

## ОЦІНКА ЯКІСНОГО СКЛАДУ МІКРОБНИХ КОМПЛЕКСІВ ЧОРНОЗЕМУ ЦІЛИННОГО ПРИРОДНОГО ЗАПОВІДНИКА «ХОМУТОВСЬКИЙ СТЕП»

**М.В. ПАТИКА**, доктор сільськогосподарських наук, професор,  
член-кореспондент НААН, завідувач кафедри  
екобіотехнології та біорізноманіття

**О. Л. ТОНХА**, доктор сільськогосподарських наук, доцент,  
декан агробіологічного факультету

Національний університет біоресурсів і природокористування України

**В. М. СІНЧЕНКО**, доктор сільськогосподарських наук,  
член-кореспондент НААН, заступник директора з наукової роботи  
Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН

**Т. І. ПАТИКА**, доктор сільськогосподарських наук, професор  
кафедри молекулярної біології, мікробіології та біобезпеки  
Національний університет біоресурсів і природокористування України  
E-mail: npatyka@gmail.com

**Анотація.** Представлено теоретичне узагальнення та нове вирішення фундаментальної проблеми збереження біорізноманіття, мікробного пулу, органічної речовини та відтворення родючості чорноземів на основі вивчення видової структури мікробного комплексу цілинних чорноземів, біомаси і видового складу мікробних ценозів, еколого-трофічних груп мікроорганізмів, показників гумусного стану чорноземів. Розорювання цілинних чорноземів майже у 2 рази збіднює генетичні ресурси мікрофлори ґрунтів та докорінно змінює їх якісний склад. Використання цілинної рослинності призводить до зменшення у верхньому шарі ґрунту показника біогенності у 1,1–1,4 рази, кількості гетеротрофів — на 25,5–41,5%, показника мікробної трансформації ґрунтової органічної речовини — до 1,5–1,8 рази, педотрофних мікроорганізмів — 1,7 рази і збільшення гуматрозкладаючих мікроорганізмів до 4 разів за порівняння з абсолютною цілиною.

**Ключові слова:** біогенність, чорнозем, мікробне різноманіття.

### Актуальність.

Особливості формування чорноземних ґрунтів України пов'язані, в пер-

шу чергу, з унікальними природно-кліматичними умовами регіону — саме чорноземний горизонт цих ґрунтів має унікальну властивість — їх родючість,

завдяки якій ґрунти є основним засобом виробництва на території нашої країни, головним джерелом рослинних ресурсів, основою забезпечення добробуту населення. Дослідженнями Д. Г. Звягінцева, І. П. Баб'євої, Г. М. Зенової [1] доведено, що три джерела родючості, ґрунтоутворення та їх фізико-хімічних властивостей пов'язані із діяльністю мікроорганізмів: 1) мінералізація органічних решток; 2) іммобілізація до біологічного кругообігу мінеральних сполук хімічних елементів; 3) біологічна фіксація атмосферного азоту. Жива частина ґрунту, або «жива речовина» (за Вернадським В. І. [2]) є основним чинником у формуванні, еволюції та функціонуванні ґрунту. Значення ґрунтових організмів проявляється не тільки у трансформації органічної маси рослин і тварин, а також у забезпеченні рослин основними елементами живлення, таких як фосфор, калій, залізо, кальцій, магній і мікроелементи, але також у здатності впливати на повітряний режим атмосфери, склад ґрунтових вод та формування ґрунтів літосфери. Завдяки біому ґрунту у біосинтетичних процесах використовуються різні хімічні сполуки, які піддаються постійній трансформації і, в наслідок чого, в ґрунтовому шарі відбувається взаємодія біологічного кругообігу з геологічним за рахунок процесів обміну між ґрунтом, літосферою і атмосферою.

Природні біологічні системи характеризуються гомеостазом, який виражається у здатності підтримувати баланс на постійному, характерному для певного типу ґрунтів рівні за рахунок органічної речовини, ферментативної активності ґрунтових мікроорганізмів, вмісту доступних поживних форм азоту, фосфору, швидкості перетворення мінералів тощо. Саме ґрунтова

мікрофлора забезпечує кругообіг речовин і енергії та тривале існування біогеоценозу за різних умов доступності природних ресурсів. Функціонування мікробіоценозів є принципом безвідходної енергозберігаючої системи переробки органічної біомаси до формування нових органічних та органіно-мінеральних комплексів. Наявність у ґрунтових екосистемах найрізноманітніших груп мікроорганізмів, які відрізняються за біологічною та біохімічною специфічністю, обумовлюють величезне їх значення у процесах, що відбуваються у ґрунті [3]. Для природних систем характерним є постійне переважання процесів іммобілізації мінеральних речовин над мінералізацією. Тісний взаємозв'язок мінералізаційно-іммобілізаційних процесів у природних системах дає можливість забезпечувати його динамічну рівновагу. Зміна природної рослинності агро-екосистем, на відміну від природних, суттєво залежить від антропогенного фактору. Розорювання цілинних чорноземів суттєво впливає на мікробний комплекс ґрунту, відбуваються якісні і кількісні зміни структури та біорізноманіття різних еколого-трофічних груп. Стратегії розвитку екосистем відрізняються від стратегії сільськогосподарського виробництва. Внаслідок цього відбувається зниження вмісту органічної речовини. Збереження і відтворення родючості ґрунту поряд з використанням екологобезпечних технологій вирощування сільськогосподарських культур є актуальною задачею сучасності. Інтенсивне використання ґрунтів впливає на його властивості, змінюючи хімічний склад, фізико-хімічну структуру, вміст та склад гумусу. Цим зумовлено значні порушення функціонування ґрунту як природного тіла, формування його живої фази і, пере-

дусім, мікрофлори. Склад мікробного ценозу агроєкосистем і вміст у ньому як корисної, так і фітопатогенної мікрофлори залежить від ряду факторів: виду вирощуваної культурної рослини, характеру обробітку ґрунту, фізико-хімічних його властивостей [4]. Тому, важливо дослідити еколого-трофічні групи цілинних ґрунтів та їх зміни під впливом залуження, заліснення і сільськогосподарського використання. Така постановка вирішення питання підвищення продуктивності землі дає позитивну відповідь на геніальне передбачення В.В. Докучаєва, що тільки розумне співвідношення ріллі, луків, лісу, водних територій обумовлює раціональне використання землі та її максимальні репродуктивні можливості. В зв'язку з цим, дуже важливим є питання розвитку сучасного (антропогенного) ґрунтоутворення під різними фітоценозами (культурний степ, природний степ і переліг, лісокультурні насадження). Це особливо важливо тепер, коли в Україні велика кількість середньо- та сильнозмитих земель, активно зменшується вміст і запаси органічної речовини.

### **Аналіз останніх досліджень та публікацій.**

Питання поліпшення властивостей чорноземів типових і звичайних Лісостепу України під впливом антропогенного фактору та підвищення їх продуктивності набуває особливого значення на сучасному етапі інтенсифікації землеробства. У науковій літературі останнім часом з'явилося ряд публікацій, які висвітлюють зміни властивостей ґрунтів під впливом трав'янистої та деревної рослинності, в тому числі процеси їх деградації, але трактування їх неоднозначне. У цен-

трі уваги за антропогенної дії повинна бути доля чорнозему – «царя ґрунтів» [5, 6], тому що найбільш поширеними ґрунтами України є чорноземи звичайні, чорноземи типові та опідзолені, які складають 67,4% площі ріллі.

Збільшення антропогенного навантаження на чорноземи призводить до зниження чисельності, збіднення видового різноманіття та структурної організації, збільшення домінантів, погіршення показників функціонування ґрунтових мікроорганізмів і, як наслідок, деградації гумусного стану ґрунтів. Мікробіологічний стан є індикатором змін, які відбуваються в ґрунтах та показником здатності їх до самовідновлення і реабілітації. У зв'язку з цим, основою удосконалення високоефективних систем землеробства та управління ґрунтово-мікробними процесами у чорноземних ґрунтах за різного антропогенного їх використання є комплексна оцінка мікробного біому, вивчення біорізноманіття та просторово-функціональної структури мікробного комплексу.

Фундаментальні дослідження, які провели В. В. Докучаєв, 1883; М. С. Гіляров, 1985-1996; Є. М. Мішустин, 1972-1987; Д. Г. Звягінцев 1986-1999; Г. В. Добровольський, 1996-2000; К. З. Теппер, 1976, Д. І. Нікітін, 1999; Е. І. Андреюк 1978-1981; Г. О. Іутинська, 1986-2006; В. Т. Емцев, 2001; М. В. Патики, 2003-2018 та інші, заклали основу для сучасного уявлення про живу речовину ґрунту, її природу і властивості. Ці роботи продовжуються і в теперішній час, дозволяючи стверджувати, що склад природних ценозів різних ґрунтів завжди специфічний і змінюється досить прогнозовано за різного використання і агротехнологій. Разом з тим, недостатньо вивчене питання ґрунтоутворення з

урахуванням мікробної трансформації органічних речовин в процесі різного використання ґрунтів, закономірності і зв'язки між структурою мікробних угруповань та кількісними, якісними показниками гумусового стану, формування метагеному та філотипової структури прокаріотних комплексів чорноземів природних ценозів і сільськогосподарського використання. Системне і комплексне вивчення мікробної трансформації органічної речовини ґрунту складає суть наших досліджень і дозволяє розкрити важливу наукову проблему відновлення біологічної активності та гумусного стану чорноземів на основі поглибленого дослідження і розробки заходів з підтримання мікробного пулу, який забезпечує гомеостаз і відновлення родючості ґрунту.

*Мета дослідження* – дослідити біогенність та різноманіття еколого-трофічних груп мікроорганізмів цілинного чорнозему на прикладі природного заповідника «Хомутовська цілина» (зона Степу).

### **Матеріали і методи дослідження.**

Для комплексних досліджень біогенності мікробного комплексу ґрунтів різного використання було обрано чорноземи звичайні важкосуглинкові на лесовидних суглинках Українського природного заповідника «Хомутовський степ», схема і об'єкти досліджень наведено на рисунку 1.

Зразки чорнозему, які досліджувались в лабораторних умовах, відбирались у межах гумусового горизонту або по всьому профілю усіх досліджуваних ґрунтів. Теоретичною основою відбору зразків для аналізу стало узагальнення літературних даних і результати власних спостережень, які переконливо свідчать про те, що діагностичні ознаки змін властивостей чорноземів будуть виявлятися, перш за все і головним чином, у межах верхнього біологічно активного шару ґрунтів.

Територія заповідника «Хомутовський степ» входить в Придонецький ґрунтовий район, який залягає біля підніжжя Донецького кряжу в межах Волновахсько-Ждановського агроґрунтового району Новоазовського підрайону.

Для досліджень були відібрані зразки ґрунтів на абсолютно цілинній ділянці заповідного степу (абсолютна цілина), на періодично (1 раз на 2 роки) кошеній ділянці цілинного степу (кошена цілина), а також на ділянках поля №3 польової сівозміни сільськогосподарського підприємства «Маяк», Новоазовського району, Донецької області. За сім років у ґрунт ділянки поля №3 внесено в середньому на рік 40,6 кг д. р. азотних, 11,0 кг д. р. фосфорних, 3,8 т гною на 1 га сівозмінної площі. Насиченість сівозміни просапними культурами складає 25 %, багаторічними травами — 25 %. Досліджувані чорноземи звичайні вилугувані важкосуглинкові

<b>Чорноземи звичайні важкосуглинкові Український природний заповідник «Хомутовська цілина»</b>		
Природний ценоз - абсолютна цілина	С.-г. використання, розорювання	Кошена цілина -Рілля
<b>Рис. 1. Блок-схема дослідних об'єктів</b>		

**Грубизна генетичних горизонтів чорнозему звичайного  
важкосуглинкового на лесовидному суглинку в залежності від варіантів  
його використання**

Генетичний горизонт	Абсолютна цілина	Кошена цілина	Рілля з 1930 року
Hd	3	-	-
H	38	43	36
Нрк	24	18	27
Phk	13	12	12

на лесовидних суглинках Хомутовського степу різних варіантів використання є ґрунтами одного і того ж генезису і мають схожі морфолого-генетичні характеристики (табл. 1). Варіант «абсолютна цілина» має шар дернини на відміну кошеної цілини і ріллі, що продукує більшу біомасу рослинних решток і в подальшому вплине на гумусонакопичення.

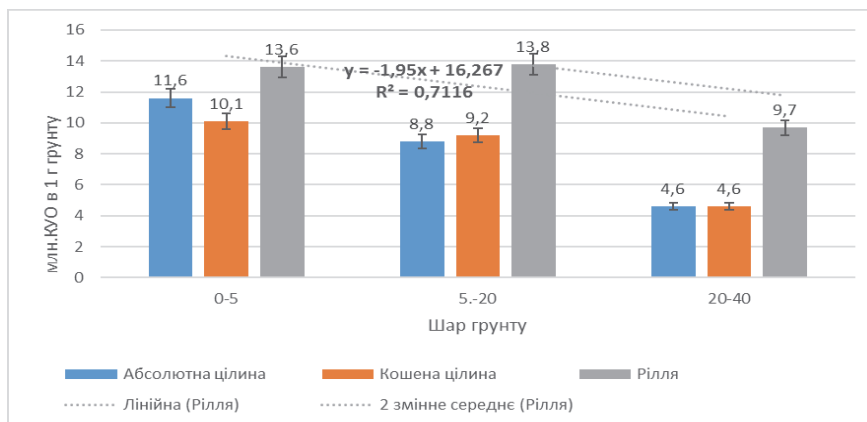
Чисельність фізіологічних груп мікроорганізмів, що використовують різні форми азоту, визначали методом посіву ґрунтових суспензій на відповідні елективні поживні середовища [7]. Коефіцієнти мінералізації - імобілізації азоту визначали за співвідношенням кількості мікроорганізмів, що засвоюють мінеральний і органічний азот; педотрофності — за співвідношенням чисельності мікроорганізмів на поживних середовищах ГрА та МПА [8]. Статистичну обробку отриманих результатів проводили з використанням пакету MS Excel 2017.

**Результати дослідження  
та їх обговорення.**

Вивчення кількості мікроорганізмів у чорноземах звичайних Хомутовського степу (рис. 2) показало, що найбільша їх кількість виявлена у ріллі, як у верхньому, так і у нижньому шарах ґрунту. Аналізуючи досліджувані шари ґрунту за чисель-

ністю мікроорганізмів в усіх фіто – і агроценозах необхідно зазначити, що найвищі показники мали верхні шари (0 – 5 см), найнижчі відмічалися в 20 – 40 см. Причому, якщо на варіантах абсолютна і кошена цілина отримали найменші показники біогенності в прошарку 20 – 40 см, то на варіанті рілля значення були у 2,4 раза більшими порівняно із цілинними. Це пов'язано із доступом повітря за обробітку ґрунту в більш глибокі шари із збереженням в них вологи. Так, нашими дослідженнями показано, що значення польової вологи в найпошухливіший період року за сівозміну свідчить про те, що мінімалізація обробітку ґрунту до 5-12 см створює найбільш оптимальні умови для підтримки активного стану життєдіяльності ґрунтової мікрофлори [9]. Завдяки оптимізації режиму зволоження період біологічної активності (ПБА) у ґрунтовій товщі чорнозему в умовах мінімального обробітку продовжується на 20-25 днів у порівнянні з систематичним виконанням оранки. У зазначений період ґрунтова волога не втрачає рухомості і знаходиться в середній і верхній межі зволоженості у легкорухомому стані.

Особливої уваги заслуговує варіант цілинного степу, який скошується. Дані досліджень показують, що у ґрунті цієї ділянки чисельність мікроорганізмів була на рівні абсолют-



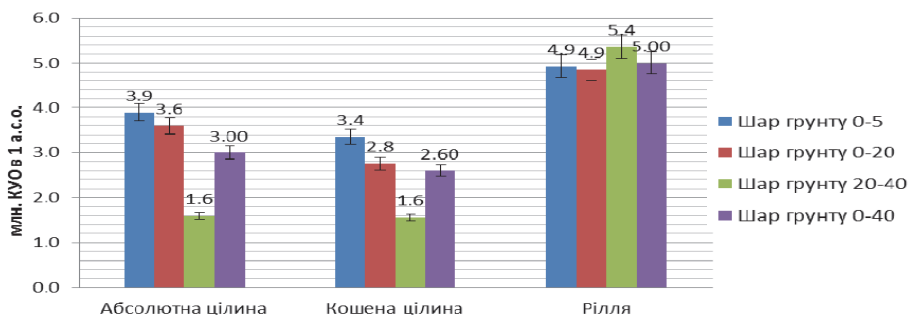
**Рис. 2. Біогенність чорноземів звичайних важкосуглинкових Хомутовського степу під різними фіто – і агроценозами**

ної цілини. Це, як відмічалось вище, ймовірно викликано зміною водно – повітряного і теплового режимів ґрунту після введення цілини під сінокіс. Стає зрозумілим, чому незважаючи на збільшення надходження в ґрунт цілини, яка скошується, рослинних решток за рахунок більшого розвитку кореневої системи, тут не відбувається збільшення вмісту гумусу.

Ступінь збагаченості показниками мікробної біогенності чорноземів звичайних Хомутовської цілини (зони Степу) у шарі 0 – 40 см був до п'яти разів меншим порівняно із чорноземами типовими (ґрунтово – кліматична

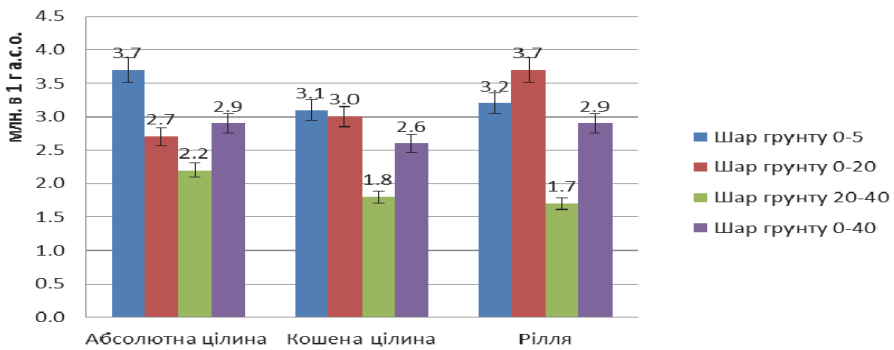
зона Лісостепу) і характеризувався як дуже бідний на усіх варіантах дослідження. У чорноземах звичайних Хомутовського степу найбільші значення виявлені у ріллі порівняно із абсолютною і кошеною цілиною як у верхньому, так і у нижньому шарах ґрунту, що пов'язано із доступом повітря за обробітку ґрунту в більш глибокі шари і збереженням в них вологи.

Розорювання цілинних земель і додаткове надходження кисню призводить до активізації біогенності, а без достатньої кількості органіки у вигляді рослинних решток і добрив – поживи і середовища для мікроорганізмів.



**Рис. 3. Кількість мікроорганізмів, які розкладають органічні форми азоту в чорноземі звичайному природного заповідника «Хомутовська цілина»**





**Рис. 4. Кількість мікроорганізмів, що асимілюють мінеральні форми азоту у чорноземі звичайному природного заповідника «Хомутовська цілина» (КАА)**

нізмів – розкладу ґрунтового гумусу. Розорювання цілинних чорноземів за результатами багатьох досліджень призводить до зміни кількості амоніфікуючих мікроорганізмів і тих, що асимілюють мінеральні форми азоту.

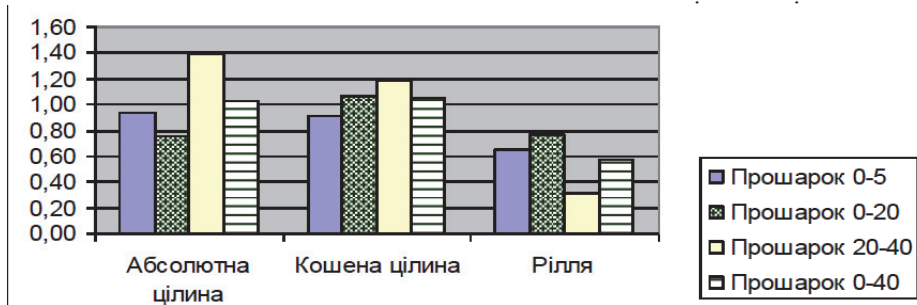
Встановлено, що у чорноземах звичайних природного заповідника «Хомутовський степ» більше гетеротрофів, які споживають органічні сполуки азоту і мікроорганізмів, які асимілюють мінеральні форми азоту у ґрунтах ріллі у порівнянні із абсолютною цілиною. Кількість амоніфікаторів та мікроорганізмів, які використовують мінеральні форми азоту, залежала від фітоценозу і змінювалась з глибиною. Ступінь збагачення чорнозему звичайного за кількістю амоніфікаторів природного заповідника «Хомутовська цілина» під різними фітоценозами і шарами дослідження характеризувався як середній, за виключенням шару 20 – 40 см, варіантів абсолютної і кошеної цілини – бідний, рілля 20 – 40 см – багатий (рис. 3).

На варіантах абсолютна і кошена цілина чорнозему звичайного отримано в усіх шарах меншу кількість вищезазначених мікроорганізмів на 23 – 28% порівняно з ріллею. Це

пов'язано із доступом повітря за обробітку ґрунту в більш глибокі шари і збереженням в них вологи. Кількість мікроорганізмів, які використовують мінеральні форми азоту, найбільша на варіанті ріллі – до 3,5 млн. в 1 г а. с. г. у 5 – 20 – сантиметровому шарі (рис. 4), що свідчить про інтенсивність мінералізації органічних речовин. У кореневмісному шарі 0 – 5 см варіанту абсолютної цілини також отримані високі значення мікроорганізмів, що пов'язано із значною біомасою рослинних решток, їх високою зольністю і внаслідок цього більшою мінералізаційною здатністю досліджуваного шару чорнозему звичайного.

Коефіцієнт мінералізації – імобілізації ( $K_{m-i}$ ) – показник мінералізації органічної речовини і чим він більший, тим інтенсивніше проходять ці процеси. Оптимальне значення вважається до одиниці. У чорноземі звичайному на ріллі отримано його значення на рівні 0,31-0,76, що свідчить про переважання синтезу органічної речовини над деструкцією (рис. 5).

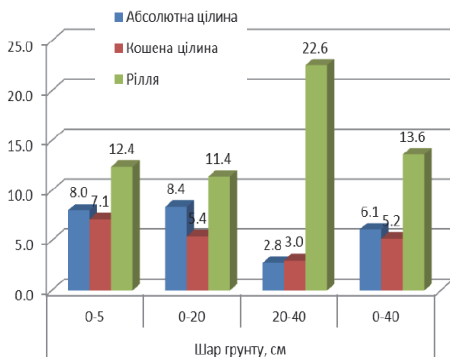
Але у агроценозі отримано найменші значення даного коефіцієнту, що особливо проявилось у шарі 20 – 40 см (0,3). Під степовою рослин-



**Рис. 5. Коефіцієнт мінералізації – іммобілізації у чорноземі звичайному природного заповідника «Хомутовська цілина»**

ністю і кошеною цілиною в шарі 0 – 40 см отримано значення коефіцієнта 1,01 і 1,03, що вказує на оптимізацію процесів мінералізації – іммобілізації у чорноземі звичайному і забезпечення рослин елементами живлення для створення високої продуктивності.

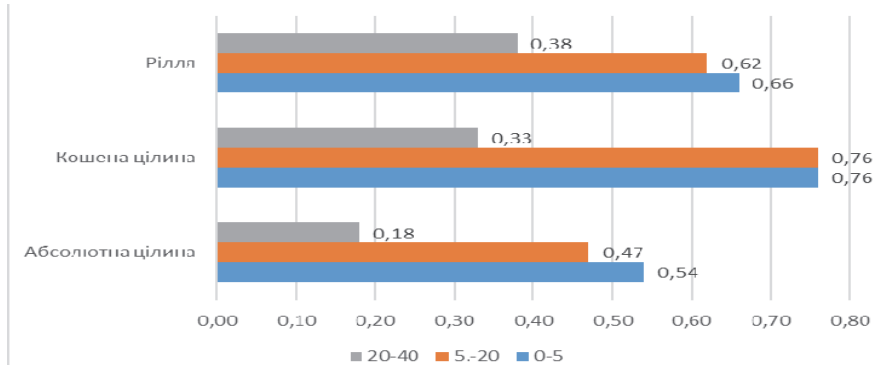
Географічна зональність і посушливість клімату в умовах Степу відображаються на показнику мікробної трансформації органічної речовини природного заповідника «Хомутовська цілина» на чорноземі звичайному в усіх шарах ґрунту наступним чином: найвищі показники отримано на варіанті



**Рис. 6. Показник мікробної трансформації ґрунтової органічної речовини за різного використання чорноземів в умовах природного заповідника «Хомутовська цілина»**

За ступенем розвитку окремих груп мікроорганізмів є можливість встановити, на якій стадії мінералізації знаходяться органічні рештки в ґрунті. Розкладення органічних решток в ґрунті проходить під дією певних груп мікроорганізмів, постійно змінюючи один одного у перебігу органіки. На початкових стадіях мінералізації відбувається інтенсивний розвиток сапрофітної мікрофлори, в тому числі і пліснявих грибів, які використовують найбільш доступні органічні речовини. Далі з'являються спорові бактерії, які використовують більш складні зв'язки. Актиноміцети розвиваються на кінцевій стадії гуміфікації, використовуючи для своєї життєдіяльності найбільш стійкі компоненти рослинних решток. Тому за ступенем розвитку визначених груп мікроорганізмів, на думку Е. М. Мишустина, можна орієнтовно встановити, на якому етапі мінералізації знаходяться органічні рештки ґрунту. За даними К. І. Андріюк в розкладі гумусу беруть участь зимогенні й автохтонні мікроорганізми. За участі обох груп мікроорганізмів збільшується кількість вуглецю в складі гумусу, відбувається розширення в ньому співвідношень C : N та C : H. Але представники зимогенної групи беруть участь у мінералізації лише периферичних





**Рис. 7. Показник оліготрофності у чорноземі звичайному в умовах природного заповіднику «Хомутовський степ»**

ланцюгів гумусових молекул. Глибока деградація здійснюється представниками автохтонної мікрофлори із родів *Nocardia*, *Artrobacter*, *Bactoderma* тощо [1, 5, 9]. Отже, щоб пізнати сутність родючості ґрунтів або встановити закономірності їх формування і генезису, слід вивчати процеси, що протікають в ґрунті, склад і динаміку мікробіоценозів і особливо тих, які пов'язані з гуміфікацією та розкладом гумусових речовин та методами їх регулювання.

На чорноземах звичайних найбільші значення (рис. 7) отримані на кошеній цілині ( $K_{ol} = 0,33-0,76$ ), що вказує на напруженість у забезпеченості рослин азотом, найменші — на абсолютній цілині ( $K_{ol} = 0,11-0,54$ ).

Результати досліджень (табл. 2) показують, що розорювання чорноземів призводить до зниження вмісту загального гумусу. За 80 років сільськогосподарського використання ґрунтів уміст загального гумусу в чорноземі ріллі знижуються на 32 % по відношенню до абсолютної цілини і становить 4,75 % у 0 – 40 см шарі.

Найвищим вмістом загального гумусу (7,33 %) характеризувався варіант абсолютної цілини (0 – 5 см шар ґрунту), у якому з глибиною вміст за-

гального гумусу знижується і у шарі 20–40 см складає всього 5,39 %, а у середньому у прошарку 0 – 40 см – 6,27 %. Відбувається суттєва диференціація вмісту гумусу за прошарками, що можна пояснити розміщенням основної частини кореневої системи рослин в прошарку 0 – 20 см і залишенням на поверхні ґрунту рослинних решток. Продукти їх розкладу, в тому числі і новоутворені гумусові речовини, надходять у верхню частину ґрунту, збагачуючи її на гумус.

У верхньому 5 – 20 см горизонті кількість педотрофних мікроорганізмів була вища за 20 – 40 см, різниця в чисельності гуматрозкладаючих мікроорганізмів між шарами ґрунту була неістотна. Індекс педотрофності, що характеризує ступінь освоєння органічної речовини ґрунту мікрофлорою, найбільш високий на варіанті абсолютної і кошеної цілини у шарі 20 – 40 см.

Визначення вмісту загального гумусу в чорноземах звичайних Хомутовського степу показує (див. табл. 2), що в умовах степової зони у верхньому 0 – 40 см шарі викошування рослинності на цілині викликає більш суттєві зміни, ніж спостерігались в чорноземах типових (напри-

**Кількість педотрофних і гуматрозкладаючих мікроорганізмів,  
загального гумусу під різними фітоценозами чорнозему звичайного  
природного заповіднику «Хомутовська цілина»**

Варіант використання	Шар ґрунту, см	Гумат-розкладаючі мікроорганізми, млн. КУО/г	Педотрофні мікроорганізми, млн. КУО/г	Індекс педотрофності	Вміст загального гумусу, %
Абсолютна цілина	0–5	0,72±0,12	9,60±0,15	2,46	7,33±0,11
	5–20	0,60±0,09	8,30±0,18	2,31	6,09±0,08
	20–40	0,53±0,09	7,12±0,23	4,45	5,39±0,09
	0–40	0,62±0,10	8,34±0,19	2,75	6,27±0,09
Кошена цілина	0–5	2,02±0,16	7,40±0,10	2,20	6,62±0,12
	5–20	1,48±0,11	6,61±0,18	2,39	5,53±0,11
	20–40	0,68±0,11	6,68±0,16	4,28	4,59±0,10
	0–40	1,39±0,13	6,90±0,15	2,70	5,58±0,11
Рілля	0–5	2,60±0,25	9,90±0,15	2,01	5,29±0,08
	5–20	3,11±0,18	9,50±0,13	1,96	4,97±0,08
	20–40	2,11±0,17	7,11±0,15	1,32	3,98±0,09
	0–40	2,61±0,20	8,50±0,14	1,68	4,75±0,09

клад Лісостепової зони). Чорноземи звичайні важкосуглинкові кошеної цілини характеризуються дещо нижчим вмістом загального гумусу у верхньому шарі ґрунту (6,62 %), кількість педотрофних мікроорганізмів на 29 % менша за варіант абсолютної цілини, що пов'язано із надходженням до ґрунту меншої кількості рослинних решток.

Чисельність гуматрозкладаючих мікроорганізмів на цьому варіанті навпаки у 2,9 раза більша за варіант абсолютної цілини. З глибиною (20 – 40 см) уміст гумусу складає 4,59 %, що на 17 % менше, кількість педотрофних мікроорганізмів на 6,5 % менша, кількість гуматрозкладаючих мікроорганізмів більша на 28 % порівняно із аналогічним шаром ґрунту абсолютної цілини. В середньому, в шарі 0 – 40 см вміст загального гумусу менше на 12 %, кількість пе-

дотрофних мікроорганізмів — 21 %, а гуматрозкладаючих більша в 2,24 раза, відповідно до аналогічного варіанта абсолютної цілини. Індекс педотрофності між варіантами кошеної і абсолютної цілини не відрізнявся.

Варіант рілля по відношенню до цілинних ґрунтів характеризується значно меншим вмістом гумусу в усіх шарах ґрунту. Вміст педотрофних мікроорганізмів, які розкладають рухомі гумусові речовини, суттєво не відрізнявся за варіант абсолютної цілини в шарах 0 – 5 і 5 – 20 см (3,1 – 14,2 %) і на 34–43 % більше за варіант кошеної цілини. Така ж тенденція за кількістю педотрофів спостерігалася в шарі 0–40 см: несуттєва різниця між варіантом абсолютної цілини і на 23 % більше порівняно із кошеною цілиною. Кількість мікроорганізмів, які розкладають ядерну частину гумусових речовин – гуматрозкладаючих на

варіанті ріллі в прошарку 0 – 40 см більша порівняно з абсолютною в 4 рази і 1,8 раза з кошеною цілиною. З цього можна зробити висновок, що до ґрунту надходить недостатня кількість рослинних решток і енергетичного матеріалу, що є джерелом живлення для мікроорганізмів.

Усі варіанти дослідження можливо розмістити в наступний ряд із зменшенням кількості гуматрозкладаючих мікроорганізмів в прошарку 0 – 40 см: рілля–кошена цілина–абсолютна цілина.

Індекс педотрофності, що характеризує ступінь освоєння органічної речовини ґрунту мікрофлорою, найбільш високий на варіанті абсолютної і кошеної цілини у шарі 20 – 40 см. Усі варіанти дослідження можливо розмістити в наступний ряд із зменшенням кількості гуматрозкладаючих мікроорганізмів в прошарку 0 – 40 см: рілля–кошена цілина–абсолютна цілина. Індекс педотрофності (відношення кількості педотрофних мікроорганізмів до розкладаючих органічні форми азоту) найменший на варіанті ріллі, значення цього показника не відрізнялося між абсолютною і кошеною цілинами. Між кількістю гуматрозкладаючих мікроорганізмів і індексом педотрофності коефіцієнт кореляції становив  $r = -0,685 \pm 0,09$ .

### **Висновки і перспективи.**

За розорювання цілинних чорноземів Степу України виникають зміни біомаси рослинності, кількості, складу еколого–трофічних груп мікроорганізмів і в кінцевому результаті до зниження вмісту загального гумусу. Викошування цілинної рослинності зменшує вміст загального гумусу як у верхньому шарі, так і в

більш глибоких шарах ґрунту порівняно з цілиною. До ґрунту у варіанті ріллі надходить недостатня кількість рослинних решток і енергетичного матеріалу, що є джерелом живлення для мікроорганізмів і призводить до збільшення кількості гуматрозкладаючих мікроорганізмів порівняно з абсолютною в 4 рази і 1,8 раза — з кошеною цілиною (прошарок 0 – 40 см). Коефіцієнт кореляції між кількістю гуматрозкладаючих мікроорганізмів і індексом педотрофності становив  $r = -0,685 \pm 0,09$ .

Аналіз чисельності мікроорганізмів, які беруть участь у розкладенні гумусових речовин дає можливість зробити наступні висновки, що розорювання цілинних земель, викошування рослинності у зоні Степу України призводить до руйнування як периферичної, так і ядерної частини гумусових речовин. Різне використання чорноземів звичайних «Хомутовської цілини» призводить до змін спрямованості мікробної трансформації органічної речовини. За розорювання цілинних земель збільшується кількість гуматрозкладаючих мікроорганізмів в 4 рази («Хомутовська цілина») у порівнянні з абсолютною цілиною. У ґрунт ріллі надходить недостатня кількість рослинних залишків і енергетичного матеріалу, що приводить до мінералізації гумусу. Викошування цілинної рослинності зменшує на 12 – 16 % вміст загального гумусу, педотрофних мікроорганізмів — на 21–62 % і підвищує в 2,24 раза («Хомутовська цілина») кількість гуматрозкладаючих у порівнянні з абсолютною цілиною.

Проблема відтворення органічної речовини чорноземів за інтенсивного їх використання є найбільш актуальною в сучасних умовах ведення землеробства. Суттєвим показником

і критерієм оцінки ефективності технологічних заходів є вміст у ґрунті органічних речовин, кількісний і видовий склад мікроорганізмів. Ґрунтові мікроорганізми відіграють важливу роль на всіх етапах гумусоутворення, починаючи з розкладання свіжого рослинного матеріалу і закінчуючи новоутворенням простих гумусових сполук, їх поступовим ускладненням, а також в процесах деструкції або фрагментарного оновлення гумусу в ґрунті. Мікробні метаболіти можуть бути структурними «блоками» в процесах часткової фрагментарної добудови й оновлення вже існуючих гумусових сполук.

Біологічна активність ґрунту визначає його родючість, екологічний та фітосанітарний стан. Мікроорганізми можуть проявляти себе як індикатори стану ґрунтів. Отже, визначення біологічної активності ґрунту – важливий показник у процесі ведення моніторингу інтенсивності розкладання органічної речовини, що дає змогу оцінити дію органічних і мінеральних добрив та ефективність впровадження нових технологій вирощування. Крім того, визначення цього показника може бути використано для оптимізації поживного режиму ґрунту та збереження його родючості.

Набуває актуальності вивчення еколого-трофічних груп мікроорганізмів на заповідних територіях. На даний час більша частина територій степів знаходиться під впливом антропогенних факторів, а саме у сфері активного землекористування (вирощування культурних рослин, випасання худоби, сіножаті тощо). Внаслідок чого відбуваються втрати органічної речовини і природного біорізноманіття. Тому заповідні території із абсолютно цілиніми земля-

ми та ділянки у межах сільськогосподарських земель, можуть слугувати чистим екологічним контролем для природних і окультурених ґрунтів у відповідних ґрунтово-кліматичних зонах і є дуже важливими з точки зору теорії та практики збереження біорізноманіття, відтворення та управління природними ресурсами.

## References

1. Zvyagincev, D. G., Babeva, I. P., Zenova, G. M. (2005). *Biologiya pochvy* [Biology of the soil]. Moscow: Moscow State University, 445.
2. Vernadsky, V. I. (1978). *Zhivoye veshchestvo* [Living matter]. Moscow: Science, 358.
3. Gadzalo, Y. M., Patyka, M. V., Zarishnyak, A. S. (2015). *Agrobiologiya rizosfery rasteniy* [Agrobiology of the rhizosphere of plants]: monography: Kyiv: Agricultural sciences, 368.
4. Moskalevska, Y. P., Patyka, M. V. (2014). Structural-functional formation of the genome of the prokaryote of the rhizosphere of sugar beet in a typical black soil. In: Collection of scientific works of NSC "Institute of Agriculture of NAAS", 1-2nd ed., 69-76.
5. Dobrovolsky, G. V., Nikitin, E. D. (2000). *Sokhraneniye pochv kak nezamenimogo komponenta biosfery: funktsional'no-ekologicheskiiy podkhod* [Soil conservation as an indispensable component of the biosphere: a functional-ecological approach]. Moscow: Science, 185.
6. *Ahrogruntove rayonuvannya Ukrainy* [Agrarian zoning of Ukraine]. (1989). *Agrochemistry and soil science*. Kharkiv, 12, 200.
7. Zvyagintsev, D. G. (1991). *Metody pochvennoy mikrobiologii i biokhimii* [Methods of soil microbiology and biochemistry]. Moscow: Moscow State University, 330.
8. Netrusov, A. I., Egorova, M. A., Zakharchuk, L. M. (2005). *Praktikum po mikrobiologii* [Workshop on Microbiology]. Moscow: Publishing Center Academy, 608.

9. Tonkha, O. L. (2016). Vidnovlennya bi-  
olohichnoyi aktyvnosti i humusnoho sta-  
nu chornozemiv tipovykh i zvychnykh  
Ukrayiny [Restoration of biological activity  
and the humus state of chernozem typical  
and ordinary Ukraine]: author's abstract.  
dis ... Dr. agr. sciences.: / O. L. Tonkha.  
NULES Ukraine. Kyiv, 45.

---

**N. V. Patyka, O. L. Tonkha, V. N. Sinchenko, T. I. Patyka (2019).  
Evaluation of the quality composition of microbial complexes of chernozem  
calcinated natural reserve "Khomutovskaya steppe".**

BIOLOGICAL SYSTEMS: THEORY AND INNOVATION, 10(2): 25-37.

<http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Biologiya/editor/submission/12602>.

<https://doi.org/10.31548/biologiya2019.02.025>.

**Abstract.** A theoretical generalization and a new solution of the fundamental problem of biodiversity conservation, microbial pool, organic matter and fertility restoration of chernozem are presented based on the study of the species structure of the virgin chernozem microbial complex, biomass and species composition of microbial cenoses, ecological-trophic groups of microorganisms, indicators of the humus state of black soil. Plowing virgin black soil almost 2 times impoverishes the genetic resources of soil microflora and radically changes their qualitative composition. The mowing of virgin vegetation leads to a decrease in the biogenicity index of 1.1–1.4 times in the top soil layer, the number of heterotrophs per MPA by 25.5–41.5 %, and the microbial transformation index of the soil organic matter to 1.5–1.8 times, pedotrophic microorganisms — 1.7 times and an increase in humate-decomposing microorganisms up to 4 times when compared with absolute virgin.

**Keywords:** biogenicity, chernozem, microbial diversity.

---

---

**Н. В. Патыка, О. Л. Тонха, В. Н. Синченко, Т. И. Патыка (2019). Оценка  
качественного состава микробных комплексов чернозема целинного  
природного заповедника «Хомутовская степь».**

BIOLOGICAL SYSTEMS: THEORY AND INNOVATION, 10(2): 25-37.

<http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Biologiya/editor/submission/12602>.

<https://doi.org/10.31548/biologiya2019.02.025>.

**Аннотация.** Представлено теоретическое обобщение и новое решение фундаментальной проблемы сохранения биоразнообразия, микробного пула, органического вещества и восстановления плодородия черноземов на основе изучения видовой структуры микробного комплекса целинных черноземов, биомассы и видового состава микробных ценозов, эколого-трофических групп микроорганизмов, показателей гумусового состояния черноземов. Распашка целинных черноземов почти в 2 раза обедняет генетические ресурсы микрофлоры почвы и в корне меняет их качественный состав. Выкашивание целинной растительности приводит к уменьшению в верхнем слое почвы показателя биогенности 1,1–1,4 раза, количеству гетеротрофов на МПА на 25,5–41,5 %, показателя микробной трансформации почвенного органического вещества до 1,5–1,8 раза, педотрофных микроорганизмов – 1,7 раза и увеличению гуматразлагающих микроорганизмов до 4 раз при сравнении с абсолютной целиной.

**Ключевые слова:** биогенность, чернозем, микробное разнообразие.

---

## КОНТРОЛЬ РІВНЯ ГЕНОТОКСИЧНОСТІ МІКОТОКСИНІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ОПТО-ВОЛОКОНОГО БІОСЕНСОРУ SOS-ТИПУ

**М. Ф. СТАРОДУБ**, доктор біологічних наук, професор кафедри  
молекулярної біології, мікробіології та біобезпеки,

**М. В. САВЧУК**, кандидат сільськогосподарських наук,  
науковий співробітник,

**М. І. ФЕДЕЛЕШ-ГЛАДИНЕЦЬ**, кандидат сільськогосподарських наук,  
доцент кафедри молекулярної біології, мікробіології та біобезпеки

**О. П. ТАРАН**, кандидат біологічних наук, старший викладач кафедри  
молекулярної біології, мікробіології та біобезпеки

Національний університет біоресурсів і природокористування України

**Л. Н. ШУЛЯК**, старший науковий співробітник

Центр лабораторної медицини "Альфа Лабсервіс", м. Харків

E-mail: okstar@ukr.net, nfstarodub@gmail.com

**Анотація.** Мікотоксини є дуже небезпечними біогенними речовинами, і, як правило, вони характеризуються як такі, що мають загальну токсичність. Надається інформація про їх здатність до генотоксичності. Основною метою даної роботи була розробка методу експресного контролю рівня генотоксичності деяких мікотоксинів із застосуванням запропонованого опто-волоконного SOS-біосенсора. Визначено головну умову для такого експрес-аналізу та показано, що мікотоксини Т2, патулін, афлатоксин В1, зеараленон і охратоксин здатні впливати на генетичний апарат, а саме, в результаті їхньої активності підвищується експресія lux-оперона референтних клітин бактерій. Виявлено, що найвища генотоксичність була зареєстрована у випадку Т2 мікотоксину, афлатоксину В2 та патуліну. Показано, що різні мікотоксини характеризувалися різним рівнем генотоксичності.

**Ключові слова:** опто-волоконний SOS біосенсор, мікотоксини, генотоксичність, експрес-аналіз



### **Актуальність.**

Мікотоксини включають понад 400 низькомолекулярних сполук, що продукуються близько 200 видами мікроміцетів, але, ймовірно, кількість цих токсинів та їх виробників зростатиме у разі подальших досліджень [1-3]. Перші дослідження виявили, що різні види мікроміцетів здатні виробляти афлатоксини, патулін, охратоксин, фумонізін та трихотеціт. Мікотоксини – це група низькомолекулярних неімуногенних сполук, більшість з яких характеризуються відносною термічною стійкістю. Сьогодні мікотоксинам приділяється особлива увага, оскільки вони дуже небезпечні і токсичні та контамінують зерно і продукти харчування [2, 4, 5]. Різні види мікотоксинів безпосередньо впливають на органи та тканини: печінку, нирки, слизову оболонку стравоходу та кишечник, а також головний мозок та тканини статевих органів. Відповідно, мікотоксини включені до переліку речовин, вміст яких підлягає регулюванню в їжі, кормах та сировині. У літературі є досить велика кількість інформації про розподіл мікотоксинів серед об'єктів навколишнього середовища, проте, їх обмеженість обумовлена, насамперед, відсутністю достатньо простих та надійних методів виявлення цих речовин. Розробка таких методів лежить в основі одного з найважливіших напрямків запобігання небажаному впливу навколишнього середовища на здоров'я людини. Використання високочутливих, простих та надійних методів аналізу мікотоксинів дозволить контролювати їх рівень на всіх етапах виробництва та переробки продуктів харчування, від заготівлі до кінцевого продукту, який надходить у людський організм. Сьогодні в провідних

країнах Європи, Азії і Сполучених Штатах прийняті нормативні документи щодо регулювання допустимих концентрацій мікотоксинів у кормах тварин та продуктах харчування людини. В Україні також прийнята низка відповідних норм. Так, відповідно до Держстандарту України (ДСТУ 3768-98) максимальний допустимий вміст токсинів Т-2 у пшениці для харчових, технічних цілей, експорту та кормів встановлено на рівні 0,1 та 0,2 мг / кг зерна, відповідно. [3].

Враховуючи загальну токсичність мікотоксинів для живих організмів, було запропоновано різні методи, як для їх контролю скринінгу в різноманітних об'єктах навколишнього середовища та для перевірки попередніх отриманих результатів [5-7]. Але існує кілька різних аспектів дії хімічних речовин на живі організми. Вони можуть мати деяку загальну токсичність при відповідній концентрації (як правило, при високих рівнях вмісту та тривалих експозиціях) та/або генотоксичність, тобто здатність пошкоджувати генетичний апарат організмів. У попередніх наших роботах [8-10] показано розробку експрес-методу контролю генотоксичності деяких хімічних речовин і проаналізовано його ефективність у цьому аспекті.

**Метою** даного дослідження є узагальнення експериментальних результатів визначення рівня генотоксичності деяких мікотоксинів, щоб продемонструвати їх активність у впливі на процес мутацій в геномі.

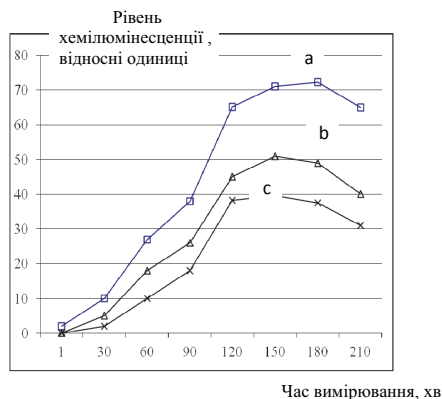
### **Матеріали та методи дослідження.**

Для дослідження було обрано декілька дуже поширених мікотоксинів, а саме Т2 мікотоксини (Т2), зерале-

нони (Zon), охратоксини (Ochra), патулін (Pat) та афлатоксини (AflB2). Відповідно до нашого попереднього дослідження [11], підготовку зразка за мікотоксинового аналізу за допомогою імунного біосенсора проводили з використанням ацетонітрилу у якості розчинника. Дослідження проводили з використанням оптико-волоконного SOS-біосенсора із застосуванням мембрани для контакту аналітичних елементів з поверхнею перетворювача [9]. Всі хімічні реактиви були отримані з Sigma-Aldrich (США). Оптико-волоконний біосенсор на основі клітин поєднував систему SOS, яка реагує на ДНК-агенти, як рецепторний компонент і біологічну люмінесцентну систему, як швидкий репортер [5]. Цей пристрій працює в диференційному режимі, який дозволяє реєструвати порівняльний рівень фотолюмінесценції між присутністю аналізованої речовини в вимірювальній комірці та фізіологічним розчином. Окремі підходи підготовки зразків описані нижче при викладі результатів. На рисунках на осі ординат позначено відносні одиниці рівнів фотолюмінесценції, на осі абсцис – час аналізу у хвиликах.

### Результати дослідження та їх обговорення.

Першим завданням було встановлення оптимальної концентрації ацетонітрилу, яка може бути використана для розчинення мікотоксинів, щоб запобігти впливу присутності цього розчинника аналізованому зразку. Згідно з нашими даними [11], ацетонітрил не впливав на рівень реакції антиген-антитіла навіть при концентрації близько 40 %. Але інший органічний розчинник, такий як етанол,

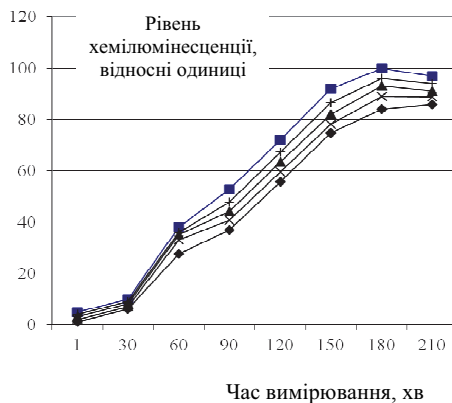


**Рис. 1:** Динаміка зміни рівня хемілюмінесценції біосенсора після додавання ацетонітрилу у вимірювальну комірку в концентрації:  
а) 1 %; б) 0,2 %; в) 0,1 %.

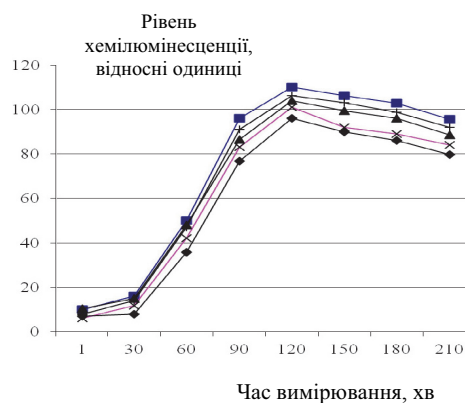
може мати певний вплив на показник генотоксичності вже за концентрації близько 3,0 %. Крім того, ацетонітрил виявився більш ефективним за екстракції мікотоксинів, Тому досліджували рівень генотоксичності ацетонітрилу в діапазоні його концентрації від 0,1 % до 1,0 % (рис. 1).

Виявилось, що специфічний сигнал збільшувався із збільшенням концентрації ацетонітрилу в аналізованому зразку. Очевидно, ми спостерігали не тільки інтенсивність флуоресценції референтних клітин як результат включення їх оперону з комплексом репаративних генів та активацією інтенсивності їх роботи. Загальний комплекс цього процесу супроводжується зміщенням максимуму флуоресценції за короткий період часу, оскільки одночасно з репаративними генами активовано синтез якого-небудь гена з флуоресцентним білком, який вводиться в зазначений оперон.

Для наступних експериментів з мікотоксинами було обрано концен-



**Рис. 2: Динаміка змін рівня флуоресценції біосенсора після додавання мікотоксинів до вимірювальної комірки.**  
Зверху вниз: T2, AFB2, PAT, Ochra і Zon в концентрації 10 нг/мл



**Рис. 3: Динаміка змін рівня флуоресценції біосенсора після додавання мікотоксинів в концентрації 20 нг/мл до вимірювальної комірки.** Зверху вниз: T2, AFB2, PAT, Ochra і Zon

трацію ацетонітрилу 0,2 %. Спочатку відповідні мікотоксини розчиняли в 20,0 % ацетонітрилі за концентрації 1,0 і 2,0 мкг / мл, потім зразки розбавляли в 100 разів фізіологічним розчином і використовували для контролю генотоксичності.

Виявлено, що рівень флуоресценції системи підвищувався для всіх досліджуваних мікотоксинів (рис. 2). Однак найвищий ефект спостерігали для T2, афлатоксину B2 та патуліну.

Слід зауважити, що у разі підвищеної концентрації мікотоксинів в досліджуваному розчині інтенсивність флуоресценції зростає, а її максимум в аналізі досягається швидше (рис. 3).

Різниця в ефекті генотоксичності окремих мікотоксинів може бути пов'язана з дією певних чинників. Наприклад, однією із важливих причин є розчинність мікотоксину у вибраному розчиннику, що, відповідно, може впливати на активність генотоксичного агента на референтні клітини. Крім того, проникність окремих мікотокси-

нів у клітини також може бути різною, а отже і пошкоджуючий ефект, який проявляється з підвищенням флуоресценції, може бути різним.

### **Висновки і перспективи.**

Таким чином, продемонстровано простий підхід для експресного визначення генотоксичності хімічних речовин, зокрема, мікотоксинів із застосуванням біосенсора на основі клітин із SOS-системою. Показано, що окремі мікотоксини мають різний рівень генотоксичності стосовно референтних клітин, які використовували у біосенсорі.

### **References**

1. Bennett, J. W., Klich, M. (2003). Mycotoxins. Clin. Microbiol. Rev., 16 (3), 497-516.
2. Artjuch, V. P., Gojstar, O. S., Chmelnitskij, G. A., Starodub, N. F. (2003). Trichitecne mycotoxins: determination in environmental objects. Biopolymers and cell, 19(3), 216-223.

3. Ciegler, A., Bennett, J. W. (2014). Mycotoxins and mycotoxicoses. *Bioscience*, 30 (8), 512–515.
4. Starodub, N. F. (2010). Modern biooptical instruments for the express control of total toxicity, individual chemicals, viral and bacterial infections to prevent bio- and medical threats. In: NATO Science for Peace and Security Series E: Human and Social Dynamics, eds. A. Trufanov et al., "Pandemics and Bioterrotism", 62, 127–133.
5. Starodub, N. F., Shpirka N. F. (2016). Efficiency of Non-label Optical Biosensors for the Express Control of Toxic Agents in Food. In Book: *Biosensors for security and bioterrorism applications*, Ed. Nikolelis D.P. and Georgia-Paraskevi Nikoleli, Springer Co., 385–418.
6. Turner, N. W., Subrahmanyam, S., Piletsky, S. A. (2009). Analytical methods for determination of mycotoxins: A review. *Analytica Chimica Acta*, 632(2), 168–180.
7. Nabok, A. V., Mustafa, M. K., Tsargorodskaya, A., et al. (2013). Mycotoxins: the detection and purification of contaminated substances. *BioNanoSci.* 3, 79–84.
8. Starodub, N. F. (2016). Biosensors for the express evaluation of the level of genotoxicity of chemical substances, in: *Biosensors for Security and Bioterrorism Applications*, D. P. Nikolelis, G. P. Nikoleli (eds.), Springer, 181–197. DOI: 10.1007/978-3-319-28926-7\_9.
9. Starodub, N. F., Taran, M. V. (2016). Analysis of the Efficiency of Fiber Optic Sos-Type Biosensor Work at the Different Ways of the Sensitive Layer Formation. *Austin J Biosens & Bioelectron*, 2 (2): id1022 (2016) ISSN : 2473-0629, |www.austinpublishing-group.co.
10. Starodub, N. F., Savchuk, M. V., Lukin, V. E. (2017). Investigation of the genotoxicity of some nano-metal oxide particles by the fiber optic SOS-type biosensor. *International Journal of Nanotechnology and Nanomedicine Research*, 1-4, Nanotechnology%20 and %20Nanomedicine-5%20(1).pdf, www.clytoaccess.com
11. Starodub, N. F., Savchuk, M. V., Székács, A., Marty, J. L. (2018). Peculiarities of sample preparation for the determination of certain mycotoxins in grain products and fruits by immunobiosensor analysis. *World Journal of Engineering Research and Technology*, 4(3), 174–185.

---

**M. F. Starodub, M. V. Savchuk, M. I. Fedeleš-Gladinets, O. P. Taran, L. N. Shuliak (2019). Control of the level genotoxicity of micotoxins with the fiber–optic sos-biosensor. BIOLOGICAL SYSTEMS: THEORY AND INNOVATION, 10(2): 38-43.**  
<http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Biologiya/editor/submission/12604>.  
<https://doi.org/10.31548/biologiya2019.02.038>.

**Abstract.** Mycotoxins are very dangerous nutrients, and, as a rule, they are characterized by general toxicity. Information about their ability to genotoxicity is provided. The main goal of this work was to develop a method for express control of the level of genotoxicity of some mycotoxins using the proposed fiber-optic SOS-biosensor. The main condition for such a rapid analysis was determined and it was shown that T2 mycotoxins, patulin, aflatoxin B2, zearalenone and ochratoxin are able to influence the genetic apparatus, namely, as a result of their activity, the expression of the lux-operon of reference bacteria cells is increased. It was revealed that the highest genotoxicity was registered in the case of T2 mycotoxin, aflatoxin B2 and patulin. It was shown that mycotoxins were characterized by different levels of genotoxicity.

**Keywords:** fiber optic SOS-biosensor, mycotoxins, genotoxicity, express-analysis

**М. Ф. Стародуб, М. В. Савчук, М. И. Феделеш-Гладионець, О. П. Таран, Л. Н. Шуляк (2019). Контроль уровня генотоксичности микотоксинов с помощью опто-волоконного биосенсора sos-типа.**

*BIOLOGICAL SYSTEMS: THEORY AND INNOVATION*, 10(2): 38-43.

<http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Biologiya/editor/submission/12604>.

<https://doi.org/10.31548/biologiya2019.02.038>.

**Аннотация.** Микотоксины являются очень опасными биогенными веществами, и, как правило, они характеризуются общей токсичностью. Предоставляется информация об их способности к генотоксичности. Основной целью данной работы была разработка метода экспрессного контроля уровня генотоксичности некоторых микотоксинов с применением предложенного опто-волоконного SOS-биосенсора. Определено главное условие для такого экспресс-анализа и показано, что микотоксины T2, патулин, афлатоксин B2, зеараленон и охратоксин способны влиять на генетический аппарат, а именно, в результате их активности повышается экспрессия lux-оперона референтных клеток бактерий. Выявлено, что самая высокая генотоксичность была зарегистрирована в случае T2 микотоксина, афлатоксина B2 и патулина. Показано, что микотоксины характеризовались различным уровнем генотоксичности.

**Ключевые слова:** опто-волоконный SOS-биосенсор, микотоксины, генотоксичность, экспресс-анализ

---

## ВАЖКІ МЕТАЛИ У ҐРУНТІ: МОБІЛЬНІСТЬ ЯК КРИТЕРІЙ ЕКОЛОГІЧНОЇ НЕБЕЗПЕЧНОСТІ

**Н. А. МАКАРЕНКО**, доктор сільськогосподарських наук, професор  
кафедри екології агросфери та екологічного контролю  
Національний університет біоресурсів і природокористування України  
E-mail: n-mak@ukr.net

**В. В. МАКАРЕНКО**, кандидат сільськогосподарських наук,  
доцент кафедри землезнавства та геоморфології  
Київський національний університет імені Тараса Шевченка  
E-mail: w-mak@ukr.net

**Анотація.** У статті представлено результати дослідження взаємозв'язку між мобільністю важких металів та параметрами ґрунтів України для подальшого прогнозу їх екологічної небезпечності. Для характеристики мобільних форм важких металів у ґрунті використовували комплекс екстрагентів. Валовий запас важких металів у ґрунтах вилучали сумішшю  $H_2SO_4+HF$ , потенційно мобільні форми -  $1,0N\ HCl$ , мобільні -  $0,1N\ HCl$ . Досліджували ґрунти, характерні для зони Полісся, Лісостепу та Степу України.

Було встановлено, що на фоні підвищення вмісту валових форм важких металів від дерново-підзолистих ґрунтів до чорноземів, їх вміст у мобільних формах зменшувався. Частка мобільних форм металів ( $Mn^{+}$ ) у дерново-підзолистому ґрунті коливалася в межах 29,0-62,5 %, у чорноземі звичайному – 2,8-21,9 %.

Було виділено характеристики ґрунту, що визначали мобільність важких металів: вміст глинистих мінералів (фракція  $< 0,001\text{ мм}$ ), вміст органічної речовини ґрунту, рН ґрунту. Найтісніша зворотна кореляція відмічалася між вмістом глинистих мінералів та вмістом мобільних форм важких металів у ґрунті,  $r$  коливався від  $(-) 0,643$  до  $(-) 0,962$ .

Було показано, що актуальну небезпечність важких металів потрібно оцінювати за вмістом мобільних форм, що екстрагуються  $0,1\text{ N}$  кислотами, потенційну –  $1,0\text{ N}$  кислотами. Прогноз небезпечності важких металів повинен враховувати параметри ґрунтів: вміст фізичної глини, органічної речовини та рН.

**Ключові слова:** важкі метали, ґрунт, мобільність, екологічна безпека



### **Актуальність.**

Хімічні елементи, які умовно об'єднують у групу «важкі метали» (ВМ), завжди підлягали контролю у природному середовищі, зокрема у ґрунті [8]. Проте, на питання: «Які форми ВМ у ґрунті контролювати для отримання об'єктивної оцінки їх небезпечності?» – і нині немає однозначної відповіді. Відомо, що ВМ у ґрунті можуть знаходитися у формі розчинних вільних іонів, розчинних комплексів з неорганічними аніонами і органічними лігандами, обмінних на глинистих мінералах та органічній речовині, що утримуються за рахунок електростатичних сил, у вигляді орґано-мінеральних гетерополярних, комплексно-гетерополярних солей, сорбційних комплексів тощо. Існують нормативи, які передбачають контроль за всіма (валовими) формами ВМ у ґрунті. Інформативність такого контролю дуже низька і може бути навіть шкідливою, оскільки не дає уявлення про справжній рівень екологічної небезпеки. Існують нормативи, які передбачають контроль за вмістом рухомих форм, які вилучаються ацетатно-амонійним буфером або близьким до нього розчином 0,1 N кислот. Цей норматив є інформативним і достатньо об'єктивним. Але концентрація рухомих форм ВМ у ґрунті під впливом різних екологічних чинників швидко змінюється у часі, що може бути причиною хибних висновків. Тому, триває пошук об'єктивних методів визначення небезпечності ВМ у ґрунті, які дозволять оцінити реальні та потенційні ризики для ґрунтової та суміжних екосистем.

### **Аналіз останніх досліджень та публікацій.**

Організація економічного співробітництва і розвитку (OECD) у своїх Керівних принципах для тестування хімічних

речовин представила понад 150 найбільш актуальних міжнародно узгоджених методів, серед яких є методи встановлення мобільності хімічних речовин у компонентах природного середовища [4]. Мобільність [1] використовують для оцінки ризиків хімічної речовини як для ґрунту, так і для інших компонентів екосистеми. Для ВМ це питання стоїть особливо гостро, оскільки вони можуть активно переходити з твердої фази ґрунту у ґрунтовий розчин і, навпаки. Екологічну небезпечність представляє не вся маса важких металів у ґрунті, а лише їх частка, що знаходиться у ґрунтовому розчині. Контролю має підлягати саме ця, найбільш мобільна частина ВМ, оскільки саме у такій формі ВМ можуть переходити у рослини [1-3, 7], бути біодоступними для ґрунтових організмів, мігрувати у підземні та поверхневі води [1, 5]. Згідно рекомендацій Community Bureau of Reference (BCR) of the European Commission, прогноз екологічної небезпечності ВМ має охоплювати не лише мобільні форми металів, а і потенційно мобільні форми, які можуть за певних умов перейти у ґрунтовий розчин [6]. Використання поняття валового вмісту ВМ доцільно використовувати лише для загальної характеристики ґрунтів, для оцінювання рівня забруднення та екологічної небезпечності такі форми непридатні.

**Мета дослідження** полягала у вивченні взаємозв'язку між мобільністю важких металів та фізико-хімічними параметрами ґрунтів України для подальшого прогнозу їх екологічної небезпечності.

### **Матеріали і методи дослідження.**

Для характеристики мобільних форм важких металів у ґрунті використовували комплекс екстрагентів.

Валовий запас важких металів у ґрунтах визначали за використання суміші  $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{HF}$ , потенційно мобільні форми ВМ екстрагували 1,0N HCL, мобільні – 0,1N HCL. В екстрактах визначали вміст важких металів методом атомно-абсорбційної спектроскопії.

Загальний вміст гумусу визначали за методом Тюріна; актуальну кислотність ґрунту – шляхом вимірювання концентрації  $\text{H}^+$  у розчині методом потенціометрії за допомогою іонселективних електродів; вміст часточок ґрунту розміром  $< 0,001$  мм – у ході визначення гранулометричного складу ґрунту за методом Долгова і Лічманової.

Досліджували дерново-середньопідзолисті темно-сірі опідзолені ґрунти, чорнозем типовий малогумусний, чорнозем звичайний малогумусний, темно-каштановий солонцюватий ґрунт. Використовували зразки з дослідних полів ННЦ «Інститут землеробства НААН», Інституту сільськогосподарської мікробіології та агропромислового виробництва НААН, а також галузеві стандартні зразки ґрунту. Відбір зразків ґрунту здійснювали у згідно ДСТУ ISO 10381-1:2004.

Встановлення корелятивної залежності між фізико-хімічними властивостями ґрунтів та вмістом мобільних форм важких металів робили на основі математичної статистики вибіркової сукупності за допомогою кореляційного аналізу з використанням програми Microsoft Excel.

### **Результати дослідження та їх обговорення.**

Згідно міжнародних програм з охорони довкілля, для екологічної оцінки хімічних речовин використовують еко-токсикологічний критерій небезпечності – мобільність у ґрунті. Орловце Д. С. у 1985 р. визначив мобільність, як здатність хімічних речовин переходити із

твердих фаз ґрунту у розчини. Мобільність важких металів у ґрунті, перш за все, є функцією їх хімічної природи та фізико-хімічних характеристик ґрунту.

Хімічні властивості важких металів (заряд ядер атомів, радіус атомів та іонів, будова електронних орбіталей, енергія іонізації, іонний потенціал тощо) визначаються їх положенням у періодичній системі елементів Д. І. Менделєєва. Так, ступінь окиснення і утворення іонів із завершеною електронною конфігурацією визначається кількістю атомів у зовнішньому квантовому шарі. Ця ознака обумовлює здатність металів приймати участь у окисно-відновлювальних реакціях, їх акцепторні властивості та тенденцію до комплексоутворення. Заряд ядер атомів та радіус атомів і іонів металів, а також співвідношення між ними має велике значення для оцінки їх потенційної мобільності. За цією ознакою метали можна розташувати у наступній послідовності:  $\text{Cu}^{1+} > \text{Pb}^{2+} > \text{Hg}^{2+} > \text{Cd}^{2+} > \text{Zn}^{2+} > \text{Cu}^{2+} > \text{Co}^{2+} > \text{Ni}^{2+} > \text{Ni}^{3+} > \text{Co}^{3+} > \text{Pb}^{4+}$ .

Величина іонного потенціалу:

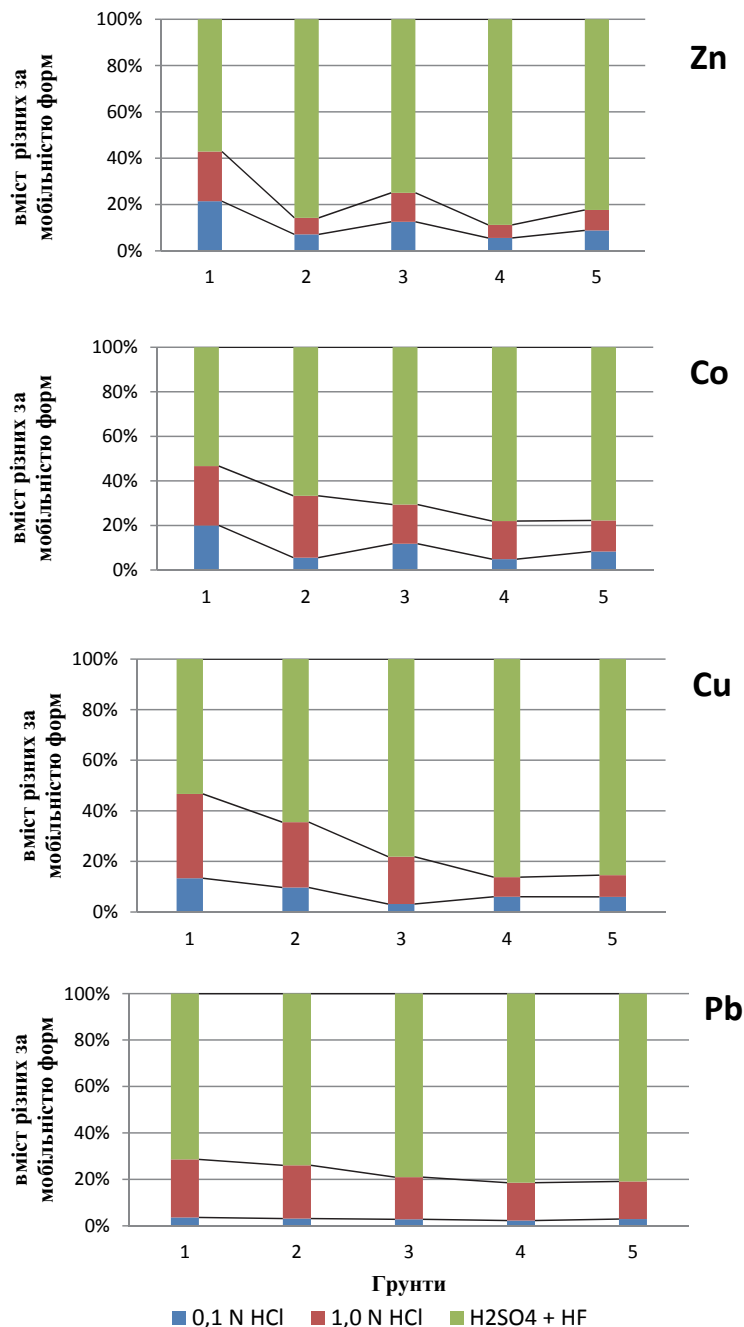
$$\mu: \mu = Z / r,$$

де  $Z$  – заряд ядра,

$r$  – іонний радіус.

Важкі метали у ґрунті можуть бути у вигляді розчинних вільних іонів і розчинних комплексів з неорганічними аніонами і органічними лігандами, обмінних на глинистих мінералах та органічній речовині, що утримуються за рахунок електростатичних сил, у вигляді органо-мінеральних гетерополярних, комплексно-гетерополярних солей, сорбційних комплексів тощо. Екологічну небезпечність буде проявляти не вся маса ВМ у ґрунті, а лише та, що знаходиться у ґрунтового розчині.

Мобільність важких металів ( $\text{Me}^{n+}$ ) досліджували у різних за фізико-хімічними властивостями ґрунтах, пошире-



**Рис. 1. Співвідношення (%) різних за мобільністю форм важких металів у ґрунтах:** 1 – дерново-середньопідзолистий; 2 – темно-сірий опідзолений; 3 – чорнозем типовий мало гумусний; 4 – чорнозем звичайний мало гумусний; 5 – темно-каштановий солонцюватий