського використання Республіки Молдова у зв’язку з їх відповідною реакцією і стійкістю до тривалих антропогенних впливів та їх агроекологічній оцінці.

1. Мікробіологічний моніторинг чорноземів Республіки Молдова тривалого сільськогосподарського використання свідчить про істотні зміни параметрів функціонування угруповань мікроорганізмів, порівняно з «еталонним» ґрунтом (перелогом). Ці зміни проявляються у зменшенні чисельності ґрунтових мікроорганізмів і їх екологічної ролі в угрупованні. Доведено, що трансформація ґрунтового середовища мікроорганізмів обумовлює особливості екологічних взаємовідносин, адаптивної здатності, диференціації їх мікробіологічного статусу.

2. Клітини мікроорганізмів відчують стресовий стан внаслідок тривалого застосування агротехнологій. Хоча більшість мікроорганізмів проявляє достовірні ознаки життєздатності, специфіка їх локалізації та розташування передбачає ймовірність незначної життєдіяльності едафічних мікроорганізмів в умовах ґрунтів сільськогосподарського використання. Цей факт доводить, що за допомогою агротехнологій чисельність, структура і функціонування мікробних угруповань можуть бути керованими.

3. Вміст мікробної біомаси в чорноземах Республіки Молдова (252–1222 мкг С/г ґрунту в бідному на органічну речовину ґрунті і 931–3866 мкг С/г – в багатому) і співвідношення загального вуглецю ґрунту (0,95–2,54 % в ґрунтах Центральної зони Республіки і 2,94–8,14 % – в ґрунтах Північної зони) характеризує їх як високобіогенні. Проте тренд функціонування живої речовини як в орних, так і в перелогових ґрунтах – негативний. Резерви мікробного вуглецю хоча і оцінюються як високі, проте, поступаються місцевим перелоговим аналогам.

4. Структура живої речовини на 62,78–79,45 % складається з еукаріотичної складової і обумовлена взаємозв'язком із ґрунтовим співвідношенням С:N. Функціональна активність мікроорганізмів чорноземів обумовлена метаболічною різноманітністю, здатністю використовувати альтернативні метаболічні шляхи. Вміст метаболічно активної частини мікробного угруповання ґрунту природної екосистеми складає близько 1/3 від сумарної кількості (в середньому 29,1 %), а в орних аналогах – 9,8–21,8 %.

5. Чорнозем типовий Республіки Молдова має значний пул амінокислот (від 197 до 317 мг N/кг ґрунту, що становить 8–11 % від загального азоту подібних чорноземів), проте він зазнає значної трансформації і зменшується під впливом сільськогосподарського використання. Утворення амінокислотних молекул має споріднену природу, але в антропогенному ґрунті синтезується на 3–7 % більше біомолекул, ніж у ґрунті цілини. Найвищі величини індексу загального видового різноманіття амінокислот зареєстровано в природному ґрунті. В орних же ґрунтах показник Шеннона був нижче в середньому на 33 %.

6. Азотний пул у результаті тривалого сільськогосподарського використання, як і вуглецевий, зменшується. Найменшою часткою представлена амонійна фракція (0,20–0,5 %). Частка нітратної фракції була порівняно більшою (в 7,3–14,3 рази) амонійної. Значну частину становили фракції азоту амінокислот – 10,0–31,0 %.

7. Тривале використання ґрунтів значно видозмінило дихання ґрунту. Спостерігається тенденція щодо збільшення показників базального дихання порівняно з субстрат-індукованим, в середньому на 10–21 %. Показники питомого дихання (1,99–3,07 мкг С-СО₂/мг С_{мік} на годину) відображають стійкий стан мікробних угруповань, але порівняно з qCO₂ перелогу вказують на те, що між ними утворюється розбіжність, яка утворена тривалим впливом антропогенних факторів. Вона характеризує стан мікробних угруповань як стресовий, а її різниця з перелогом (13–54 %) характеризує ступінь стресу.

8. Дослідження основного показника родючості ґрунту – його здоров'я, свідчить, що його складові – органічна, мінеральна і жива речовина – зазнали значних перетворень, через що ґрунти стали дуже вразливими. Забезпеченість дослідженого чорнозему поживними елементами, активним вуглецем і супресорними мікроорганізмами задовольняє лише величина найменшого діапазону. Становище ускладнюється не тільки браком або надлишком будь-якого поживного елемента, але й тим, що саме явище може обумовлювати недоступність його і багатьох інших макро- і мікроелементів.

9. В кінці першої ротації (7 років) внесення органічних добрив сприяло стабілізації вмісту гумусу. Протягом двох ротацій спостерігається його підвищення на 0,3 %, а після третьої ротації відбувається розширене відтворення ґрунтової родючості за збільшення гумусу на 0,7–0,9 %. У цих умовах рентабельність становить 10–30 % у сівозміні без участі багаторічних бобових трав (люцерна) і 12–36 % – у сівозміні з люцерною.

РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ

З метою підвищення родючості та «здоров'я» ґрунтів, урожайності сільськогосподарських культур, стабілізації функціонування корисних мікробних угруповань чорноземів Республіки Молдова рекомендується:

1. Запроваджувати короткоротаційні польові зерно-просапні сівозміни.
2. Залишати на поверхні поля побічну продукцію вирощуваних культур у вигляді соломи, стебел кукурудзи та соняшника. Найкращими нормами рослинних решток пшениці озимої є 5–6 т/га, стебел кукурудзи – 8–9 т/га, стебел соняшника – 5–6,5 т/га з помірними нормами мінеральних добрив – N₆₀P₄₅K₄₅.
3. Вирощувати у післяжнивний період культури на сидерат.
4. В умовах приватної власності на землю в селянських і фермерських господарствах доцільно вирощувати кормові, зернофуражні та зернобобові культури в кормових сівозмінах короткої ротації. З групи кормових культур перевагу варто надавати люцерні.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Монографія

1. Фрунзе Н. И. Живой углерод чернозёмов Молдовы: [монографія]. Дюссельдорф, 2017. 245 с.

Колективна монографія

2. Стефурак В. П., Усатая А. С., Фрунзе Н. И., Катрук Э. А. Биологическая активность почв в условиях антропогенного воздействия: [коллективная монография]. Кишинёв, 1990. 318 с. *(Здобувачем опрацьовано літературні джерела, отримано й узагальнено експериментальні дані, написано монографію у співавторстві).*

Розділ монографії

3. Frunze Nina. Essential mass and structure of soil microorganisms in the black earth. David Dent. Soil as world heritage. New York – London, 2013. P. 29–35. *(Здобувачем опрацьовано літературні джерела, отримано й узагальнено експериментальні дані, написано розділ монографії).*

Статті у міжнародних наукових виданнях з імпаکت-фактором:

4. Фрунзе Н. И. Почвенная микробная биомасса как резерв биогенных элементов. Агрохимия. 2005. № 9. С. 20–25.

5. Фрунзе Н. И. Интенсивность выделения диоксида углерода почвенными микробными сообществами при внесении удобрений. Агрохимия. 2007. № 2. С. 41–47.

6. Фрунзе Н. И. Аминокислотный пул чернозема типичного Молдовы. Почвоведение. 2011. № 10. С. 1–5.

7. Фрунзе Н. И. Структурные особенности и физико-химические свойства молекул аминокислот чернозема типичного Молдовы. Агрохимия. 2011. № 11. С. 11–16.

8. Frunze N. Aminoacid pool typical chernozem of Moldova. Journal Eurasian Soil Science. 2011. Vol. 44 (10). P. 1139–1143.

9. Frunze N. Total microbial biomass and metabolic state of microorganisms in a typical chernozem of Moldova. Eurasian Soil Science. 2013. Vol. 46. № 4 (10). P. 413–416.

10. Фрунзе Н. И. Суммарная микробная биомасса чернозема типичного Молдовы и ее метаболическое состояние. Почвоведение. 2013. № 4. С. 1–5.

11. Фрунзе Н. И. Биомасса почвенных микроорганизмов в пахотных черноземах Молдовы. Сельскохозяйственная биология. 2013. № 3. С. 92–99.

12. Frunze N. I. Diversity of amino acids in a typical chernozem of Moldova. Eurasian Soil Science. 2014. Vol. 47. № 12. P. 1259–1265.

13. Фрунзе Н. И. Разнообразие аминокислот чернозема типичного Молдавии. Почвоведение. 2014. № 12. С. 1–7.

14. Фрунзе Н. И. Фракционный состав азота почвы и его запасы. Агрохимия. 2015. № 8. С. 23–31.

Статті у наукових профільних виданнях Республіки Молдова, включених до міжнародних наукометричних баз даних:

15. Mereniuc G. V., Frunze N. I., Mironică M. G., Voloscof M. M., Mohov T. V. Procesele microbiologice din circuitul azotului în condiții controlate. Buletinul Academiei de Științe a RM. 1993. № 5 (266). P. 36–38. *(Здобувачем*

oprațovano literaturni džerela, otrimano ŭ uzagal'нено експериментал'ни дані, написано статтю).

16. Zagorcea C., **Frunze N.**, Mereniuc Gh., Sașco E., Rînghilescu Gh., Budeșteanu S. Biomasa microbială în sol în funcție de sistem de fertilizare în asolament de câmp. *Lucrări științifice ale UASM*. 1999. Vol. 7. P. 28–32. *(Здобувачем опраțовано literaturni džerela, otrimano ŭ uzagal'нено експериментал'ни дані, написано статтю).*

17. Mereniuc G. V., **Frunze N. I.**, Lala M. F., Sașco E. F. Ameliorarea fertilității solului prin inițierea comunităților microbiene. *Buletinul Academiei de Științe, seria științe biologice, chimice și agricole*. 2002. № 3. P. 153–159. *(Здобувачем опраțовано literaturni džerela, otrimano ŭ uzagal'нено експериментал'ни дані, написано статтю).*

18. Frunze N. Azotul microbial – rezervă importantă a solului. *Buletinul Academiei de Științe: științe biologice, chimice și agricole*. 2004. № 4. P. 58–63.

19. **Frunze N.**, Zagorcea C. Acumularea elementelor biogene din sol în funcție de fertilizanți. *Buletinul AȘ a Moldovei: Științele vieții*. 2005. № 1 (296). P. 145–148. *(Здобувачем опраțовано literaturni džerela, otrimano ŭ uzagal'нено експериментал'ни дані, написано статтю).*

20. Frunze N. Fondul aminoacizilor liberi din solul asolamentului de culturi furajere. *Lucrările științifice ale UASM*. 2008. Vol. 20. P. 89–93.

21. Frunze N. Spectrul aminoacizilor liberi din solul cultivat cu culturi furajere. *Buletinul Academiei de Științe a Moldovei*. 2008. № 3 (306). P. 134–138.

22. Frunze N. Degradarea substanței organice din sol în relație cu elementele biogene din celulele microbiene. *Știința agricolă*. 2009. № 1. P. 20–23.

23. Frunze N. Aportul relativ al ciupercilor în masa comunităților de microorganisme edafice. *Studia Universitatis, seria științe ale naturii. Revistă științifică a Universității de Stat din Moldova*. 2010. № 1 (31). P. 22–25.

24. **Frunze N.**, Darie V., Voinu M., Coșcodan M., Lupașcu M. Compoziția structurală a comunităților de microorganisme edafice. *Știința agricolă*. 2010. № 1. P. 20–23. *(Здобувачем опраțовано literaturni džerela, otrimano ŭ uzagal'нено експериментал'ни дані, написано статтю).*

25. **Frunze N.**, Nicorici M. Caracteristica aminoacidică a cernoziomului tipic din stepa Bălțului. *Știința agricolă*. 2011. № 2. P. 13–17. *(Здобувачем опраțовано literaturni džerela, otrimano ŭ uzagal'нено експериментал'ни дані, написано статтю).*

26. Frunze N. Diversitatea metabolică a microorganismelor edafice din asolamentele furajere în relație cu activitatea lor funcțională. *Știința agricolă*. 2012. № 2. P. 3–7.

27. Frunze N. Aprecieri ecologică a conținutului aminoacidic din cernoziomul tipic al Moldovei. *Lucrări științifice ale UA. Agronomie și Ecologie*. 2013. Vol. 39. P. 180–184.

28. **Frunze N.**, Frunze A., Coșcodan M. Natura aminoacizilor din solurile antropice. *Lucrări științifice ale UA. Agronomie*. 2014. Vol. 41. P. 159–163. *(Здобувачем опраțовано literaturni džerela, otrimano ŭ uzagal'нено експериментал'ни дані, написано статтю).*

29. Frunze N. Indicii ecologici de structură și de diversitate comunitară a aminoacizilor edafici. Știința agricolă. 2014. № 2. P. 20–26.

30. Frunze N. Impactul antropic asupra formării fracției aminoacidice a azotului și a rezervelor sale. Știința agricolă. 2015. № 1. P. 42–46.

Науково-методичні рекомендації

31. Boincean B., Lupașcu M., Darii V., **Frunze N.**, Mereniuc Gh., Corcimaru S. Tehnologii alternative de cultivare a grâului de toamnă în Republica Moldova. Ghid practic. Bălți, 2013. 68 p. *(Здобувачем опрацьовано літературні джерела, отримано й узагальнено експериментальні дані, написано науково-методичні рекомендації).*

Тези наукових доповідей:

32. **Фрунзе Н. И.**, Меренюк Г. В., Сашко Е. Ф. Микробная биомасса как потенциальный источник азота в почве. Микроорганизмы в сельском хозяйстве: IV Всесоюзная научная конференция, г. Пущино, Российская Федерация, 20–24 января 1992 года: тезисы доклада. С. 205–206. *(Здобувачем опрацьовано літературні джерела, отримано й узагальнено експериментальні дані, написано тези).*

33. **Frunze N.**, Sașco E., Moscaliuc E. Funcționarea microbocenozelor solului în asolamentele furajere de scurtă rotație. Lucrările Congresului 22 al Academiei Romăno-americane de Știință și Arte. Târgoviște, România, 1997. P. 250–254. *(Здобувачем опрацьовано літературні джерела, отримано й узагальнено експериментальні дані, написано тези).*

34. Frunze N. Impactul îngrășămintelor asupra intensității de eliminare a dioxidului de carbon din sol. Diminuarea impactului hazardelor naturale și tehnogene asupra mediului și societății: Lucrările Conferinței științifice internaționale, Chișinău, 6–7 octombrie 2005. P. 187–190.

35. **Фрунзе Н. И.** Люминесцентно-микроскопическая диагностика состояния микробных клеток почвы кормового севооборота. Environmental theoretical and practical Conference dedicated to 10 years Ecology department. Dnepropetrovsc, May 12–14 2008. P. 46–48.

36. Frunze N. Starea ănațății solului cernoziomului tipic în condițiile asolamentelor de culturi furajere. Materialele Congresului igieniștilor, epidimiologilor și microbiologilor din RM. Chișinău, 23–28 octombrie, 2008. P. 104–107.

37. Frunze N. Analiza microscopică a microorganismelor edafice. Culegerea articolelor conferinței științifice cu participare internațională Cernoziomurile Moldovei – evoluția, protecția și restabilirea fertilității lor, dedicată aniversării a 60 aani de la fondarea Institutului de Pedologie, Agrochimie și Protecție a solului «N. Dimo», Chișinău, 12–13 septembrie 2013. P. 159–165.

38. **Frunze N.**, Lala M., Bolocan N., Darie V. Amino acid nitrogen of carbonated chernozem in Moldova and its reserves. Microbial Biotechnology: The 2nd International Conference, Chișinau, 2014. P. 45–50. *(Здобувачем опрацьовано літературні джерела, отримано й узагальнено експериментальні дані, написано тези).*

АНОТАЦІЯ

Фрунзе Н. І. Мікробіологічні особливості родючості чорноземів Республіки Молдова. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора сільськогосподарських наук зі спеціальності 03.00.07 «Мікробіологія». Національний університет біоресурсів і природокористування України, Київ, 2018.

У дисертації встановлено агроекологічні особливості складу, властивостей і функцій живого компонента антропогенно перетворених чорноземів Республіки Молдова – угруповань мікроорганізмів.

Вперше в Молдові проведено моніторинг мікробіологічного стану чорноземів, залучених у тривале сільськогосподарське землекористування. Встановлено закономірності формування і функціонування мікробних угруповань; продемонстровано особливості утворення біогенних властивостей на різних сукцесійно-вікових стадіях угруповань мікроорганізмів і на різних рівнях організації (біомолекула, клітина, мікробне угруповання, біоценоз).

Доведено, що мікроорганізми в агроценозах знаходяться в стресовому стані. Збереження різноманітності мікроорганізмів і гумусного стану ґрунтів можливе за тривалого застосування рослинних решток, сидератів, мінеральних та органічних добрив.

Вуглець мікробної біомаси складає 0,95–2,54 % в ґрунтах Центральної зони Республіки і 2,94–8,14 % – Північної зони, достовірно поступаючись контролю (переліг). Тренд функціонування живої речовини як у орних, так і перелогових ґрунтах – негативний. Структура мікробної біомаси на 62,78–79,45 % складається з еукаріотичної складової. Вміст метаболічно активної частини мікробного угруповання ґрунту природної екосистеми складає в середньому 29,1 %, а в орних ґрунтах – 9,8–21,8 %.

Пул амінокислот становить від 197 до 317 мг N/кг ґрунту. Утворення амінокислот має споріднену природу, але в антропогенному ґрунті синтезується на 3–7 % біомолекул більше, ніж у ґрунті цілини. Азотний пул, складаючи 0,2–0,3 %, як і вуглецевий, зменшується. Найбільша фракція валового азоту належить амінокислотам (10–31 %).

Тривала експлуатація ґрунтів значно видозмінила дихання мікроорганізмів. Спостерігається збільшення БД в порівнянні з СІД на 10–21 %. Питоме дихання (1,99–3,07 мкг С-СО₂/мг С_{мік} на годину) характеризує стан мікробних угруповань як стресовий, а його різниця з перелогом (13–54 %) вказує на ступінь стресу.

Показники «здоров'я» ґрунту свідчать, що його основні складові – органічна, мінеральна і жива речовина – зазнали значних перетворень. Забезпеченість чорнозему поживними елементами є незадовільною, фітопатогенні властивості мікроміцетів переважають над супресорними.

Ключові слова: мікробні угруповання, біорізноманіття, мікробна біомаса, дихання мікроорганізмів, фізіологічний статус, амінокислоти, вміст гумусу, чорнозем, сівозміну, «здоров'я» ґрунту.

АННОТАЦИЯ

Фрунзе Н. И. Микробиологические особенности плодородия черноземов Республики Молдова. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени доктора сельскохозяйственных наук по специальности 03.00.07 «Микробиология». Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины, Киев, 2018.

В диссертации установлены агроэкологические особенности состава, свойств и функций живого компонента антропогенно преобразованных черноземов Республики Молдова – микробных сообществ.

Впервые в Молдове проведен мониторинг микробиологического состояния черноземов, вовлеченных в длительное сельскохозяйственное землепользование, с установлением закономерностей формирования и функционирования микробных сообществ; продемонстрированы особенности образования биогенных свойств на различных сукцессионно-возрастных стадиях микробных сообществ и на разных уровнях организации (биомолекула, клетка, сообщество микроорганизмов, биоценоз).

Доказано, что микроорганизмы в агроценозах находятся в стрессовом состоянии. Сохранение микробного разнообразия и гумусного состояния почв возможно при долгосрочном применении растительных остатков, сидератов, минеральных и органических удобрений.

Углерод микробной биомассы составляет 0,95–2,54 % в почвах Центральной зоны Республики и 2,94–8,14 % – в почвах Северной зоны, достоверно уступая показателям местных залежных аналогов. Тренд функционирования живого вещества как в пахотных, так и в залежных почвах – отрицательный. Структура микробной биомассы на 62,78–79,45 % состоит из эукариотной составляющей. Содержание метаболически активной части микробного сообщества почвы естественной экосистемы составляет в среднем 29,1 %, а в пахотных аналогах – 9,8–21,8 %.

Пул аминокислот составляет от 197 до 317 мг N/кг почвы. Образование аминокислот имеет родственную природу, но в антропогенной почве синтезируется на 3–7 % биомолекул больше, чем в почве целины. Азотный пул, составляя 0,2–0,3 %, как и углеродный, убывает. Наибольшая фракция валового азота принадлежит аминокислотам (10–31 %).

Длительная эксплуатация почв значительно видоизменила дыхание микроорганизмов. Наблюдается увеличение БД в сравнении с СИД на 10–21 %. Удельное дыхание (1,99–3,07 мкг C-CO₂/ мг C_{мик} в час) характеризует состояние микробных сообществ как стрессовое, а его разница с залежью (13–54 %) указывает на степень стресса.

Показатели «здоровья» почвы выявили, что его основные составляющие – органическая, минеральная и живое вещество – претерпели значительные преобразования. Обеспеченность чернозема питательными элементами является неудовлетворительной, фитопатогенные свойства микромицетов преобладают над супрессорными.

Ключевые слова: микробные сообщества, биоразнообразие, микробная биомасса, дыхание микроорганизмов, физиологический статус, аминокислоты, содержание гумуса, чернозем, севооборот, «здоровье» почвы.

ANNOTATION

Frunze N. I. Microbiological features of fertility black soil of the Republic of Moldova. – The Manuscript.

Thesis for the degree of doctor of agricultural sciences in specialty 03.00.07 Microbiology. National University of Life and Environmental Science of Ukraine, Kyiv, 2018.

The agroecological features of the composition, properties and functions of the living component of anthropogenically transformed black soil of the Republic of Moldova – microbial communities – are established in the dissertation.

For the first time in Moldova, monitoring of the microbiological state of black soil involved in long-term agricultural land use, with the establishment of regularities in the formation and functioning of microbial communities. The peculiarities of the formation of biogenic properties on various succession-age stages of microbial communities and at different levels of the organization (biomolecule, cell, microbial community, biocenosis) have been demonstrated.

It is proved that microorganisms in agrocenosis are in a stressful state. Conservation of microbial diversity and the soil's humus state is possible with the long-term application of agricultural technology using plant residues, green manuring, mineral and organic fertilizers.

Carbon microbial biomass is 0.95–8.14 %, and is reliably inferior to local analogues. The tendency in the functioning of living matter is negative. The structure of the microbial biomass consists of a eukaryotic component (62.78–79.45 %). The content of the metabolically active part of the microbial community of soils of the natural ecosystem is on average 29.1 %, and in arable analogues – 9.8–21.8 %.

The amino acid pool is 197 to 317 mg N/kg soil. The formation of amino acids has a related nature, but in anthropogenic soil, it is synthesized by 3–7 % of biomolecules more than in soil of virgin land. Nitrogen pool, accounting for 0.2–0.3 %, like carbon, is decreasing. The largest fraction of total nitrogen belongs to amino acids (10–31 %).

Long-term exploitation of soils has significantly altered the respiration of microorganisms. On average, basal breathing increases compared to the substrate-induced respiration by 10–21 %. Specific respiration (1.99–3.07 mg C-CO₂/mg C_{mic} per hour) characterizes the state of microbial communities as stress full, and its difference with natural soil (13–54 %) indicates the degree of stress.

Soil «health» indicators revealed that its main components – organic, mineral and living matter – underwent significant transformations. The content of nutrients in black soil is unsatisfactory, the phytopathogenic properties of micromycetes predominate over suppressor ones.

Key words: microbial communities, biodiversity, microbial biomass, respiration of microorganisms, physiological status, amino acids, humus content, soil fertility, black soil, crop rotation, soil «health».