

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ АГРАРНИХ НАУК УКРАЇНИ

ІНЦ «ІЗ НААН»

І. М. МАЛИНОВСЬКА
М. А. ТКАЧЕНКО

**МІКРО-
БІОЛОГІЧНІ
ПРОЦЕСИ**
у сірому лісовому
ГРУНТІ

МОНОГРАФІЯ

Київ
АГРАРНА НАУКА
2023

УДК 631.46.631.445.41:631.84

М 59

*Рекомендовано до друку
вченою радою ННЦ «ІЗ НААН»
11 серпня 2020 р. (протокол № 7)*

Рецензенти:

С. Ю. Булигін –

доктор сільськогосподарських наук, професор кафедри ґрунтознавства
та охорони ґрунтів ім. проф. М. К. Шикולי, академік НААН
(Національний університет біоресурсів і природокористування України);

О. В. Надкернична –

доктор біологічних наук, професор,
завідувачка лабораторії рослинно-мікробних взаємодій
(Інститут сільськогосподарської мікробіології
та агропромислового виробництва НААН)

Малиновська І. М., Ткаченко М. А.

М 59 Мікробіологічні процеси у сірому лісовому ґрунті: моно-
графія. Київ : «Аграрна наука», 2023. 120 с.

ISBN 978-966-540-516-0

Монографія складається із 8 розділів, в яких викладено літературні дані і результати власних досліджень закономірностей перебігу мікробіологічних процесів у сірому лісовому ґрунті під впливом основних агротехнічних заходів: мінерального удобрення, вапнування, заорювання побічної продукції попередника у сівозміні та ін. Розглянуто питання впливу на перебіг мінералізаційних процесів типу фітоценозу, виду сільськогосподарської культури; закономірності виведення ґрунтів із сільськогосподарського використання і переведення їх у перелоговий стан для відновлення вихідного рівня родючості. Цінними з погляду практичної мікробіології є дослідження методичного характеру: оптимізування часу відбору зразків ґрунту для проведення досліджень, строку та умов зберігання зразків, що дасть змогу надалі уникнути розбіжностей під час проведення досліджень різними вченими у різних лабораторіях.

Розрахована на наукових співробітників аграрного профілю, викладачів і студентів закладів вищої освіти.

УДК 631.46.631.445.41:631.84

ISBN 978-966-540-516-0

© І. М. Малиновська,
М. А. Ткаченко, 2023
© Державне видавництво
«Аграрна наука» НААН, 2023
© ТОВ «ТВОРИ», 2023

ЗМІСТ

ВСТУП	5
-------------	---

Розділ 1.

ВПЛИВ ВАПНУВАННЯ ТА МІНЕРАЛЬНОГО УДОБРЕННЯ НА МІКРОБНІ УГРУПОВАННЯ СІРОГО ЛІСОВОГО ҐРУНТУ ЗА ВИРОЩУВАННЯ ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ	7
---	---

Розділ 2.

ВПЛИВ ЕКЗОГЕННОЇ ОРГАНІЧНОЇ РЕЧОВИНИ НА МІКРОБІОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ У СІРОМУ ЛІСОВОМУ ҐРУНТІ	18
--	----

Розділ 3.

ВПЛИВ СПОСОБІВ ОБРОБІТКУ НА СПРЯМОВАНІСТЬ ТА НАПРУЖЕНІСТЬ МІКРОБІОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ У СІРОМУ ЛІСОВОМУ ҐРУНТІ	29
--	----

Розділ 4.

ПЕРЕБІГ МІКРОБІОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ У ҐРУНТАХ ПЕРЕЛОГІВ РІЗНОЇ ТРИВАЛОСТІ ТА АГРОЗЕМАХ	41
4.1. Вплив тривалості перебування у перелоговому стані на мінералізаційні та синтезаційні процеси у сірому лісовому ґрунті	41
4.2. Вплив типу фітоценозу на перебіг мінералізаційних процесів у перелоговому ґрунті	50

Розділ 5.

СТАБІЛЬНІСТЬ МІКРОБНИХ УГРУПОВАНЬ АГРОЗЕМІВ ТА ПЕРЕЛОГІВ РІЗНОЇ ТРИВАЛОСТІ	57
---	----

Розділ 6.

ВПЛИВ СПОСОБІВ ВИКОРИСТАННЯ СІРОГО ЛІСОВОГО ҐРУНТУ НА ЧИСЕЛЬНІСТЬ ТА ФІЗІОЛОГО-БІОХІМІЧНУ АКТИВНІСТЬ МІКРООРГАНІЗМІВ ЙОГО ГОРИЗОНТІВ	66
--	----

Розділ 7.

ВЗАЄМОЗВ'ЯЗОК МІЖ МІКРОБІОЛОГІЧНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ МІКРОБНОГО ЦЕНОЗУ СІРОГО ЛІСОВОГО ҐРУНТУ ТА ЕФЕКТИВНОЮ РОДЮЧІСТЮ	82
---	----

Розділ 8.

МЕТОДОЛОГІЯ ПРОВЕДЕННЯ МІКРОБІОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	90
8.1. Відбір середньої проби ґрунту та приготування ґрунтової суспензії для посіву	90
8.2. До питання про час проведення мікробіологічних досліджень упродовж вегетаційного періоду	92
8.3. Закономірності динаміки чисельності мікроорганізмів під час зберігання зразків сірого лісового ґрунту	98
Висновок	108
Список використаних джерел	110

ВСТУП

Ґрунтовий покрив України здатний підтримувати високий потенціал продуктивності сільськогосподарських культур, особливо це стосується чорноземних і сірих лісових ґрунтів. Посилення антропогенного навантаження на них зумовлює зниження чисельності й збіднення видового різноманіття мікроорганізмів та порушення функціональних зв'язків у структурі мікробних угруповань, збільшення кількості гуматруйнівних мікроорганізмів за відсутності органічних добрив і, як наслідок, зменшення рівня ефективної та потенційної родючості ґрунтів.

Оцінювання антропогенного впливу на екосистеми можлива на основі багатьох показників, зокрема і за реакцією мікроорганізмів. За сучасними уявами ґрунт – це біологічна і біохімічна система, одним із головних компонентів якої є ґрунтова мікрофлора [5, 23, 24, 85]. Мікроорганізмам належить головна роль у розкладанні рослинних решток, синтезі і деструкції гумусу, формуванні фітосанітарного стану ґрунту, накопиченні в ньому біологічно активних речовин, фіксації атмосферного азоту. Ґрунтові мікроорганізми є невід'ємною частиною біогеоценозів, вони беруть участь у глобальному колообігу речовин та енергії в біосфері, від їхнього розвитку залежить родючість ґрунту і якість рослинної продукції. У ґрунті безперервно проходять біологічні процеси, змінюється кількісний і якісний склад елементів живлення рослин через розкладання рослинного опаду і

відмерлих кореневих систем [3, 4, 108]. Для дослідження швидкості біологічного колообігу у такій системі необхідні не тільки результати хімічних аналізів ґрунту, а й вивчення активності мікробіологічних процесів, які визначають динаміку перетворення органічних і мінеральних речовин.

Серед антропогенних чинників, що впливають на ґрунти, основними є мінеральні добрива, пестициди, способи обробітку ґрунту та ін. Ідеальними біоіндикаторами змін ґрунтових умов є ґрунтові мікроорганізми, що зумовлено їх великою кількістю, складною структурою їхніх угруповань, роллю і значенням у ґрунтоутворювальних процесах і високою чутливістю до біотичних та абіотичних стресорів. Ґрунт як компонент біосфери має найбільше антропогенне навантаження. Мінеральні добрива і пестициди, які потрапляють у ґрунт, спричиняють значні (часто негативні) зміни у комплексах ґрунтових мікроорганізмів. Так, за тривалого і нераціонального використання мінеральних добрив у ґрунті починають переважати мікроорганізми-токсикоутворювачі [15, 16, 80]. У цьому плані важлива розробка критеріїв і пошук тест-об'єктів, за якими можна було б оцінити ступінь впливу антропогенних чинників.

Біота є індикатором змін, що відбуваються в ґрунтах і показником здатності їх до самовідновлення та реабілітації. Отже, дослідження просторово-функціональної структури мікробних ценозів, спрямованості та напруженості мікробіологічних процесів, вивчення біорізноманіття ґрунтової мікробіоти можуть бути основою розроблення високоефективних ресурсощадних агротехнологій, що забезпечать не лише одержання високих сталих урожаїв сільськогосподарських культур, а й розширене відтворення родючості ґрунтів.

ВПЛИВ ВАПНУВАННЯ ТА МІНЕРАЛЬНОГО УДОБРЕННЯ НА МІКРОБНІ УГРУПОВАННЯ СІРОГО ЛІСОВОГО ҐРУНТУ ЗА ВИРОЩУВАННЯ ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ

У нашій країні ґрунти з підвищеною кислотністю (рН нижче 5,5) займають великі площі – понад 9,14 млн га [76]. Значна частина кислих дерново-підзолистих ґрунтів розташовані в зоні Полісся. Крім того, кислою реакцією характеризуються червоноземи, бурі й сірі лісові, торф'яно-болотні ґрунти та частково вилужені й опідзолені чорноземи. Кислі ґрунти мають несприятливі біологічні, фізичні та хімічні властивості. Внаслідок витіснення кальцію іонами водню з ґрунтового вбирного комплексу підвищується дисперсність насичених воднем мінеральних колоїдних частинок, що призводить до поступового їх руйнування і вимивання за межі орного шару ґрунту. Цим пояснюється невеликий вміст у кислих ґрунтах колоїдної фракції, вони мають низьку ємність поглинання і слабку буферність. У таких ґрунтах сильно пригнічена діяльність ґрунтових мікроорганізмів, особливо азотофіксувальних вільноіснуючих і симбіотичних бактерій, для розвитку яких найсприятливіша нейтральна реакція ґрунтового середовища (рН 6,5–7,5) [20, 30, 79]. Водночас підвищена кислотність є причиною розвитку в ґрунті грибів, серед яких багато збудників хвороб рослин та токсиноутворювачів.

Вапнування за правильного застосування активізує біологічні та хімічні процеси у ґрунтах, сприяє зростанню рухомості нітратів, фосфору органічних сполук, фосфатів заліза й алюмінію, а та-

кож калю. За внесення вапна посилюється активність целюлозоруйнівних, амоніфікувальних, маслянокислих та ін. бактерій, що розкладають рослинні рештки [20, 21, 30, 79]. При цьому відбувається гуміфікація рослинних решток із утворенням ульминових і гумінових кислот, які за наявності кальцію сприяють утворенню водостійких агрегатів. Застосування вапна приводить до зростання загальної біологічної та протеазної активності, кількості сапрофітних бактерій та бактерій-аеробів [90].

Науково обґрунтоване застосування мінеральних і органічних добрив, вапнування позитивно впливає на поживний режим ґрунтів, врожайність та якість продукції більшості сільськогосподарських культур, які вирощуються у польових сівозмінах. Особливу цінність мають результати досліджень, отримані у тривалих дослідах, які дають змогу виявити спрямованість змін родючості ґрунту під впливом систематичного застосування добрив і періодичного вапнування у різноротаційних сівозмінах, ступінь виявлення негативних наслідків на протікання ґрунтотворних процесів, зокрема їх мікробіологічну складову.

Внаслідок тривалого застосування мінеральних добрив змінюються агрохімічні властивості ґрунтів: збільшується гідролітична кислотність ґрунтового розчину, зменшується сума поглинутих основ і ступінь насиченості вбирного комплексу ґрунту, знижується вміст обмінного кальцію і магнію, зростає кількість рухомого алюмінію та ін. Біологічні властивості ґрунтів перебувають у тісній взаємодії з фізико-хімічними та агрохімічними властивостями ґрунтів, однак комплексні дослідження цих показників за впливу добрив та інших агрохімічних заходів проведені ще недостатньо.

Здійснено значну кількість досліджень щодо впливу невисоких доз добрив на біологічну активність ґрунтів. Встановлено, що внесення добрив, особливо на фоні вапнування, збільшує чисельність агрономічно важливих груп ґрунтових мікроорганізмів – амоніфікувальних, нітрифікувальних, денітрифікувальних і целюлозоруйнівних, підвищує ферментативну активність ґрунту та інтенсивність продукування вуглекислого газу [17, 22, 24, 78].

Щодо характеру дії високих доз добрив дані літератури досить суперечливі. Зокрема, М. Чуб [96] відзначає пригнічення розвитку мікрофлори ґрунту під пшеницею озимою вже при дозі $N_{90}P_{90}K_{90}$ навіть за умов внесення органічних добрив. Водночас є дані, що під культурами ячменю, жита, картоплі застосування мінеральних добрив у дозі $N_{90}P_{180}K_{270}$ інтенсифікує розвиток мікрофлори, а за підвищення дози до $N_{120}P_{180}K_{270}$ пригнічуються процеси нітрифікації, розкладання целюлози і фіксації азоту [28].

Також установлено, що у разі застосування високих доз мінеральних добрив спостерігається підвищення вмісту мікроміцетів, серед яких збільшується кількість фітопатогенних і токсиноутворювальних видів [16, 80]. Зростання кількості мікроскопічних грибів можна пояснити підкисленням ґрунтового розчину. На користь цього припущення свідчать дані про те, що після вапнування ґрунтів, удобрених високими дозами мінеральних добрив, частка мікроскопічних грибів у мікробному ценозі зменшується.

Дослідження у системі полігонного моніторингу, який було створено на базі стаціонарного дослідження відділу агроґрунтознавства і ґрунтової мікробіології ННЦ «Інститут землеробства НААН» «Вивчення технологічних прийомів відтворення і регулювання родючості сірого лісового ґрунту», закладеного у 1992 р. на території дослідного господарства «Чабани», показали, що внесення мінеральних добрив у дозі $N_{60}P_{30}K_{60}$ за вирощування пшениці озимої призводить до зростання чисельності мікроорганізмів більшості досліджених еколого-трофічних і функціональних груп (табл. 1.1). Зокрема, застосування мінеральних добрив веде до зростання чисельності амоніфікаторів у ґрунті варіанта без вапнування – на 46,5%, на фоні вапнування – у 2,24 раза, з внесенням побічної продукції і вапнуванням – у 4,81 раза (табл. 1.1). Збільшення дози добрив у 1,5 і 2 рази спричиняє підвищення чисельності амоніфікаторів відповідно у 1,98 і 7,36 раза. За внесення мінеральних добрив зростає не лише чисельність амоніфікаторів, а також їхня фізіолого-біохімічна активність: у ґрунті варіанта без унесення сидерата і вапнування – у 11,5 раза, з вапнуванням – у 20,1 раза (табл. 1.2).

Таблиця 1.1. Вплив агротехнічних заходів на чисельність пшениці озимої, млн КУО*/г

Варіант	Амоніфікатори	Імобілізатори мінерального азоту	Олігонітрофіли	Азотобактер, % обростання ґрундопочок ґрунту	Денітрифікатори	
Без добрив (контроль)	155,0	30,7	16,7	88,0	3,80	
CaCO ₃ (1,0 Hг)	233,1	54,2	10,2	98,6	10,3	
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	227,0	70,7	31,2	16,0	8,09	
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀ + CaCO ₃ (1,0 Hг)	347,2	66,7	78,9	92,0	22,1	
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	Сидерат + побічна про- дукція	320,1	64,5	23,4	10,4	
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀ + CaCO ₃ (1,0 Hг)		745,0	88,9	80,0	89,4	121,8
N ₉₀ P ₄₅ K ₉₀ + CaCO ₃ (1,0 Hг)		1478	102,6	72,8	99,4	152,9
N ₁₂₀ P ₆₀ K ₁₂₀ + CaCO ₃ (1,0 Hг)		5483	264,9	71,7	88,0	152,9
НІР ₀₅	15,3	9,85	5,56	7,35	5,12	

*КУО – колонієутворювальна одиниця;

Таблиця 1.2. Вірогідність формування колоній мікроорганізмів агротехнічних заходів за

Варіант	Амоніфікатори	Імобілізатори мінерального азоту	Олігонітрофіли
Без добрив (контроль)	0,181	0,162	4,09
CaCO ₃ (1,0 Hг)	1,18	0,505	0,397
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	2,09	0,534	3,40
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀ + CaCO ₃ (1,0 Hг)	3,63	0,119	4,80
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	Сидерат + побічна про- дукція	1,77	2,94
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀ + CaCO ₃ (1,0 Hг)		0,633	2,32
N ₉₀ P ₄₅ K ₉₀ + CaCO ₃ (1,0 Hг)		3,11	3,88
N ₁₂₀ P ₆₀ K ₁₂₀ + CaCO ₃ (1,0 Hг)		0,301	4,61

Розділ 1. Вплив вапнування та мінерального удобрення на мікробні угруповання сірого лісового ґрунту за вирощування пшениці озимої

мікроорганізмів у сірому лісовому ґрунті за вирощування абсолютно сухого ґрунту

	Нітрифікатори	Педотрофи	Целюлозоруйніві бактерії	Полісахаридсинтезувальні	Автохтонні	Актиноміцети	Мікроміцети	Меланінсинтезувальні мікр-міцети	Мобілізатори мінеральних фосфатів	Кислотоутворювальні	K_r^{**}	Загальна чи-сельність
	0,007	81,0	43,5	14,1	25,1	10,5	0,23	0,19	19,6	0,001	0,771	489,1
	0,014	94,8	42,4	4,30	27,0	14,1	0,25	0,22	15,9	0,001	0,609	605,3
	0,011	86,6	54,6	12,9	28,0	11,1	0,31	0,26	11,1	6,05	0,864	613,9
	0,055	105,4	71,6	18,1	30,8	20,3	0,33	0,21	28,8	12,7	0,595	895,1
	0,011	114,4	85,5	3,64	34,4	13,5	0,28	0,27	25,9	12,0	0,528	765,9
	0,007	180,0	69,7	12,5	42,1	21,8	0,30	0,20	14,8	14,7	0,502	1481,2
	0,098	188,2	98,0	12,4	38,0	20,4	0,31	0,24	24,8	11,3	0,841	2299,4
	0,051	438,6	254,5	28,8	81,6	28,4	0,31	0,21	32,8	0,67	1,414	6926,4
	0,002	5,13	8,14	2,01	1,95	0,95	0,01	0,005	2,87	0,001		

** K_r – питома фосфатмобілізувальна активність [36].

(λ , год⁻¹ · 10⁻²) у сірому лісовому ґрунті за використання різних вирощування пшениці озимої

	Нітрифіка-тори	Денітрифіка-тори	Педотрофи	Автохтонні	Целюлозо-руйнівні	Мікроміцети	Мобілізатори мінеральних фосфатів
	0,008	0,930	1,74	0,602	3,18	3,69	8,34
	0,413	1,29	0,784	0,624	0,619	3,83	7,72
	0,412	3,38	2,57	0,563	0,989	3,98	9,55
	0,008	0,677	1,75	0,894	3,18	4,69	5,78
	0,414	3,38	1,36	1,03	1,32	2,02	3,07
	0,413	1,96	2,05	0,846	0,607	2,93	4,05
	2,55	0,642	1,94	0,683	1,75	2,42	5,35
	0,170	20,1	1,51	0,446	0,546	2,65	3,75

Мінеральне удобрення зумовлює також істотне збільшення чисельності денітрифікаторів, особливо у варіантах із внесенням полуторної і подвійної доз мінеральних добрив, що свідчить про незбалансованість мінерального живлення рослин у цих варіантах досліджу. Звертає на себе увагу факт підвищення чисельності денітрифікаторів у результаті вапнування: за відсутності мінерального удобрення і за внесення мінеральних добрив у одинарній дозі – у 2,71–2,73 раза. За внесення сидерата і побічної продукції попередника зростає вплив вапнування на процес денітрифікації, зокрема чисельність денітрифікаторів зростає в 11,7 раза. Підвищення чисельності денітрифікаторів у результаті вапнування не завжди супроводжується підвищенням фізіолого-біохімічної активності цих мікроорганізмів – тільки за відсутності мінерального удобрення і за максимальної з використаних доз мінеральних добрив (*табл. 1.2*).

Висока кількість азотобактера (88% обростання ґрунтових грудочок) виявлена у ґрунті абсолютного контролю, куди впродовж 20 років не вносять мінеральні, органічні добрива, меліоранти тощо (*табл. 1.1*), і де врожайність сільськогосподарських культур є мінімальною [35]. Отже, не можна вважати азотобактер індикатором ефективної родючості ґрунту і забезпеченості його сполуками фосфору, як це було запропоновано Є.М. Мішустіним зі співавт. [82, 83] і підтримано сучасними дослідниками. На наш погляд, азотобактер є індикатором екологічного благополуччя, зниженого вмісту полютантів, оскільки його максимальна чисельність спостерігається у ґрунтах багаторічних контролів, найменш забруднених полютантами порівняно з інтенсивними агрофонами [50, 88, 97, 103, 106].

Вапнування позитивно впливає на кількість азотобактера, що зростає у варіанті з внесенням мінеральних добрив у 5,75 раза, з унесенням побічної продукції рослинництва і сидерата – у 3,82 раза (*табл. 1.1*). Ці дані ще раз підтверджують важливість кислотності ґрунту як одного з основних факторів, які регулюють кількість азотобактера.

Унесення азотних мінеральних добрив інгібує розвиток азотобактера, його кількість знижується порівняно із контролем у 5,5 рази, однак унесення мінеральних добрив на фоні вапнування не призводить до зниження чисельності цього мікроорганізму. Отже, негативний вплив мінеральних добрив на розвиток азотобактера пов'язаний, з одного боку, зі зниженням конкурентоспроможності цього мікроорганізму в умовах достатньої забезпеченості ґрунту мінеральним азотом, а з другого – зі зниженням кислотності ґрунту внаслідок внесення мінеральних добрив, якому запобігає попереднє вапнування.

Вапнування створює умови для ефективнішого використання мінеральних добрив рослинами і – опосередковано й безпосередньо – мікроорганізмами. Так, поєднання вапнування з внесенням мінеральних добрив призводить до зростання чисельності амоніфікаторів на 53%, денітрифікаторів – 173, педотрофів – 21,2, целюлозоруйнівних – 31,1, полісахаридсинтезувальних – 40,3, стрептоміцетів – 83, загальної чисельності мікроорганізмів – на 60,2 %, мобілізаторів мінеральних фосфатів – у 2,59 рази (*див. табл. 1.1*). Позитивний вплив вапнування посилюється у варіантах із внесенням у ґрунт органічної речовини (побічної продукції рослинництва і сидерата).

Заорювання побічної продукції рослинництва і біомаси сидеральної культури призводить до істотного зростання чисельності лише целюлозоруйнівних мікроорганізмів, кількість інших важливих гідролітиків – мікроміцетів, не відчуває впливу жодного з досліджених агротехнічних факторів: ні вапнування, ні внесення мінеральних добрив, ні заорювання екзогенної органічної речовини.

Чисельність і фізіолого-біохімічна активність полісахаридсинтезувальних мікроорганізмів є важливими індикаторними ознаками нестачі мінеральних елементів у ґрунті [37, 38], оскільки бактеріальні полісахариди інтенсифікують розчинення елементів з їх важкорозчинних форм вторинними метаболітами ґрунтових мікроорганізмів. У приведених дослідженнях велику кількість полісахаридсинтезувальних мікроорганізмів

у контрольному ґрунті можна пояснити нестачею мінеральних елементів у ґрунті цього варіанта, проведення вапнування у цих умовах призводить до істотного зниження чисельності полісахаридсинтезувальних мікроорганізмів, можливо, вапнування збільшує вміст рухомих форм елементів, і конкурентоспроможність полісахаридсинтезувальних бактерій знижується. Аналогічна закономірність спостерігається відносно мікроорганізмів, які мобілізують мінеральні фосфати із важкорозчинних форм: їхня чисельність у контролі на 23,3 і 76,6 % перевищує показники варіантів із вапнуванням і внесенням мінеральних добрив. Обидва заходи дадуть змогу поліпшити мінеральний режим ґрунту, що робить мобілізаторів мінеральних фосфатів менш конкурентоспроможними у боротьбі за джерела живлення.

На чисельність полісахаридсинтезувальних мікроорганізмів у природних умовах впливає не лише нестача мінеральних елементів у ґрунті, а й інші фактори: співвідношення вуглецю і азоту, вид сільськогосподарської культури, забруднення ґрунту поліюантами та ін. [61, 65, 66]. Раніше було встановлено, що вапнування перелогового ґрунту не призводить до збільшення чисельності мікроорганізмів цієї групи як у варіанті без добрив, так і за внесення $N_{90}P_{40}K_{70}$ [53]. За проведення досліджень в умовах стаціонарного досліді і вирощуванні пшениці озимої вапнування зумовлює збільшення чисельності полісахаридсинтезувальних бактерій: на мінеральному фоні – на 40 %, за внесення побічної продукції і сидерата – в 3,43–7,91 рази. Внесення екзогенної органічної речовини, яке збільшує співвідношення вуглецю до азоту, разом із вапнуванням створює максимально оптимальні умови для розвитку полісахаридсинтезувальних мікроорганізмів.

Захисною реакцією мікроорганізмів на антропогенне забруднення вважається здатність до утворення меланоїдних пігментів [19]. Багаторічними дослідженнями показано, що чисельність меланінсинтезувальних мікроміцетів різко збільшується в умовах антропогенного забруднення ґрунтів, зокрема нафтопродуктами і важкими металами [51, 63, 106]. Дослідженнями вста-

новлено, що у варіантах досліді, куди не вноситься біомаса сидеральної культури і побічна продукція попередника, питомий вміст меланінсинтезувальних мікроміцетів коливається між 81,8 і 88,0 %, що на 12,4 % вище показників варіантів досліді, куди екзогенна органічна речовина вноситься упродовж 20 років. Це свідчить про високу здатність органічної речовини сорбувати різноманітні полютанти і захищати біоту ґрунту і рослини від негативного впливу забруднювачів. Підтвердженням цієї тези є менша фітотоксичність ґрунту у цих варіантах досліді, яка на 16,8% нижча за середню фітотоксичність ґрунту варіантів, куди органічна речовина не вноситься (табл. 1.3, вар. № 1–4).

Таблиця 1.3. Показники інтенсивності мінералізаційних процесів і фітотоксичні властивості сірого лісового ґрунту за використання різних агротехнічних заходів при вирощуванні пшениці озимої

Варіант	Індекс педотрофності	Коефіцієнт			Сумарна біологічна активність	Маса 100 рослин тест-культури – пшениці озимої, г			
		оліготрофності	мінералізацій-імобілізації сполук азоту	Активність мінералізацій гумусу, %		стебло	коріння	загальна маса	
Без добрив (контроль)	0,523	0,544	0,198	31,0	405,5	6,57	6,53	13,1	
CaCO ₃ (1,0 Нг)	0,407	0,044	0,200	28,5	499,1	7,77	6,83	14,6	
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	0,381	0,137	0,311	32,3	526,6	7,40	7,50	14,9	
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀ + CaCO ₃ (1,0 Нг)	0,304	0,227	0,192	29,2	461,2	8,26	7,94	16,2	
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	Сидерат + побічна продукція	0,358	0,202	0,180	30,1	637,6	8,81	8,29	17,1
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀ + CaCO ₃ (1,0 Нг)		0,242	0,107	0,119	23,4	874,2	9,60	8,51	18,1
N ₉₀ P ₄₅ K ₉₀ + CaCO ₃ (1,0Нг)		0,127	0,049	0,069	20,2	1035,2	8,57	7,43	16,0
N ₁₂₀ P ₆₀ K ₁₂₀ + CaCO ₃ (1,0 Нг)		0,080	0,013	0,048	18,6	1306,7	9,64	7,86	17,5
НІР ₀₅						0,10	0,15	0,14	

Раніше нами було встановлено, що внесення мінеральних добрив дає змогу уповільнити деструкцію гумусових речовин [50, 53, 70, 71]. Ця закономірність підтверджується результатами приведених досліджень: зі збільшенням дози мінеральних добрив у 1,5 і 2 рази активність мінералізації гумусу зменшується на 15,8 і 25,8 % відповідно (*табл. 1.3*). Із поліпшенням мінерального живлення рослин кількість кореневих виділень збільшується, що призводить до уповільнення деструкції гумусових речовин. Сумарна біологічна активність підвищується в результаті оптимізування мінерального живлення рослин на 29,9 %, на фоні заорювання екзогенної органічної речовини – на 62,2 %.

Вапнування також призводить до зниження активності мінералізації гумусу: за відсутності мінерального удобрення – на 8,77 %, на фоні мінерального удобрення – на 10,6, за внесення екзогенної органічної речовини – на 28,6 %, тобто вапнування ефективніше дії одночасно із оптимізуванням мінерального і, особливо органічного режиму ґрунту.

Вапнування також знижує активність витрачання загальної органічної речовини ґрунту: за відсутності мінерального удобрення на 28,5 %, на фоні мінерального удобрення – на 25,3, за внесення екзогенної органічної речовини – на 47,9 %. Із зростанням дози мінеральних добрив індекс педотрофності також знижується: за однократної дози добрив – у 1,48 рази, за 1,5 дози – 2,82, за подвійної дози – у 4,48 рази.

Сумарна біологічна активність за оптимізування рН ґрунтового середовища збільшується на 23,1 %, за оптимізування ґрунтового середовища на фоні внесення мінеральних добрив – 13,7, за оптимізування ґрунтового середовища на фоні внесення мінеральних добрив і екзогенної органічної речовини – на 115,6 % (*табл. 1.3*).

Раніше нами було встановлено, що вапнування як за відсутності мінерального удобрення, так і за внесення $N_{90}P_{40}K_{70}$ призводить до уповільнення процесів мінералізації-імобілізації сполук азоту [54]. Проведені дослідження підтверджують цей висновок, вапнування ґрунту знижує інтенсивність процесів мі-

нералізації сполук азоту, особливо за внесення екзогенної органічної речовини: за однократної дози добрив – у 1,9 рази, за 1,5 дози – 2,61, за подвійної дози – у 3,75 рази (*табл. 1.3*). Аналогічна закономірність впливу вапнування спостерігається щодо коефіцієнта оліготрофності: він знижується за однократної дози добрив – у 1,89 рази, за 1,5 дози – 4,12, за подвійної дози – у 15,5 рази.

Таким чином показано, що вапнування призводить до збільшення чисельності мікроорганізмів основних еколого-трофічних і функціональних груп, зниження активності мінералізації гумусу й активності витрачання органічної речовини ґрунту, зниження інтенсивності процесів мінералізації сполук азоту, особливо за внесення екзогенної органічної речовини: за однократної дози добрив – у 1,9 рази, за 1,5 – 2,61, за подвійної дози – у 3,75 рази. Заорювання біомаси сидеральної культури і побічної продукції попередника у сівозміні поліпшує екологічні умови в агроценозі [62, 94], про що свідчить зростання чисельності азотобактера, зниження питомого вмісту меланінсинтезувальних мікроміцетів на 12,4 %, зменшення фітотоксичності ґрунту на 16,8 % порівняно із середньою фітотоксичністю ґрунту варіантів, куди екзогенна органічна речовина не вноситься.

Розділ 2

ВПЛИВ ЕКЗОГЕННОЇ ОРГАНІЧНОЇ РЕЧОВИНИ НА МІКРОБІОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ У СІРОМУ ЛІСОВОМУ ҐРУНТІ

Останнім часом в Україні через скорочення поголів'я великої рогатої худоби дедалі більше уваги приділяють таким видам органічних добрив, як сидерати і побічна продукція культури-попередника у сівозміні. Показано ефективність цього агрозаходу, зокрема й щодо оптимізування структури мікробних угруповань [27, 32]. Так, за вирощування пшениці озимої на чорноземі типовому заорювання фітомаси гороху приводило до збільшення біомаси ґрунтових мікроорганізмів у 2,4 раза. Застосування зеленої маси гороху разом із мінеральними добривами ($N_{30}P_{30}K_{45}$) сприяло збагаченню ґрунту легкозасвоюваною органічною речовиною, підвищенням загальної чисельності мікроорганізмів у 2–3 рази, посиленням нітрифікувальної і целюлозоруйнівної активності ґрунту [75]. Завданням наших досліджень було вивчення впливу на структуру мікробних ценозів заорювання екзогенної органічної речовини разом із застосуванням інших агротехнічних заходів: унесення мінеральних добрив і проведення оптимізування кислотно-лужної рівноваги ґрунтового середовища. Установлено, що внесення екзогенної органічної речовини (сидерат+побічна продукція) найвагомніше впливає на чисельність мікроорганізмів агрономічно цінних груп. Так, кількість амоніфікаторів збільшується у ґрунті варіанта з унесенням $N_{30}P_{30}K_{45} + CaCO_3$ (1,0 Нг) + екзогенна органічна речо-

вина (ЕОР) порівняно із $N_{30}P_{30}K_{45} + CaCO_3$ (1,0 Нг) без ЕОР у 2,23 раза, кількість іммобілізаторів мінерального азоту – 1,44, олігонітрофілів – 1,55, денітрифікаторів – 3,48, полісахаридсинтезувальних – 2,3, стрептоміцетів – 1,92, мобілізаторів мінеральних фосфатів – 1,85, загальна чисельність мікроорганізмів – у 1,97 раза (табл. 2.1).

Унесення ЕОР зумовлює збільшення чисельності мікроорганізмів усіх досліджених груп, за винятком меланінсинтезувальних мікроміцетів і кислотоутворювальних мікроорганізмів, їхня кількість зменшується у 6,74 і 2,49 раза відповідно. Ефект зменшення чисельності меланінсинтезувальних мікроміцетів у результаті внесення ЕОР спостерігається за всіх агротехнічних заходів: без добрив – на 43,8 %, за вапнування – 3,94 (застосовувалось лише внесення біомаси сидеральної культури), за внесення $N_{30}P_{30}K_{45}$ – на 12,8 %. Під час дослідження закономірностей поширення меланінсинтезувальних мікроміцетів можна розглядати не тільки їх чисельність, а й частку в загальній кількості мікроміцетів у певному варіанті досліду, оскільки на чисельність грибів впливає багато чинників: наявність субстратів, вологість і рН ґрунту, сільськогосподарська культура, що вирощується, та ін. Проведений аналіз показав, що частка меланінсинтезувальних у загальній кількості мікроміцетів зменшується за внесення ЕОР: без добрив від 88,8 до 64,8 %, за внесення $N_{30}P_{30}K_{45}$ від 94,6 до 67,5 %. Ці результати підтверджують закономірності, які отримані раніше за вирощування пшениці озимої: частка меланінсинтезувальних мікроміцетів зменшується у варіантах із внесенням ЕОР на 12,7 % (у середньому), що свідчить про високу здатність органічної речовини сорбувати різні політанти і захищати біоту ґрунту й рослини від негативного впливу забруднювачів [94]. Підтвердженням цієї тези є менша фітотоксичність ґрунту у цих варіантах досліду, вона на 7,64 % нижча за середню фітотоксичність ґрунту варіантів, куди органічну речовину не вносили.

Заорювання побічної продукції попередника і біомаси сидеральної культури сприяє істотному зростанню чисельності обох

Таблиця 2.1. Вплив агротехнічних заходів на чисельність млн КУО*/г абсолютно

Варіант	Амоніфікатори	Імобілізатори мінерального азоту	Оліготрофіли	Азотобактер, % обростання грудочок ґрунту	Денітрифікатори	
Без добрив (контроль)	485,7	181,4	59,0	12,0	22,7	
CaCO ₃ (1,0 Нг)	576,0	141,0	46,0	16,0	50,5	
N ₃₀ P ₃₀ K ₄₅	767,3	201,0	58,7	5,31	10,9	
Сидерат + CaCO ₃ (1,0 Нг)	818,4	180,5	77,9	13,3	58,8	
N ₃₀ P ₃₀ K ₄₅ + CaCO ₃ (1,0 Нг)	344,0	113,5	34,7	18,7	46,4	
N ₃₀ P ₃₀ K ₄₅	Сидерат + побічна продукція	768,2	130,1	60,3	9,32	17,1
N ₃₀ P ₃₀ K ₄₅ + CaCO ₃ (1,0 Нг)		992,3	164,4	53,8	22,3	31,3
Без добрив (контроль)		525,0	103,1	35,0	18,7	28,2
НІР ₀₅	12,0	8,25	3,41	2,84	2,15	

* КУО – колонієутворювальна одиниця.

Таблиця 2.2. Показники інтенсивності мінералізаційних за використання різних агротехнічних

Варіант	Індекс педотрофності	Коефіцієнт		
		оліготрофності	мінералізації азоту	
Без добрив (контроль)	0,124	0,121	0,374	
CaCO ₃ (1,0 Нг)	0,148	0,080	0,245	
N ₃₀ P ₃₀ K ₄₅	0,158	0,077	0,262	
Сидерат + CaCO ₃ (1,0 Нг)	0,115	0,010	0,221	
N ₃₀ P ₃₀ K ₄₅ + CaCO ₃ (1,0 Нг)	0,302	0,101	0,330	
N ₃₀ P ₃₀ K ₄₅	Сидерат + побічна продукція	0,116	0,078	0,169
N ₃₀ P ₃₀ K ₄₅ + CaCO ₃ (1,0 Нг)		0,122	0,054	0,166
Без добрив (контроль)		0,138	0,067	0,196
НІР ₀₅				

**мікроорганізмів у сірому лісовому ґрунті за вирощування сої,
сухого ґрунту**

	Нітрифікатори	Педагофи	Целюлозо- руйнівні бактерії	Полісахарид- синтезувальні	Автохтонні	Стрептоміцети	Мікроміцети	Меланінсинте- зувальні мікроміцети	Мобілізатори мінеральних фосфатів	Кислото- утворювальні	Загальна чисельність
	0,072	60,1	38,6	6,01	10,1	17,4	0,170	0,151	5,35	22,1	920,9
	0,026	85,3	36,3	10,8	13,6	13,1	0,221	0,127	4,92	6,36	1000,3
	0,054	120,9	64,8	6,92	16,0	21,5	0,223	0,211	2,31	7,29	1283,4
	0,057	93,7	87,3	11,0	16,7	18,5	0,174	0,132	3,85	12,9	1393,2
	0,193	103,9	57,1	9,16	11,5	14,4	0,203	0,114	2,06	17,2	773,1
	0,038	89,1	70,6	9,14	13,8	12,9	0,277	0,216	1,13	31,5	1213,7
	0,012	121,0	71,0	11,9	15,9	27,6	0,257	0,169	3,82	6,91	1522,7
	0,087	72,3	51,2	5,62	8,46	13,9	0,162	0,105	3,40	7,90	873,1
	0,001	6,85	8,00	1,82	0,85	1,05	0,01	0,006	0,05	0,01	

**процесів і фітотоксичні властивості сірого лісового ґрунту
заходів за вирощування сої**

	Активність мінералізації гумусу, %	Сумарна біологічна активність, %	Маса 100 рослин тест-культури – пшениці озимої, г		
			стебло	коріння	загальна маса
	16,8	806,3	7,47	7,53	15,0
	15,9	975,2	7,75	7,69	15,4
	13,2	1013,3	7,96	7,74	15,7
	17,8	1145,6	8,01	8,09	16,1
	11,1	980,0	8,77	7,63	16,4
	8,99	1014,8	8,59	7,81	16,4
	9,65	1171,3	8,66	8,84	17,5
	8,82	861,5	7,98	8,82	16,8
			0,08	0,05	0,03

важливих гідролітиків: целюлозоруйнівних мікроорганізмів і мікроміцетів. Так, чисельність целюлозоруйнівних бактерій зростає на 8,90, 24,6 і 32,6 %. Максимальне зростання спостерігається у варіанті без добрив із внесенням ЕОР. Аналогічні показники для мікроміцетів становлять 24,2 і 26,6 %, і навпаки, у контролі не спостерігається збільшення їх чисельності.

Полісахаридсинтезувальні мікроорганізми належать до індикаційних груп нестачі мінеральних елементів у ґрунті [37]. Однак вияв індикаційних властивостей має багато обмежень, оскільки на кількість мікроорганізмів, які синтезують позаклітинні полісахариди впливає величина співвідношення C/N у ґрунті, наявність, концентрація і властивості субстратів, сумарний рівень забруднення екоотопу полютантами. Вплив усіх цих чинників у відкритих біокозних системах, якими є агроценози, сумується. Представленими дослідженнями підтверджується теза про індикаційність мікроорганізмів цієї групи: у контролях, де добрива не вносяться багато років, чисельність полісахаридсинтезувальних мікроорганізмів невелика, але вони мають максимальну

Таблиця 2.3. Вірогідність формування колоній мікроорганізмів агротехнічних заходів

Варіант		Амоніфікатори	Іммобілізатори мінерального азоту	Олігонітрофіли	Нітрифікатори	
Без добрив (контроль)		1,39	0,95	5,08	0,654	
CaCO ₃ (1,0 Нг)		2,76	1,01	4,11	3,94	
N ₃₀ P ₃₀ K ₄₅		2,10	1,16	2,25	1,07	
Сидерат + CaCO ₃ (1,0 Нг)		1,20	1,11	2,53	4,36	
N ₃₀ P ₃₀ K ₄₅ + CaCO ₃ (1,0 Нг)		1,79	0,97	2,89	0,117	
N ₃₀ P ₃₀ K ₄₅	Сидерат + побічна продукція	2,17	1,00	3,15	0,654	
N ₃₀ P ₃₀ K ₄₅ + CaCO ₃ (1,0 Нг)		3,09	1,08	3,71	0,504	
Без добрив (контроль)		4,34	1,33	3,75	0,333	

серед досліджених варіантів фізіолого-біохімічну активність (ФБА), яка в разі перевищує ФБА мікроорганізмів варіантів із внесенням мінеральних добрив (табл. 2.3). Вапнування позитивно впливає на чисельність полісахаридсинтезувальних мікроорганізмів, що збільшується на 80 % без унесення мінеральних добрив і на 52,7 % за вапнування і внесення мінеральних добрив у дозі $N_{30}P_{30}K_{45}$. Вапнування на фоні заорювання побічної продукції попередника і біомаси сидеральної культури також дає можливість збільшити кількість полісахаридсинтезувальних бактерій на 30 % (табл. 2.3).

Заорювання біомаси сидеральної культури на фоні вапнування супроводжується зростанням чисельності кислотоутворювальних мікроорганізмів, можливою причиною якого є змінення співвідношення вуглецю до азоту в ґрунті й зростання через це потреб у більшій кількості мінеральних елементів. Високий уміст кислотоутворювальних мікроорганізмів у ґрунті варіанта без добрив (контроль) свідчить, на наш погляд, про недостатню забезпеченість цього ґрунту основними макроелементами. Органічні і

(λ , год⁻¹ · 10⁻²) у сірому лісовому ґрунті за використання різних за вирощування сої

	Денітрифі- катори	Педотрофи	Автохтонні	Целюлозо- руйнівні	Мікро- міцети	Стрепто- міцети	Полісахаридсинте- зувальні	Азото- бактер	Мобіліза- тори міне- ральних фосфатів
	3,57	2,36	0,48	2,80	1,05	5,93	5,79	0,97	4,29
	0,15	2,20	0,27	3,29	1,72	8,06	2,23	1,69	2,02
	0,98	2,13	0,45	2,00	1,65	4,99	2,06	1,20	7,47
	0,06	1,77	0,32	2,93	4,96	6,58	3,34	6,73	2,89
	0,82	0,14	0,57	1,99	2,06	5,01	2,12	1,99	2,89
	0,20	2,72	0,37	4,68	2,61	4,68	2,44	1,68	4,58
	0,09	4,02	0,43	5,19	2,47	5,75	2,24	4,29	2,89
	0,26	3,78	0,34	3,13	1,64	5,49	3,30	0,24	2,45

мінеральні кислоти, як відомо, беруть активну участь у переведенні мінеральних елементів із важкодоступних форм у доступні (розчинні) для рослин і мікроорганізмів форми [3, 37], тому збільшення чисельності кислотоутворювальних мікроорганізмів у ґрунтах, збіднених на вміст макро- і мікроелементів, є закономірним. Оптимізація рН ґрунтового розчину сприяє зменшенню кількості цих мікроорганізмів (у 3,47 раза), можливо, через збільшення рухомості сполук багатьох елементів за рН близького до нейтрального. Внесення мінеральних добрив у дозі $N_{30}P_{30}K_{45}$ також зменшує чисельність кислотоутворювальних мікроорганізмів у 3,03 раза, що свідчить про правильність наших припущень стосовно наявності зв'язку між чисельністю цих мікроорганізмів і забезпеченістю ґрунту макро- і мікроелементами.

Внесення ЕОР впливає не лише на чисельність мікроорганізмів, а й на їхню фізіолого-біохімічну активність у ґрунті (табл. 2.3). У варіантах з унесенням ЕОР підвищена ФБА клітин мікроорганізмів майже всіх груп, особливо циклу вуглецю. Так, ФБА целюлозоруйнівних мікроорганізмів підвищена у варіанті $N_{30}P_{30}K_{45} + CaCO_3$ (1,0 Нг) + ЕОР у 2,61 раза, амоніфікаторів – 1,73, педотрофів – 28,7, мікроміцетів – у 1,2 раза. У варіанті із внесенням мінеральних добрив ($N_{30}P_{30}K_{45}$) і ЕОР відповідне підвищення ФБА становить для целюлозоруйнівних мікроорганізмів 2,34 раза, олігонітрофілів – 1,4, педотрофів – 1,28, мікроміцетів – 1,58 раза. І, навпаки, ФБА полісахаридсинтезувальних мікроорганізмів помітно знижена саме за внесення ЕОР, можливо через те, що полісахаридсинтезувальні бактерії розташовані у ланцюзі живлення набагато пізніше гідролітиків.

Відомо [91], що однією з важливих характеристик мікробного ценозу є питомий вміст автохтонних мікроорганізмів. Інтенсивність розкладання гумусу є важливим показником стану ґрунтових процесів, оскільки гумусові речовини зв'язують і сорбують велику кількість вуглецю, азоту, вітамінів, амінокислот та інших фізіологічно активних речовин, які споживаються рослинами у процесі росту. Згідно з одержаними даними, найвищий рівень мінералізації гумусу спостерігається у ґрунті варіанта без доб-

рив (контроль). Унесення мінеральних добрив зумовлює зниження активності мінералізації гумусу на 27,3 % (табл. 2.2), що пов'язано із кращим вегетативним ростом рослин, більшим виділенням корневих ексудатів, це сприяє уповільненню деструкції гумусу як менш доступного субстрату. Внесення мінеральних добрив сумісно із вапнуванням знижує активність розкладання гумусу ще на 18,9 %, що збігається з даними попередніх досліджень [39, 40, 45, 70, 71]. При цьому зменшується як чисельність автохтонних мікроорганізмів, так і їхня фізіолого-біохімічна активність (табл. 2.1, 2.3). Заорювання біомаси сидеральної культури майже не вплинуло на активність мінералізації гумусу (за винятком варіанта контролю), можливо, через тривалість післядії цього агрозаходу, яка становить 3 роки.

Унесення ЕОР уповільнює освоєння органічної речовини ґрунту мікроорганізмами. Так, у варіанті сумісного застосування вапнування і мінеральних добрив внесення ЕОР зменшує індекс педотрофності на 91,1 %, під час застосування лише мінеральних добрив ($N_{30}P_{30}K_{45}$) – на 36,2 %. Аналогічно заорювання ЕОР впливає на інтенсивність інших мінералізаційних процесів. Наприклад, коефіцієнт мінералізації-іммобілізації сполук азоту зменшується у варіантах із заорюванням ЕОР: на фоні мінеральних добрив – на 55 %, за сумісного застосування вапнування і мінеральних добрив – на 54,2, у контрольному варіанті – на 90,8 %.

Заорювання побічної продукції попередника у сівозміні та біомаси сидеральної культури істотно підвищує сумарну біологічну активність ґрунту у варіанті без добрив на 6,85 %, на фоні внесення мінеральних добрив – 25,6, на фоні мінерального удобрення і вапнування – на 45,3 %.

Багаторічні дослідження показали, що кількість азотобактера в ризосфері сої впродовж вегетаційного періоду зменшується: різко після фази сходів до фази цвітіння, залишається невисокою (10–16 %) у фазі формування бобів і наливу насіння, і знов зменшується у фазі повного досягання до 2,7–3,3 % оброслих грубочок [41]. Тому більшу частину вегетаційного періоду кількість

азотобактера в ризосфері сої визначається як невисока. Зокрема, за вирощування пшениці [94] у контролі кількість азотобактера становила 88 % обростання грудочок ґрунту, а за вирощування сої (*табл. 2.1*) відповідний показник становив 12 %. Можна розглядати цей факт як вияв конкуренції з боку симбіотичних та асоціативних азотофіксуювальних мікроорганізмів, які тісно взаємодіють із рослинами сої впродовж вегетації і витісняють азотобактер із ризосфери як мікроорганізм, що не має тісних взаємовідносин із рослиною (вільноіснуючий). Говорячи про симбіотичні мікроорганізми, ми маємо на увазі ту частину їх популяції, яка не проникла всередину рослини і залишилася у ризосфері, у цьому стані вони також використовують субстрати, які надає рослина, і теж фіксують азот (із меншою ефективністю та інтенсивністю), який споживається рослиною в процесі вегетації. Можна розглядати цей стан їхнього існування як асоціативний. Ці результати також підтверджують висновок про те, що вирощування бобових у монокультурі, а також у складі бобово-злакових травосумішок супроводжується зниженням чисельності азотобактера порівняно із вирощуванням зернових [42, 44].

Вапнування (як і за вирощування пшениці) позитивно впливає на кількість азотобактера, що зростає за відсутності мінерального удобрення на 33,3 %, у варіанті з внесенням мінеральних добрив ($N_{30}P_{30}K_{45}$) у 3,53 раза, із внесенням побічної продукції рослинництва і сидерата – на 19,3 % (*табл. 2.1*). У результаті регуляції кислотно-лужної рівноваги ґрунтового середовища зростає не лише кількість клітин азотобактера, а й їхня фізіолого-біохімічна активність: за відсутності мінерального удобрення на 74,2 %, у варіанті з внесенням мінеральних добрив ($N_{30}P_{30}K_{45}$) у 6,94 раза, із внесенням побічної продукції рослинництва і сидерата – у 4,42 раза (*табл. 2.3*). Ці дані ще раз підтверджують те, що одним з основних чинників, які впливають на розвиток азотобактера є кислотно-лужна рівновага ґрунтового середовища.

Внесення азотних мінеральних добрив інгібує розвиток азотобактера, його кількість знижується порівняно із контролем у 2,26 раза, однак унесення мінеральних добрив на фоні вапну-

вання не призводить до зниження чисельності цього мікроорганізму. Приведені дані стосуються варіантів досліду без внесення екзогенної органічної речовини, внесення мінеральних добрив сумісно із вапнуванням на фоні внесення ЕОР сприяє збільшенню чисельності азотобактера порівняно із внесенням тільки мінеральних добрив ($N_{30}P_{30}K_{45}$) у 2,36 раза. Отже, негативний вплив мінеральних добрив на розвиток азотобактера пов'язаний, з одного боку, зі зниженням конкурентоспроможності цього мікроорганізму за достатньої забезпеченості ґрунту джерелами екзогенного мінерального азоту, а з другого – із підвищенням кислотності ґрунту внаслідок унесення фізіологічно кислих мінеральних добрив, якому запобігає вапнування.

Приведені експериментальні дані підтверджують попередньо сформульовані висновки щодо підвищення чисельності азотобактера у варіантах технологій із внесенням ЕОР завдяки високій адсорбційній здатності органічних полімерів, що дає можливість знизити рівень забрудненості ґрунту поліюантами. І оскільки азотобактер дуже чутливий до різноманітних забруднювачів як мінеральних (важкі метали), так і органічних (нафтопродукти, пестициди) [51, 102], то його чисельність підвищується у варіантах технологій із застосуванням побічної продукції рослинництва та біомаси сидеральної культури (табл. 2.1). Зокрема, чисельність азотобактера у контролі підвищується на 55,8 %, за внесення $N_{30}P_{30}K_{45}$ – 75,5, за внесення $N_{30}P_{30}K_{45} + CaCO_3$ (1,0 Нг) – на 19,3 %.

Вапнування створює умови для ефективнішого використання мінеральних добрив мікроорганізмами. Так, вапнування у варіанті із внесенням мінеральних добрив (на фоні ЕОР) сприяє зростанню чисельності амоніфікаторів на 29,2 %, іммобілізаторів мінерального азоту – 26,5, денітрифікаторів – 83, педотрофів – 35,8, полісахаридсинтезувальних – 30,2, стрептоміцетів – 114,0, загальної чисельності мікроорганізмів – на 36,6 %, мобілізаторів мінеральних фосфатів – у 3,38 раза (табл. 2.1).

Отже, показано, що серед досліджених агротехнічних заходів внесення екзогенної органічної речовини (сидерат+побічна

продукція) найвагоміше впливає на чисельність мікроорганізмів агрономічно цінних груп. Встановлено також, що заорювання побічної продукції попередника і біомаси сидеральної культури зумовлює поліпшення екологічних умов в агроценозах, про що свідчить зменшення частки меланінсинтезувальних мікроміцетів у загальній кількості і фітотоксичності ґрунту на 7,64 %.

ВПЛИВ СПОСОБІВ ОБРОБІТКУ НА СПРЯМОВАНІСТЬ ТА НАПРУЖЕНІСТЬ МІКРОБІОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ У СІРОМУ ЛІСОВОМУ ҐРУНТІ

Способи обробітку ґрунту, особливо за їх тривалого використання, істотно впливають на фізико-хімічні показники ґрунту, співвідношення між водною і повітряною фазами, визначаючи таким чином рівень їх біологічної активності. При цьому відбуваються структурні й функціональні зміни у складі мікробних угруповань: зміни переважаючих видів, зміна стратегій росту, способів мікробної трансформації гумусу, зокрема, активізація процесу дегуміфікації [8, 28].

У ґрунті з високою щільністю сповільнюється газообмін з атмосферним повітрям, зростає вміст газів – продуктів активної діяльності анаеробних мікроорганізмів (діоксиду вуглецю, метану, етилену та ін.). За таких умов інтенсивність розкладання свіжих рослинних решток знижується, однак поліпшується їх гуміфікація [28]. О.А. Берестецьким зроблено висновок, що за безполицевого обробітку в ґрунті зростає чисельність аеробної мікрофлори (мікрومیцети, целюлозоруйнівні бактерії), внаслідок чого трансформація свіжої органічної маси відбувається з високою інтенсивністю і низьким коефіцієнтом гуміфікації [7].

За безполицевого обробітку щільність ґрунту зростає із $0,9\text{--}1,0\text{ г/см}^3$ до $1,17\text{--}1,23\text{ г/см}^3$, що сприяє зменшенню чисельності аеробних мікроорганізмів: актиноміцетів – у 3 рази, нітрифікаторів – на 30 %, целюлозолітиків і мікроскопічних грибів – у $1,5\text{--}2$

рази, внаслідок чого знижується ефективність дії мінеральних добрив. За полицевого обробітку спостерігається збільшення чисельності мікробних популяцій, підвищення частки аеробних амоніфікаторів і рівномірніший їх розподіл за шарами ґрунту порівняно з плоскорізним обробітком [33].

Проведено дослідження впливу типу основного обробітку сірого лісового ґрунту на інтенсивність та спрямованість мікробіологічних процесів у кореневій зоні рослин ячменю на фоні різних систем удобрення [60]. Установлено, що спосіб основного обробітку ґрунту істотно впливає на чисельність мікроорганізмів у кореневій зоні рослин ячменю. Зокрема, у варіанті застосування оранки чисельність амоніфікаторів є нижчою, ніж за використання дискування і поверхневого обробітку (табл. 3.1). Вплив побічної продукції рослинництва і мінеральних добрив відчутніший за використання оранки і дискування. Так, внесення побічної продукції і мінеральних добрив у варіантах оранки зумовлює збільшення чисельності амоніфікаторів на 53,5 і 77,5 %; відповідні показники у варіантах дискування становлять 92,7 і 106,4 %. За використання поверхневого обробітку вплив агрозаходів є не таким відчутним і збільшення чисельності амоніфікаторів за внесення побічної продукції становить лише 10,5 %, за сумісного внесення побічної продукції і мінеральних добрив – 11,9 %. Ця закономірність виявляється на прикладі мікроорганізмів інших досліджених груп і загальної чисельності мікроорганізмів. Найменшою чисельністю мікроорганізмів характеризується ґрунт у варіантах оранки, найбільшою – у варіантах поверхневого обробітку. Так, загальна чисельність мікроорганізмів у контрольному варіанті поверхневого обробітку перевищує чисельність мікроорганізмів у контрольному варіанті оранки у 2,10 рази, за внесення побічної продукції – 2,03, за внесення мінеральних добрив – у 1,31 рази. Отримані закономірності збігаються із закономірностями, що встановлені Макуріною зі співавт. [74], а саме, послаблення механічного обробітку призводить до зростання біогенності ґрунту, особливо поверхневого шару: за мінімального обробітку чисельність бактерій збіль-

шується у 3 рази, а за нульового – у 4 рази і становить $22,5 \cdot 10^6$ КУО/г ґрунту і $27,4 \cdot 10^6$ КУО/г ґрунту відповідно. Кількість грибів зростає удвічі за нульового обробітку порівняно з іншими видами обробітку і становить $13,7 \cdot 10^3$ КУО/г, а за оранки і нульового обробітку $6,0 \cdot 10^3$ КУО/г ґрунту.

Чисельність азотобактера залежить від способу обробітку ґрунту, за відсутності удобрення кількість КУО азотобактера зменшується у варіанті оранки порівняно із поверхневим обробітком на 68,7 % (табл. 3.1). Це збігається із даними С.І. Коржова зі співавт. [33], а саме, за тривалого використання безполицевого обробітку і глибокої оранки спостерігається зниження родючості чорноземного ґрунту, посилення мобілізаційних процесів, зменшення чисельності целюлозоруйнівних мікроорганізмів і азотобактера. Кількість останнього зменшується в 2,1–2,3 раза за безполицевого обробітку і на 29–37 % за оранки на глибину до 30–32 см.

Багаторічними дослідженнями було показано, що внесення азотних мінеральних добрив у сірий лісовий ґрунт призводить до зменшення кількості азотобактера, оскільки він стає менш конкурентоспроможним в умовах забезпеченості ґрунту азотом [49, 50]. Наведені результати свідчать про те, що характер впливу мінеральних добрив на чисельність азотобактера залежить від способу обробітку ґрунту: за оранки і дискування внесення мінеральних добрив сприяє істотному збільшенню чисельності зазначеного мікроорганізму, при цьому змінюється переважаючий вид азотобактера з *Azotobacter vinelandii* на *A. chroococcum*. За поверхневого обробітку ґрунту чисельність азотобактера в результаті внесення мінеральних добрив зменшується у 3,3 раза, при цьому домінуючий вид залишається тим самим, що й у варіанті без унесення добрив – *A. vinelandii*. Важливо підкреслити, що внесення побічної продукції призводить до збільшення чисельності азотобактера, оскільки у ґрунті підвищується співвідношення C/N. Особливо яскраво ця закономірність проявляється за використання поверхневого обробітку і дискування, при цьому також змінюється переважаючий вид азотобактера з

Таблиця 3.1. Чисельність мікроорганізмів у сірому лісовому способів обробітку ґрунту,

Варіант		Амоніфікатори	Імобілізатори мінерального азоту	Олігонітрофіли	Азотобактер, % обростання ґрундовочок ґрунту	Денітрифікатори	Нітрифікатори	
Без добрив (контроль)	Оранка на 12–14 см	159,0	27,5	30,6	23,3	21,1	0,156	
Побічна продукція		244,1	32,1	27,2	26,7	47,5	0,127	
П/п + N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀		282,2	78,5	32,8	36,0	146,6	0,126	
Без добрив (контроль)	Дискування на 10–12 см	301,0	53,4	33,7	20,7	118,3	0,133	
Побічна продукція		580,1	99,1	82,3	36,7	116,1	0,127	
П/п + N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀		621,2	72,7	36,4	98,0	148,3	0,114	
Без добрив (контроль)	Поверхневий обробіток на 5–7 см	402,3	70,7	50,0	39,3	152,3	0,163	
Побічна продукція		444,5	92,9	68,6	62,7	146,3	0,108	
П/п + N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀		450,0	92,3	52,9	12,0	114,1	0,124	
НІР ₀₅		9,44	4,03	2,00	3,15	5,40	0,005	

*КУО – колонієутворювальна одиниця;

A. vinelandii на *A. chroococum*. Отже, вплив агрозаходів на чисельність азотобактера має складний характер, який залежить від вмісту доступного азоту, співвідношення C/N у ґрунті, виду сільськогосподарської культури, що вирощується [49, 52], і способу обробітку ґрунту, який впливає, можливо, через механізм формування повітряного режиму ґрунту, оскільки азотобактер належить до аеробних мікроорганізмів.

Спосіб обробітку ґрунту впливає на чисельність мікроорганізмів такої важливої діагностичної групи, як полісахаридсинтезувальні бактерії. Позаклітинні полісахариди ґрунтових мікроорганізмів забезпечують продуцентам переваги за виживання у природних умовах: допомагають витримувати тривалу посуху, прискорюють дифузію низькомолекулярних поживних речовин у безпосередній близькості від клітин, беруть участь в адгезії

ґрунті кореневої зони рослин ячменю за використання різних мли КУО*/ г абсолютно сухого ґрунту

	Педотрофи	Целюзоруй-нівні бактерії	Полісахарид-синтезувальні	Автохтонні	Стрептоміцети	Мікроміцети	Мобілізатори мінеральних фосфатів	K _r **	Кислотоутворю-вальні	Меланінутво-рювальні	Загальна чи-сельність
	35,8	65,6	3,87	12,1	7,75	0,092	13,0	0,859	3,88	0,039	479,3
	54,3	61,2	3,87	15,3	9,15	0,194	19,4	1,813	4,58	0,046	550,6
	59,3	50,3	4,89	14,8	23,0	0,181	9,42	0,451	8,03	0,080	775,7
	66,6	73,1	6,45	20,1	13,6	0,126	15,8	0,723	7,17	0,072	754,0
	109,8	133,6	10,2	26,8	27,4	0,116	20,0	0,464	4,22	0,042	1286,0
	70,5	93,2	7,77	17,9	13,8	0,067	21,9	0,882	2,82	0,028	1201,7
	84,2	76,5	7,62	19,0	15,8	0,134	21,8	0,462	7,98	0,080	1006,3
	106,7	64,8	9,06	21,9	23,3	0,181	23,7	0,468	3,83	0,038	1118,9
	84,8	72,6	10,5	20,1	24,5	0,204	21,8	1,10	3,80	0,052	1015,0
	4,23	4,08	0,07	1,88	1,74	0,01	1,80		0,61	0,008	

**K_r – питома фосфатмобілізувальна активність [36].

клітин до гідрофобних субстратів і ґрунтових часточок, захищають клітини від дії біоцидів і детергентів, інтенсифікують розчинення мінеральних елементів з важкодоступних форм, поліпшуючи тим самим мінеральне живлення рослин та ін. [38, 100, 110]. Все це дає змогу розглядати підвищену кількість полісахаридсинтезувальних мікроорганізмів як пристосування мікробного угруповання до навколишнього середовища, що забезпечує йому селективні переваги в умовах стресу. Мікробні угруповання варіантів із використанням дискування і, особливо поверхневого обробітку, характеризуються більшою чисельністю полісахаридсинтезувальних мікроорганізмів, тому можна вважати їх стабільнішими і пристосованішими до навколишнього середовища, ніж мікробні угруповання варіантів ґрунту за використання оранки.

Таблиця 3.2. Вірогідність формування колоній мікроорганізмів ячменю за використання різних

Варіант		Амоніфікатори	Імобілізатори мінерального азоту	Олігонітрофіли	
Без добрив (контроль)	Оранка на 12–14 см	1,18	0,832	5,00	
Побічна продукція		5,44	0,985	2,50	
П/п + N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀		0,158	0,299	1,94	
Без добрив (контроль)	Дискування на 10–12 см	1,57	0,212	6,84	
Побічна продукція		1,32	0,412	3,71	
П/п + N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀		0,924	0,363	8,43	
Без добрив (контроль)	Поверхневий обробіток на 5–7 см	0,886	0,278	4,48	
Побічна продукція		3,91	0,321	2,39	
П/п + N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀		0,918	0,155	7,34	

Як було зазначено вище, захисною реакцією мікроорганізмів на антропогенне забруднення є здатність до утворення меланоїдних пігментів [19, 63, 106]. Результати проведених нами досліджень підтверджують цей висновок: внесення побічної продукції рослинництва знижує частку мікроміцетів, які синтезують меланіни у варіанті оранки на 87,7 %, у варіанті дискування – на 56,3 і за поверхневого обробітку – на 180,7 % (табл. 3.1). Отже, внесення побічної речовини, яка містить велику кількість полісахаридних молекул із акумулювальною здатністю щодо різноманітних політантів, сприяє зменшенню антропогенного тиску, що виражається у зменшенні частки меланінсинтезуювальних мікроміцетів. Унесення сумісно із побічною продукцією мінеральних добрив, які мають у своєму складі небажані домішки, зокрема важкі метали, знов призводить до збільшення частки меланінсинтезуювальних мікроміцетів у загальній кількості мікроскопічних грибів.

Дослідження фізіолого-біохімічної активності мікроорганізмів безпосередньо у ґрунті показало, що обробіток ґрунту істот-

(λ , год⁻¹ · 10⁻²) у сірому лісовому ґрунті кореневої зони рослин способів обробітку ґрунту

	Денітрифікатори	Нітрифікатори	Педотрофи	Автохтонні	Целюлозоруйнівні	Мікроміцети	Мобілізатори мінеральних фосфатів
	0,328	0,590	1,20	0,487	0,665	3,58	7,24
	0,408	0,898	0,494	0,479	0,402	2,97	2,78
	0,439	0,654	1,05	1,03	0,973	5,20	3,05
	0,076	0,783	0,663	0,784	0,569	5,19	2,19
	0,611	1,07	1,23	0,751	1,51	4,99	2,69
	1,47	0,801	0,602	0,728	2,31	4,83	2,34
	0,258	0,800	0,760	0,680	0,685	5,04	5,81
	0,506	1,09	0,790	0,684	2,38	5,20	2,84
	0,189	1,11	0,668	0,640	1,08	6,03	1,72

но впливає на цей показник (табл. 3.2). Так, іммобілізатори мінерального азоту, педотрофи і мобілізатори мінеральних фосфатів активніші за використання оранки, олігонітрофіли і автохтонні мікроорганізми – за використання дискування, нітрифікатори, мікроміцети і целюлозоруйнівні мікроорганізми – за використання поверхневого обробітку і дискування.

Обробіток ґрунту впливає на активність освоєння органічної речовини: за використання оранки цей процес проходить активніше, ніж за використання дискування і поверхневого обробітку (табл. 3.3). Унесення побічної продукції дає змогу істотно знизити активність витрачання органічної речовини: за оранки – на 146,6 %, за дискування – 16,9, за поверхневого обробітку – на 28,8 %. Сумісне внесення побічної продукції із мінеральними добривами дає змогу знизити цей показник ще більше завдяки кращому росту рослин на цих варіантах досліду і виділенню корневих ексудатів, які впливають на перебіг мінералізаційних процесів у ґрунті. Варіанти обробітку ґрунту розрізняються за своїм впливом на активність мінералізації гумусових сполук. Оранка

Таблиця 3.3. Показники інтенсивності мінералізаційних процесів рослин ячменю за використання

Варіант	Індекс педотрофності	Коефіцієнт		
		оліготрофності	мінералізації азоту	
Без добрив (контроль)	Оранка на 12–14 см	0,550	0,192	33,8
Побічна продукція		0,223	0,111	28,1
П/п + N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀		0,210	0,116	25,0
Без добрив (контроль)	Дискування на 10–12 см	0,221	0,112	30,2
Побічна продукція		0,189	0,142	24,4
П/п + N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀		0,114	0,059	25,4
Без добрив (контроль)	Поверхневий обробіток на 5–7 см	0,309	0,124	22,6
Побічна продукція		0,240	0,154	20,5
П/п + N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀		0,188	0,118	23,7
НІР ₀₅				

сприяє інтенсифікації цього процесу: активність мінералізації гумусу в ґрунті варіанта без добрив перевищує показники варіантів дискування і поверхневого обробітку на 11,9 і 49,6 % відповідно; за внесення побічної продукції відповідні показники становлять 15,6 і 37,1 %, за оптимізації мінерального живлення рослин – 5,49 % (табл. 3.3). Отже, найбільшого уповільнення мінералізації гумусових сполук можна досягти за використання поверхневого обробітку. Отримані нами дані збігаються із закономірностями, встановленими А.Д. Міхновською зі співавт. [81]: за 2-річного використання безполицевого обробітку чорнозему вміст автохтонної мікрофлори істотно зменшується, що сприяє збільшенню вмісту гумусу на 0,2–0,3 %. Однак за тривалого (10–18 років) використання безполицевого обробітку розвиток автохтонної мікрофлори знов активізується, мінералізаційна активність мікрофлори зростає до рівня варіантів із застосуванням оранки, і подальшого зростання вмісту гумусу не відбувається [81]. Ці дані свідчать на користь чергування оранки з безплужним обробітком.

і фітотоксичні властивості сірого лісового ґрунту кореневої зони різних способів обробітку ґрунту

	Активність мінералізації гумусу, %	Сумарна біологічна активність	Маса 100 рослин тест-культури – пшениці озимої, г		
			стебло	коріння	загальна маса
	33,8	612,9	5,78	4,68	10,5
	28,1	754,9	6,70	5,18	11,9
	25,0	980,6	7,49	5,96	13,5
	30,2	914,9	5,34	3,98	9,32
	24,4	1005,4	5,44	4,71	10,2
	25,4	1228,4	6,29	5,53	11,8
	22,6	1071,1	5,15	3,75	8,90
	20,5	1028,4	5,86	4,58	10,4
	23,7	1159,9	5,32	4,43	9,75
			0,15	0,08	0,08

Внесення побічної продукції, і особливо одночасно з оптимізуванням мінерального живлення рослин, також сприяє уповільненню розкладання гумусових сполук: за оранки на 20,3 і 35,2 %, за дискування – на 23,8 і 18,9 %, за поверхневого обробітку – на 10,2 і 0,95 %. Причиною цих явищ може бути те, що побічна продукція слугує доступним джерелом вуглецю для автохтонних і гетеротрофних мікроорганізмів, це дає змогу знизити активність мінералізації гумусу. Оптимізація мінерального живлення сприяє активнішому росту рослин і відповідно виділенню більшої кількості корневих ексудатів, які містять легкодоступні субстрати для розвитку мікроорганізмів.

Токсичність ґрунту виявилася найменшою за використання оранки, особливо у варіанті оптимізування мінерального живлення рослин і внесення побічної продукції попередника (табл. 3.3). Можливою причиною цього може бути окиснення токсичних речовин киснем, який має більший доступ у ґрунт за оранки порівняно із дискуванням і поверхневим обробітком.

Мінімальною сумарною біологічною активністю (СБА) характеризується ґрунт варіанта з оранкою, середньою – варіанта з використанням дискування, максимальною – за поверхневого обробітку (табл. 3.3). Так, у контрольному варіанті за поверхневого обробітку сумарна біологічна активність перевищує таку за дискування і оранки на 17,1 і 74,6 % відповідно. Аналогічні показники для варіантів із заорюванням побічної продукції становлять 33,2 і 36,2 %, для варіантів із поверхневим обробітком – 25,3 і 18,3 % відповідно. На сумарну біологічну активність впливає заорювання побічної продукції і внесення мінеральних добрив. Так, у варіанті із використанням оранки заорювання побічної продукції підвищує СБА на 23,2 %, а внесення мінеральних добрив – на 60 %. У варіанті із застосуванням дискування заорювання побічної продукції підвищує СБА на 9,89 %, а внесення мінеральних добрив – на 22,2 %. У варіанті із застосуванням поверхневого обробітку заорювання побічної продукції не супроводжується підвищенням сумарної біологічної активності, а внесення мінеральних добрив призводить до підвищення СБА на 8,29 %.

Переваги безполицевого обробітку ґрунту описано у літературі [2]. Так, після 2-річного застосування безполицевого обробітку чорнозему мікробна біомаса зросла на 41 %, знизилася чисельність автохтонної мікрофлори, що бере участь у процесах дегуміфікації, внаслідок чого вміст гумусу збільшився на 0,2–0,3 %. Однак за тривалого (10–18 років) застосування безполицевого обробітку розвиток автохтонної мікрофлори знов активізується.

Інтенсивність і напрям мікробіологічних процесів у ґрунті залежать як від чисельності мікроорганізмів, так і від специфіки функціональних зв'язків між ними. На основі даних про динаміку розвитку мікроорганізмів у досліджених ґрунтах нами розраховані коефіцієнти кореляції між показниками чисельності мікроорганізмів різних еколого-трофічних груп і побудовані кореляційні матриці за методом П. Терентьєва [93]. Проведений аналіз свідчить, що високим рівнем стабільності мікробних

угруповань вирізняються варіанти досліду із використанням поверхневого обробітку і дискування, варіанти досліду із використанням оранки є найменш стабільними. Так, мікробне угруповання варіанта оранки без добрив характеризується 63 значущими зв'язками, дискування – 75, поверхневого обробітку – 83. Унесення побічної продукції і мінеральних добрив призводить до стабілізації мікробного угруповання лише у варіанті із використанням оранки, кількість значущих кореляційних зв'язків зростає у цьому варіанті на 38,1 і 12,7 % відповідно, у варіантах із дискуванням і поверхневим обробітком кількість значущих зв'язків у результаті внесення побічної продукції майже не зростає, залишаючись на рівні контрольного варіанта.

Звертає на себе увагу факт переважання кількості прямих кореляційних залежностей над оберненими, це стосується як високо- ($r = 0,666-0,999$), так і середньозначущих зв'язків ($r = 0,333-0,665$). Поясненням цьому може бути, на наш погляд, вибір для дослідження певних еколого-трофічних і функціональних груп мікроорганізмів, які тісно пов'язані між собою у циклах перетворення азоту, вуглецю та ін.

Отже, спосіб та глибина основного обробітку ґрунту впливає на чисельність і фізіолого-біохімічну активність мікроорганізмів більшості досліджених еколого-трофічних, систематичних і функціональних груп. Найменшою чисельністю мікроорганізмів характеризується ґрунт після оранки, а найбільшою – після поверхневого обробітку. Характер впливу мінеральних добрив на чисельність азотобактера залежить від способу обробітку ґрунту: за оранки і дискування внесення мінеральних добрив зумовлює істотне збільшення чисельності цього мікроорганізму і зміну переважаючого виду з *A. vinelandii* на *A. chroococcum*. За використання поверхневого обробітку чисельність азотобактера в результаті внесення мінеральних добрив зменшується, при цьому зміни переважаючого виду не відбувається. Унесення побічної продукції призводить до збільшення чисельності азотобактера, оскільки у ґрунті підвищується співвідношення C/N.

Обробіток ґрунту впливає на мікробіологічну активність освоєння органічної речовини: за оранки цей процес проходить активніше, ніж за обробітку без обертання скиби. Обробіток з обертанням скиби зумовлює активізацію мінералізації гумусу, інтенсивність якої вища, ніж за дискування і поверхневого обробітку на 11,9 і 49,6 % відповідно. Максимальне уповільнення мінералізації гумусу досягається за поверхневого обробітку ґрунту і заорювання побічної продукції попередника у сівозміні.

Розділ 4

ПЕРЕБІГ МІКРОБІОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ У ҐРУНТАХ ПЕРЕЛОГІВ РІЗНОЇ ТРИВАЛОСТІ ТА АГРОЗЕМАХ

4.1.

ВПЛИВ ТРИВАЛОСТІ ПЕРЕБУВАННЯ У ПЕРЕЛОГОВОМУ СТАНІ НА МІНЕРАЛІЗАЦІЙНІ ТА СИНТЕЗАЦІЙНІ ПРОЦЕСИ У СІРОМУ ЛІСОВОМУ ҐРУНТІ

У сучасних системах землеробства дедалі більшої актуальності набуває проблема деградації ґрунтового покриву, зумовлена зростаючим антропогенним впливом на ґрунти. За оцінками міжнародних експертів, майже 2 млрд га, або 15 % світового земельного фонду, уражено процесами ерозії, дефляції, нестачі у ґрунтах основних поживних речовин, засолення, переущільнення та техногенного забруднення [104]. В Україні тривале нерациональне використання ґрунтів, екологічно незбалансоване землеробство призвели до значної деградації ґрунтового покриву. Загальна площа угідь, які зазнали згубного впливу водної ерозії у сільськогосподарському землекористуванні, становить 13,3 млн га (32 %), зокрема 10,6 млн га орних земель. У складі еродованих земель перебуває понад 4,5 млн га із середньо- та сильнозмитими ґрунтами, зокрема 68 тис. га, які повністю втратили гумусовий горизонт [29].

Така ситуація потребує негайного впровадження практичних заходів, спрямованих на збереження родючості та припинення

деградації ґрунтів. Одним із способів розв'язання цієї проблеми є переведення під лукопасовищні угіддя близько 10 млн га малопродуктивних орних земель згідно з постановою Президії УААН та Міністерства аграрної політики України (2000 р.). Вилучення земельних угідь із сільськогосподарського використання не має носити стихійного характеру, а має проводитися з урахуванням фундаментальних закономірностей функціонування екосистем на всіх рівнях їхньої організації, зокрема на рівні мікробних угруповань, які є найчутливішими до змін умов існування біогеоценозу. Перевагами мікробіологічних методів досліджень є також те, що вони дають змогу дослідити спрямованість саме агрономічно значущих процесів: мінералізації та іммобілізації азотомісних сполук, нітрифікації, азотофіксації, денітрифікації, розкладання органічної речовини ґрунту, гумусу тощо.

Закономірності мікробіологічних процесів, що проходять у ґрунтах за їх введення у сільськогосподарське використання, досліджені досить повно. Так, дослідженнями С.О. Благодатського зі співавт. [8] показано, що орання цілинних земель, тривалий обробіток ґрунту з оборотом пласта, незбалансоване внесення добрив призводять до порушення екологічної рівноваги у ґрунті, зміни закономірностей трансформації гумусу, його якісного складу, біогенності ґрунту тощо. Вже через 10 років після розорювання загальна кількість мікробної біомаси знижується на 25 % порівняно із перелогом, а через 36 років зменшується ще на 40 %. Триваліший період використання земель під оранкою (46 і 76 років) призводить до зменшення мікробної біомаси удвічі порівняно із 10-річним використанням, що підтверджується даними вмісту мікробної ДНК. У таких ґрунтах зростає індекс ауксотрофності, що свідчить про зниження метаболічного різноманіття ґрунтової біоти. У природних біоценозах (цілина, переліг, луг) мікробна біомаса у ґрунті не має значних коливань внаслідок рівноваги, що утворилася між органічною речовиною, яка надходить і яка мінералізується.

Малодослідженою залишається динаміка відновлення природної рівноваги в ґрунтах, виведених із обробітку, тобто ви-

вчення спрямованості та інтенсивності мікробіологічних процесів у ґрунтах перелогів різної тривалості порівняно з агроземами. На прикладі перелогів на територіально близьких ділянках: 1 – ґрунт, виведений із сільськогосподарського використання у 1987 р. (багаторічний переліг), тип фітоценозу – валіськокострицевий; 2 – ґрунт, виведений із сільськогосподарського використання у 2000 р. (малорічний переліг), тип фітоценозу – наземнокуничниковий; 3 – ґрунт, виведений із сільськогосподарського використання у 2007 р. (трирічний переліг), тип фітоценозу – різнотрав'я; 4,5 – агроземи стаціонарного дослідження, закладеного в 1987 р.; 4 – контроль, польова сівозміна без використання мінеральних і органічних добрив (екстенсивний агрозем), культура – кукурудза; 5 – польова сівозміна з насиченістю мінеральними добривами $N_{96}P_{108}K_{112,5}$ по фоні заорювання побічної продукції рослинництва (інтенсивний агрозем), культура – кукурудза, було встановлено, що найбільшою чисельністю мікроорганізмів характеризується мікробіоценоз багаторічного перелогу та інтенсивного агрозему (табл. 4.1). У ґрунті багаторічного перелогу міститься більше мікроорганізмів циклу азоту порівняно з трирічним перелогом: амоніфікувальних – на 54,5 %, іммобілізаторів мінерального азоту – 16,8, олігонітрофілів – 99, нітрифікаторів – на 114,3 %. Водночас мікробіоценоз багаторічного перелогу містить менше мікроорганізмів циклу вуглецю: педотрофів – на 107,9 %, целюлозоруйнівних – 19,1, полісахаридсинтезувальних – 260,3, автохтонних – на 270,1 %. Отже, чисельність мікроорганізмів окремих еколого-трофічних і функціональних груп у ґрунті перелогу змінюється з часом його перебування у перелоговому стані. Це підтверджується агрохімічними даними, зокрема, вміст лужногідролізованого азоту зі зростанням тривалості перелогу збільшується на 42,9 %, вміст нітратної форми азоту знижується до кількості, яка не визначається аналітичними методами, вміст амонійної форми азоту знижується на 60–100 %, вміст рухомого фосфору – на 32,5 % (табл. 4.2). При цьому ступінь рухомості фосфору в ґрунтах перелогів різної тривалості є майже однаковим.

Таблиця 4.1. Чисельність мікроорганізмів у сірому млн КУО*/г абсолютно

Варіант	Амоніфікатори	Імобілізатори мінерального азоту	Олігонітрофіли
Переліг з:			
1987 р., валіськокострицевий фітоценоз	30,9	65,9	41,0
2000 р., наземнокуничниковий фітоценоз	12,1	57,7	41,8
2007 р., різнотрав'я	20,0	56,4	20,6
Агрозем:			
без добрив, кукурудза	21,4	26,2	32,1
N ₉₆ P ₁₀₈ K _{112,5} + побічна продукція рослинництва, кукурудза	30,1	76,9	65,0
НІР ₀₅	4,2	1,8	3,5

*КУО – колонієутворювальна одиниця.

Таблиця 4.2. Агрохімічні показники сірого лісового ґрунту перелогів різної тривалості та агроземів

Варіант	Уміст, мг/кг					Ступінь рухомості, P ₂ O ₅ , мг/100г
	N лужно-гідролізований	N-NO ₃	N-NH ₄	P ₂ O ₅	K ₂ O	
Переліг з:						
1987 р., валіськокострицевий фітоценоз	84,0	Відсут.	1,25	200,0	82,5	0,24
2000 р., наземнокуничниковий фітоценоз	63,0	Відсут.	1,00	225,0	62,5	0,23
2007 р., різнотрав'я	58,8	1,50	2,00	265,0	76,0	0,24
Агрозем:						
без добрив, кукурудза	64,4	4,50	1,75	225,0	59,0	0,21
N ₉₆ P ₁₀₈ K _{112,5} + побічна продукція рослинництва, кукурудза	68,6	64,6	2,00	600,0	254,0	0,66
НІР ₀₅	2,05	0,85	0,56	10,7	10,2	0,04

**лісовому ґрунті перелогів різної тривалості та агроземів,
сухого ґрунту**

	Азотобактер, % обростання грудочок ґрунту	Нітрифікатори	Денітрифіка- тори	Педагофи	Целюзоруй- нівні бактерії	Полісахарид- синтезувальні	Автохтонні	Стрептоміцети	Мікроміцети	Мобілізатори мінеральних фосфатів	Мобілізатори органічних фосфатів	Загальна чи- сельність
	96,7	0,30	4,83	53,0	31,4	1,21	5,62	17,2	0,31	10,0	50,5	116,2
	0	0,20	12,4	52,6	32,8	2,52	7,32	6,49	0,23	2,52	1,44	230,1
	92,0	0,14	119,8	110,2	37,4	4,36	20,8	15,6	0,17	10,3	0,01	507,7
	100,0	0,24	10,5	32,9	62,8	1,48	26,3	8,49	0,17	8,86	1,11	332,5
	50,7	0,15	50,1	79,5	88,9	8,91	25,7	35,3	0,25	18,4	10,0	539,9
	5,2	3,4	10,2	3,4	4,7	3,0	7,0	2,9	4,0	2,0	3,1	

Однією з найпоказовіших груп стану ґрунту з погляду забезпеченості мінеральними елементами є вміст полісахаридсинтезувальних мікроорганізмів. До 2007 р. [40] екстенсивний агрозем характеризувався більшою (на 33–64 %) чисельністю полісахаридсинтезувальних мікроорганізмів, однак пізніше в інтенсивному агроземі чисельність цих бактерій підвищилася і на сьогодні перевищує чисельність полісахаридсинтезувальних бактерій в екстенсивному агроземі в 6 разів (табл. 4.1). Отже, індикативність групи полісахаридсинтезувальних бактерій на нестачу мінеральних елементів у ґрунті має істотні обмеження, оскільки їхня кількість залежить також від інших важливих факторів: інтенсивності розвитку і типу фітоценозу, кількості кореневих виділень, співвідношення вуглецю до азоту, яке змінюється за внесення мінеральних та органічних добрив, заорювання побічної продукції та ін. Використовувати чисельність полісахаридсинтезувальних мікроорганізмів як індикаторну ознаку можна лише за порівнювання варіантів дослідження, які відрізняються за одним фактором впливу.

Упродовж усього періоду спостережень ґрунт багаторічно-го перелогу характеризується більшим вмістом азотобактера, ніж ґрунт малорічного перелогу [44, 53, 68], що підтверджується даними *табл. 4.1*. Раніше ми пов'язували це з тривалістю перебування ґрунту у перелоговому стані і вважали, що з часом ґрунт малорічного перелогу набуде таких властивостей, які забезпечать розмноження азотобактера. Однак упродовж періоду спостережень цього не відбувається, і ґрунт малорічного перелогу містить таку саму чисельність азотобактера, як і після виведення з обробітку (2000 р.). До того ж ґрунт перелогу з 2007 р. у варіанті спонтанного відновлення фітоценозу впродовж усього існування характеризується високим умістом азотобактера (96–98 %) [44]. Отже, поширення азотобактера в ґрунтах перелогів залежить не від тривалості перелогового стану, а типу фітоценозу, агрохімічних характеристик ґрунту, передісторії ґрунту тощо. Зокрема, використання агрозаходів: скошування, внесення мінеральних добрив і вапнування сприяє зростанню чисельності азотобактера в ґрунті малорічного перелогу до 18 % [45]. Отже, чисельність мікроорганізмів більшості еколого-трофічних і систематичних груп у ґрунті перелогу змінюється з часом його перебування у перелоговому стані, але не всіх.

Таблиця 4.3. Вірогідність формування колоній мікроорганізмів тривалості

Варіант	Амоніфікатори	Імобілізатори мінерального азоту	Олігонітрофіли	
Переліг з:				
1987 р., валіськокострицевий фітоценоз	1,28	0,17	2,89	
2000 р., наземнокуничниковий фітоценоз	2,52	0,16	6,02	
2007 р., різнотрав'я	3,29	0,76	4,73	
Агрозем:				
без добрив, кукурудза	0,62	0,72	11,1	
N ₉₆ P ₁₀₈ K _{112,5} + побічна продукція рослинництва, кукурудза	4,43	0,95	11,8	

Максимальною чисельністю азотобактера протягом багатьох років характеризується екстенсивний агрозем [44] 97,2 % (табл. 4.1). Ці спостереження роблять неможливим використання азотобактера як індикатора ефективної родючості ґрунту [82, 83].

Чисельність мікроорганізмів у інтенсивному агроземі є набагато вищою за екстенсивний агрозем: амоніфікувальних – у 1,41 раза, іммобілізаторів мінерального азоту – 2,94, олігонітрофілів – 2,03, денітрифікаторів – 4,77, педотрофів – 2,42, полісахаридсинтезувальних – 6,02, стрептоміцетів – 4,16, мобілізаторів мінеральних та орґанофосфатів – у 2,08 і 9 разів відповідно (табл. 4.1). Клітини мікроорганізмів інтенсивного агрозему мають вищу фізіологічну активність порівняно з мікроорганізмами екстенсивного агрозему (табл. 4.3). Так, ВФК амоніфікаторів інтенсивного агрозему перевищує ВФК амоніфікаторів екстенсивного агрозему в 7,15 раза, іммобілізаторів мінерального азоту – 1,32, денітрифікаторів – 13,4, целюлозоруйнівних мікроорганізмів – у 4,13 раза. Водночас фізіолого-біохімічна активність нітрифікаторів, мобілізаторів мінеральних і орґанічних фосфатів вища у мікроорганізмів екстенсивного агрозему, що зумовлено, вірогідно, нестачею сполук азоту і фосфору у ґрунті цього варіанта.

(λ , год⁻¹ · 10⁻²) у сірому лісовому ґрунті перелогів різної та агроземів

	Нітрифікатори	Денітрифікатори	Педотрофи	Автохтонні	Целюлозоруйнівні	Мікроміцети	Мобілізатори мінеральних фосфатів	Мобілізатори орґанофосфатів
	0,22	2,70	2,71	0,30	7,37	3,21	3,47	8,11
	0,08	6,79	5,85	0,57	5,22	1,53	2,28	3,32
	0,26	5,78	2,07	0,86	1,62	1,48	3,43	2,61
	0,84	1,69	1,83	1,13	0,56	2,71	7,40	3,18
	0,50	22,6	2,02	1,10	2,31	2,95	6,49	1,65

Зі зростанням тривалості перелогу зменшується інтенсивність освоєння органічної речовини ґрунту в 1,27 і 3,2 рази для перелогу з 2000 і 1987 рр. відповідно (*табл. 4.4*). Активність мінералізації гумусу також знижується зі зростанням тривалості перелогу на 36 і 78,3 % відповідно. Отже, в результаті виведення ґрунту із сільськогосподарського використання в ньому істотно уповільнюються процеси мінералізації органічної речовини і гумусу. Згідно з багаторічними спостереженнями, інтенсивність мінералізації органічної речовини, азотовмісних сполук в інтенсивному агроземі є вищою за інтенсивність мінералізації цих сполук в екстенсивному агроземі [44, 53]. І, навпаки, інтенсивність мінералізації гумусових сполук вища в екстенсивному агроземі, зокрема, у 2009 р. вона становила 79,9 %, для порівняння – в інтенсивному агроземі – 32,3 % (*табл. 4.4*). Отже, відсутність мінерального і органічного удобрення впродовж 22 років призводить до істотної активізації процесів деградації гумусу в екстенсивному агроземі. Найнижчою активністю мінералізації гумусу характеризується ґрунт багаторічного перелогу, потім – малорічного і трирічного перелогів.

Сумарна біологічна активність, яка є інтегральним показником активності біологічних процесів у ґрунті, залежить більшою мірою від різноманітності і густоти фітоценозу перелогу і меншою мірою пов'язана зі строком перебування ґрунту в перелоговому стані (*табл. 4.4*). Так, фітоценоз перелогу із 2000 р. є найменш різноманітним і найбільш розрідженим, тому ґрунт цього перелогу характеризується найменшою сумарною біологічною активністю. СБА багаторічного перелогу вища за СБА ґрунту малорічного перелогу на 72,3 %, а дворічного – на 7,3 %. Різнотрав'яний фітоценоз трирічного перелогу забезпечує майже таку саму сумарну біологічну активність, як і фітоценоз багаторічного перелогу. Застосування інтенсивних технологій під час вирощування рослин в агроценозі забезпечує найвищу біологічну активність серед досліджених варіантів, яка на 47,4 % перевищує показник багаторічного перелогу і на 83,6 % – показники екстенсивного агрозему.

Таблиця 4.4. Показники інтенсивності мінералізаційних процесів і фітотоксичні властивості сірого лісового ґрунту перелогів різної тривалості та агроземів

Варіант	Індекс педотрофності	Коефіцієнт		Активність мінералізації гумусу, %	Сумарна біологічна активність, %	Маса 100 рослин тест-культури – пшениці озимої, г		
		оліготрофності	мінералізації азоту			стебло	коріння	загальна маса
Переліг з: 1987 р., валісько-кострицевий фітоценоз	1,72	0,28	2,13	10,6	172,3	13,5	8,65	22,2
2000 р., наземно-куничниковий фітоценоз	4,35	3,45	4,77	13,9	100,0	8,02	7,58	15,6
2007 р., різнотрав'я	5,51	1,03	2,67	18,9	165,0	8,88	9,66	18,5
Агрозем: без добрив, кукурудза	1,54	1,50	1,22	79,9	136,1	6,70	8,08	14,8
N ₉₆ P ₁₀₈ K _{112,5} + побічна продукція рослинництва, кукурудза	2,64	2,16	2,55	32,3	219,7	8,10	9,50	17,6
НІР ₀₅						0,40	0,52	1,10

Зі зростанням тривалості перелогу зменшується також фітотоксичність ґрунту і зростає стабільність мікробних угруповань [44, 53, 67]. Так, фітотоксичність ґрунту багаторічного перелогу нижча за фітотоксичність ґрунту малорічного перелогу на 42,3 %, а трирічного – на 20 % (табл. 4.4).

Отже, перебування сірого лісового ґрунту в перелоговому стані зумовлює поліпшення його властивостей, зокрема, зменшується фітотоксичність та інтенсивність мінералізації гумусових сполук, уповільнюється розкладання органічної речовини. Аналогічні процеси проходять в інтенсивному агроземі порівняно з екстенсивним агроземом. Отже, прийти у стан рівноваги ґрунт може в результаті різних процесів: самовідновлення у стані перелогу або підтримки завдяки внесенню екзогенних джерел макроелементів (мінеральні добрива) та вуглецю (заорювання побічної продукції рослинництва).

4.2.ВПЛИВ ТИПУ ФІТОЦЕНОЗУ НА ПЕРЕБІГ
МІНЕРАЛІЗАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ У ПЕРЕЛОГОВОМУ ҐРУНТІ

На виведених із обробітку землях формується рослинність різних типів, зокрема, на багаторічному (із 1987 р.) перелозі сформувалися фітоценози трьох типів: валіськокострицевий, наземнокуничниковий і конюшинний. Рослини впливають на розвиток мікроорганізмів у кореневій зоні завдяки виділенню корневих ексудатів. Відносно масштабів і розмірів цього процесу у літературі відсутня спільна точка зору. Так, Є.М. Мішустін [82] стверджує, що загальна маса корневих ексудатів рослин у виробничих посівах не перевищує 2,5 ц/га. На відміну від указаних авторів, А.М. Гродзинський [14] вважає, що лише водорозчинні виділення рослин становлять близько 20–30 ц/га. За даними С.А. Самцевича [87], об'єм гелеподібного матеріалу чохлаві навколо корневих кінчиків становить за вегетаційний період у пшениці озимої близько 700 м³ на 1 га, ячменю – 175–300 м³, у кукурудзи – 1250 м³, що відповідає масі сухої речовини 70, 17–30 і 125 ц/га. Збагачення ґрунту легкодоступними органічними речовинами проходить у період активного росту коренів за достатньої забезпеченості рослин вологою. Чим триваліший період росту кореневої системи рослин, тим більше ґрунт збагачується органічними речовинами. У ґрунті без рослинного ценозу, особливо за його рихлення, вміст водорозчинної органічної речовини швидко зменшується, оскільки вона використовується мікроорганізмами як енергетичний матеріал. Кореневі екзометаболіти різних видів рослин являють собою складну суміш окремих сполук, динаміка виділення органічних речовин також специфічна для кожного виду рослин, при цьому співвідношення між кількістю органічних кислот і цукрів, які є основними трофічними сполуками для ризосферної мікрофлори, істотно змінюється впродовж вегетації рослин [34]. Істотна різниця у груповому та індивідуальному складі корневих ексудатів впливає на формування специфічного мікробного угруповання ризосфе-

ри рослин. Кількість і склад корневих виділень рослин поряд з фізико-хімічними показниками ґрунту визначає стан мікробного угруповання його ризосфери. Тому нами проводяться багаторічні моніторингові дослідження [43, 46–48, 57] впливу типу фітоценозу на чисельність та фізіологічну активність мікроорганізмів основних еколого-трофічних груп мікробного угруповання сірого лісового ґрунту, який перебуває у стані перелогу з 1987 р. Установлено існування істотного впливу ботанічного складу фітоценозу на перебіг мікробіологічних процесів у перелоговому ґрунті. Зокрема, було встановлено, що коренева зона конюшини характеризується найбільшою чисельністю мікроорганізмів з максимальною фізіолого-біохімічною активністю, уповільненням процесів мінералізації сполук азоту, органічної речовини і гумусу, мінімальним накопиченням фітотоксинів порівняно з іншими фітоценозами. Наземнокуничниковий і валіськокострицевий фітоценози відрізнялися між собою за активністю освоєння органічної речовини, гумусу, мінералізації сполук азоту і фітотоксичністю ризосферного ґрунту.

За тривалого перелогового стану сірого лісового ґрунту мікробне угруповання ризосфери конюшини відрізняється від інших досліджених фітоценозів підвищеним вмістом амоніфікувальних мікроорганізмів (*табл. 4.5*). Субстратом для росту амоніфікаторів є білкові речовини корневих виділень і відмерлі фрагменти коренів і корневих волосків, тому чисельність амоніфікувальних мікроорганізмів ми розглядаємо як індикаторний показник кількості корневих виділень та їхнього збагачення речовинами білкової природи. У ряді публікацій відзначено високі біоудобрювальні властивості ексудатів бобових рослин та їх поживних залишків, які сприяють підвищенню біорізноманіття та чисельності ґрунтових мікроорганізмів [9, 84]. Зокрема, Парінкіна зі співавт. [84] вважають, що стимуляція мікрофлори ґрунту бобовими рослинами зумовлена значним умістом у їхніх корневих ексудатах, легкогідролізованих сполук вуглецю.

Мінімальною чисельністю мікроорганізмів практично всіх досліджених груп характеризується ризосфера наземнокунич-

Таблиця 4.5. Вплив типу фітоценозу на чисельність млн КУО*/г абсолютно

Тип фітоценозу	Амоніфікатори	Імобілізатори мінерального азоту	Олігонітрофіли	Азотобактер, % обростання ґрунничок ґрунту	Денітрифікатори	Нітрифікатори
Валіськокострицевий	216,7	48,8	35,8	21,3	113,5	0,16
Наземнокуничниковий	101,3	35,9	32,7	17,3	8,00	0,22
Конюшинний	236,4	35,8	37,1	2,20	15,6	0,31
НІР ₀₅	15,4	2,65	3,55	3,98	1,50	0,02

*КУО – колонієутворювальна одиниця;

никового фітоценозу, вміст мікроорганізмів у ризосфері якого на 83,4 і 63,9 % менше, ніж у ризосфері валіськокострицевого і конюшинного фітоценозів відповідно (табл. 4.5). Ризосфера конюшини не відрізняється максимальною чисельністю мікроорганізмів порівняно з іншими дослідженими фітоценозами, за винятком амоніфікаторів, нітрифікаторів, полісахаридсинтезувальних бактерій і мобілізаторів мінеральних фосфатів.

Попередніми дослідженнями встановлено, що вирощування бобових у монокультурі й у складі травосумішей супроводжується інтенсифікацією денітрифікаційного процесу у їхній ризосфері, що можливо, зумовлено високим умістом сполук азоту, які синтезуються у процесі симбіотичної та асоціативної азотофіксації і які є субстратом для нітрифікації і подальшої денітрифікації [43, 46–48, 51, 57]. Згідно з представленими даними, вміст денітрифікаторів та їхня фізіолого-біохімічна активність у ризосфері конюшини на 24 році перелогового стану не є вищими серед досліджених фітоценозів (табл. 4.5, 4.6). Максимальною чисельністю денітрифікаторів характеризується валіськокострицевий, а максимальною фізіолого-біохімічною активністю денітрифікаторів – наземнокуничниковий фітоценози. Спалахи денітрифікаційної активності в ризосфері рослин природного фітоценозу, які спостерігалися нами у попередніх дослідженнях [43, 46–48, 57], є не зовсім зрозумілими, оскільки азот в перелогові ґрунти надходить лише завдяки прокаріотній азотофіксації

**мікроорганізмів у сірому лісовому ґрунті багаторічного перелогу,
сухого ґрунту**

Педотрофи	Целюлозоруйнівні бактерії	Полісахаридсинтезувальні	Автохтонні	Актиноміцети	Мікроміцети	Мобілізатори мінеральних фосфатів	K_r^{**}	Загальна чисельність
35,4	21,3	1,03	6,50	21,7	0,148	15,5	0,770	537,8
15,3	30,6	1,06	5,50	13,5	0,092	17,1	0,861	278,5
34,4	18,4	4,16	5,12	16,0	0,078	25,3	0,832	430,8
0,95	2,45	0,03	0,45	1,96	0,02	1,64		

** K_r – питома фосфатмобілізувальна активність [36].

**Таблиця 4.6. Вірогідність формування колоній мікроорганізмів
(λ , год⁻¹ · 10⁻²) у сірому лісовому ґрунті з різним типом фітоценозу**

Тип фітоценозу	Амоніфікатори	Імобілізатори мінерального азоту	Олігонітрофіли	Нітрифікатори	Денітрифікатори	Педотрофи	Автохтонні	Целюлозоруйнівні	Мікроміцети	Мобілізатори мінеральних фосфатів
Валісько-кострицевий	0,90	0,064	4,78	0,026	0,41	1,78	0,58	4,91	0,74	1,76
Наземно-куничниковий	8,66	0,032	2,96	0,010	3,53	2,18	0,58	0,85	4,91	1,20
Конюшинний	5,22	0,287	2,41	0,035	0,39	2,05	0,30	2,89	4,58	6,17

і має тісно включатися у біохімічні цикли рослин і ризосферної мікрофлори. До цього часу відомим було провокування денітрифікаційного процесу тільки за внесення екзогенних джерел азоту, зокрема азотних мінеральних добрив.

Зважаючи на те, що підвищену кількість полісахаридсинтезувальних мікроорганізмів ми розглядаємо як пристосування мікробного угруповання до навколишнього середовища, яке забезпечує йому селективні переваги в умовах стресу, можна вважати мікробне угруповання ризосфери конюшини більш пристосованим до виживання у природних умовах порівняно із мікробними консорціумами ризосфери двох інших фітоценозів, які містять у 4 рази менше полісахаридсинтезувальних мікроорганізмів.

Уміст мікроскопічних грибів у кореневій зоні конюшини менший за аналогічні показники валіськокострицевого і наземнокуничникового фітоценозів на 89,7 і 17,9 % відповідно (*табл. 4.5*), що підтверджує результати попередніх досліджень про пригнічення розвитку мікроміцетів у ризосфері рослин бобових і зернобобових культур [52, 58]. Можливо, бобові рослини екскретують виділення такого складу, що формують мікробні угруповання з антагоністичними властивостями щодо мікроскопічних грибів, які є збудниками фітозахворювань і продуцентами токсинів. Це відображається також на рівні фітотоксичності ґрунту цього фітоценозу (*табл. 4.8*).

Незважаючи на те, що чисельність мобілізаторів мінеральних фосфатів у ризосфері конюшини перевищує їхню кількість у ризосферах валіськокострицевого і наземнокуничникового фітоценозів відповідно на 63,2 і 48 %, а питома фосформобілізівна активність ґрунту ризосфери конюшини перебуває на рівні аналогічних показників ґрунту інших фітоценозів, вміст рухомих сполук фосфору у ризосфері досліджених фітоценозів є приблизно однаковим (*табл. 4.7*). Звертає на себе увагу більший вміст у ґрунті конюшинного фітоценозу сполук калію і азоту різних форм, що узгоджується з підвищеною кількістю полісахаридсинтезувальних мікроорганізмів і свідчить про кращі умови мінерального живлення рослин цього фітоценозу.

На 24-й рік перелогового стану азотобактер виявляється тільки в ризосфері наземнокуничникового (17,3 % обростання грудочок ґрунту) і валіськокострицевого (21,3 %) фітоценозів. Незначна кількість азотобактера у ризосфері конюшини, на нашу думку, є наслідком антагоністичного впливу з боку асоціативних і симбіотичних азотофіксаторів у сапрофітному стані, що раніше було показано для інших бобових і зернобобових культур [44, 46]. Це є окремим виявом конкуренції між представниками різних стратегій виживання: сумісно з рослиною (симбіотичні і асоціативні азотофіксатори) або незалежно від неї (вільноіснуючі азотофіксатори). Різна кількість азотобактера в ризосфері наземнокуничникового, валіськокострицевого і конюшинного фі-

Таблиця 4.7. Агрохімічні показники сірого лісового ґрунту з різним типом фітоценозу

Тип фітоценозу	Уміст					Ступінь рухомості, P ₂ O ₅ , мг/100 г	
	N	легко-гідролізованих сполук, мг/кг	N-NO ₃ , мг/кг	N-NH ₄ , мг/кг	P ₂ O ₅ , мг/100 г		K ₂ O, мг/100 г
Валіськокострицевий		74,2	0,02	21,4	24,0	12,7	0,38
Наземнокуничниковий		63,1	0,01	17,2	21,0	9,45	0,36
Конюшинний		77,0	1,40	21,8	24,0	16,5	0,34
НІР ₀₅		2,58	0,01	3,68	2,13	2,89	0,02

тоценозів підтверджують наші попередні висновки про значний вплив типу рослинного угруповання на його розвиток [43, 47].

Чисельність та фізіолого-біохімічна активність автохтонних мікроорганізмів були найнижчими у ризосфері конюшини (табл. 4.5, 4.6). Це знайшло відображення у тому, що активність мінералізації гумусу в ризосфері конюшини у 1,23 раза нижча за відповідний показник ризосфери валіськокострицевого і у 2,44 раза – наземнокуничникового фітоценозів (табл. 4.8). Отже, підтверджуються багаторічні спостереження щодо зниження активності мінералізації гумусу в ризосфері бобових рослин у

Таблиця 4.8. Показники інтенсивності мінералізаційних процесів і фітотоксичні властивості сірого лісового ґрунту з різним типом фітоценозу

Тип фітоценозу	Індекс педотрофності	Коефіцієнт		Активність мінералізації гумусу, %	Сумарна біологічна активність	Маса 100 рослин тест-культури – пшениці озимої, г		
		оліготрофності	мінералізації азоту			стебло	корінь	загальна на маса
Валіськокострицевий	0,163	0,165	0,225	18,4	1116,5	10,0	6,42	16,4
Наземнокуничниковий	0,151	0,323	0,354	36,3	838,0	9,71	6,62	17,3
Конюшинний	0,146	0,157	0,151	14,9	960,0	10,6	7,01	17,6
НІР ₀₅						0,30	0,20	0,24

монокультури й у складі бобово-злакових травосумішей [44,46]. Валіськокострицевий фітоценоз характеризується на 97,3% меншою активністю мінералізації гумусу порівняно з наземнокуничниковим фітоценозом, що також збігається з результатами попередніх досліджень [47]. Слід зазначити, що ґрунт кореневої зони конюшини характеризується найнижчими коефіцієнтами оліготрофності і педотрофності, що свідчить про уповільнення мінералізації загальної органічної речовини ґрунту в кореневій зоні цього фітоценозу. Сумарна біологічна активність ґрунту валіськокострицевого фітоценозу на 16,3 % перевищує СБА ґрунту конюшинного, і на 33,2 % – наземнокуничникового фітоценозу.

Практичним висновком одержаних результатів є визначення найефективнішого способу відтворення господарсько цінних фітоценозів на сірих лісових ґрунтах у північній частині Лісостепу – це посів бобово-злакових сумішок із включенням до їх складу конюшини, які сприяють накопиченню органічної речовини і гумусу в ґрунті, виведеному із сільськогосподарського використання.

СТАБІЛЬНІСТЬ МІКРОБНИХ УГРУПОВАНЬ АГРОЗЕМІВ ТА ПЕРЕЛОГІВ РІЗНОЇ ТРИВАЛОСТІ

Ефективність і напрям мікробіологічних процесів у ґрунті залежать як від чисельності мікроорганізмів, так і від специфіки функціональних зв'язків між ними. На основі даних про динаміку розвитку мікроорганізмів у досліджених ґрунтах нами розраховано коефіцієнти кореляції між показниками чисельності мікроорганізмів різних еколого-трофічних, фізіологічних та систематичних груп, які входять до складу мікробного угруповання ґрунту цього варіанта. На основі отриманих коефіцієнтів кореляції побудовані кореляційні матриці за методом П. Терентьева [93]. Проведений аналіз свідчить, що за загальною кількістю високо- ($r = 0,666-0,999$) і середньозначущих ($r = 0,333-0,665$) кореляційних зв'язків перші місця належать мікробному ценозу багаторічного перелогу із валіськокострицевим (68) і конюшинним (69) типами фітоценозу (*табл. 5.1*).

Ці самі мікробні угруповання є лідерами за кількістю високо-значущих кореляційних зв'язків, яка становить 37 і 28 відповідно для валіськокострицевого і конюшинного типів фітоценозу. Мікробні угруповання багаторічного перелогу характеризуються максимальною стабільністю серед ценозів досліджених перелогів. Загальна кількість середньо- та високозначущих зв'язків у всіх трьох досліджених типах фітоценозу багаторічного перелогу набагато перевищує кількість зв'язків у мікробіоценозах пе-

Таблиця 5.1. Кількість кореляційних зв'язків у мікробних угрупованнях перелогів різної тривалості й агроземах із різною інтенсивністю антропогенного навантаження

Варіант	Кількість кореляційних зв'язків						Усього за варіантом
	середньозначущі ($r = 0,333-0,665$)			високозначущі ($r = 0,666-0,999$)			
	прямий	обернений	усього	прямий	обернений	усього	
Переліг з 1987 р.: валіськострицевий фітоценоз	9	22	31	15	12	37	68
наземнокуничниковий фітоценоз	15	22	37	14	7	21	58
конюшинний фітоценоз	20	21	41	11	17	28	69
Переліг з: 2000 р.	18	16	34	10	8	18	52
2007 р.	8	24	32	11	8	19	51
Агрозем: екстенсивний	14	15	29	11	11	22	51
інтенсивний	17	20	37	10	11	21	58

релогів меншої тривалості: із 2000 р. (52 од.) та із 2007 р. (51 од.). Мікробні угруповання перелогів із 2000 і 2007 рр., незважаючи на істотну різницю у тривалості (7 років), майже не відрізняються за стабільністю, кількість як середньо-, так і високозначущих зв'язків є практично однаковою. Серед ґрунтів, які використовуються у сільськогосподарському виробництві, стабільнішим є варіант із інтенсивним агрофоном, загальна кількість зв'язків у мікробному ценозі якого перевищує відповідний показник варіанта із екстенсивним агрофоном на 13,7 %.

Мікробні угруповання перелогів із 2000 і 2007 рр., які майже не відрізняються за стабільністю, відрізняються за внутрішньою структурою функціональних зв'язків, зокрема, чисельність амоніфікаторів у мікробному угрупованні перелогу із 2000 р. істотно позитивно корелює із чисельністю денітрифікаторів, педотрофів, актиноміцетів, фітотоксичністю ґрунту, обернено – із чисельністю нітрифікаторів і полісахаридсинтезуювальних мікроорганізмів.

У мікробіоценозі перелогу із 2007 р. чисельність амоніфікаторів істотно позитивно корелює із чисельністю олігонітрофільних і целюлозоруйнівних бактерій, обернено – із чисельністю полісахаридсинтезувальних і фосформобілізувальних мікроорганізмів. Кількість високозначущих кореляційних зв'язків амоніфікаторів є високою у мікробіоценозі перелогу із 2000 р. і низькою – у мікробному угрупованні перелогу із 2007 р., у іммобілізаторів мінерального азоту, – навпаки, кількість високозначущих кореляційних зв'язків амоніфікаторів є низькою у мікробному угрупованні перелогу із 2000 р. Водночас із показниками коефіцієнта мінералізації-іммобілізації сполук азоту це свідчить про різну інтенсивність перетворення протеїнових сполук у ґрунтах цих перелогів і про різний етап цього перетворення, зважаючи на різну динаміку розвитку фітоценозів цих перелогів.

Чисельність азотобактера як вільноіснуючого азотофіксатора у мікробних угрупованнях усіх досліджених типів використання сірого лісового ґрунту обернено корелює із кількістю амоніфікаторів, іммобілізаторів мінерального азоту і нітрифікаторів (за винятком агроземів, де кореляційний зв'язок має прямий характер) (табл. 5.2). І навпаки, із чисельністю олігонітрофілів і денітрифікаторів у мікробних угрупованнях перелогів кількість азотобактера має прямий зв'язок, а із олігонітрофілами і денітрифікаторами агроземів – обернений. Майже в усіх досліджених варіантах використання сірого лісового ґрунту азотобактер має обернений характер зв'язку із чисельністю педотрофів, що є виявом відношення азотобактера до вмісту органічної речовини у ґрунті: чим вище співвідношення C/N, тим краще умови для розвитку азотобактера. Взаємовідносини азотобактера із іншими групами мікроорганізмів циклу вуглецю мають складний характер, в частині варіантів зв'язок має прямий характер, в частині – обернений. Це свідчить про складність процесів, які перебігають у ґрунтах цих варіантів і про їхні відмінності. Визначеніший характер зв'язку азотобактера із групами мікроорганізмів циклу азоту легко пояснити з огляду на функціональну спеціалізацію самого азотобактера – як вільноіснуючий азотофіксатор

Таблиця 5.2. Кореляційні зв'язки азотобактера із мікроорганізмами лісового ґрунту за різного

Варіант	Амоніфікатори	Імобілізатори мінерального азоту	Олігонітрофіли	Денітрифікатори
Переліг з 1987 р.:				
валіськокострицевий фітоценоз	-0,493	-0,316	0,049	0,335
наземнокуничниковий фітоценоз	-0,711	0,487	-0,458	0,070
конюшинний фітоценоз	-0,146	-0,123	0,445	0,172
Переліг з:				
2000 р.	-0,339	-0,415	0,420	0,004
2007 р.	0,145	-0,538	0,260	-0,398
Агрозем:				
екстенсивний	-0,057	0,153	-0,462	-0,485
інтенсивний	-0,500	0,412	-0,652	-0,462

він бере участь у процесах перетворення сполук азоту і тісно взаємодіє із мікроорганізмами інших груп цього циклу. Потрібно підкреслити, що кількість азотобактера обернено корелює із рівнем фітотоксичності сірого лісового ґрунту, що підтверджує можливість використання чисельності азотобактера як діагностичного показника на забрудненість ґрунтів поллютантами.

Згідно із загальноприйнятими поняттями між целюлозоруйнівними мікроорганізмами, які безпосередньо гідролізують клітковину, і азотобактером, який не засвоює клітковину, але фіксує атмосферний азот, що використовують у своєму метаболізмі целюлозоруйнівні бактерії, існує явище метабіозу. Однак тісна кореляція між чисельністю целюлозоруйнівних бактерій і азотобактера нами спостерігається лише у 3 варіантах із 7 досліджених. Це: багаторічний переліг із наземнокуничниковим типом фітоценозу, переліг із 2007 р. і агрофон інтенсивного типу. В інших варіантах використання сірого лісового ґрунту зв'язок між чисельністю целюлозоруйнівних бактерій і азотобактера є не таким істотним, а в мікробному угрупованні агрофону екстенсивного типу – оберненим, можливо через відсутність заорювання екзогенної органічної речовини із 1987 р.

**інших еколого-трофічних груп мікробних угруповань сірого
типу використання**

Нітрифікатори	Педо-трофи	Целюло-зоруйнівні бактерії	Полісахаридсинтезувальні	Авто-хтонні	Акτι-номіце-ти	Мікро-міцети	Мобілізатори мінеральних фосфатів
-0,090	0,006	0,291	-0,317	0,099	-0,208	0,441	0,865
-0,091	-0,667	0,470	-0,670	-0,444	-0,876	-0,044	0,008
-0,249	0,172	0,277	-0,592	-0,679	0,268	0,212	0,169
-0,021	-0,333	0,265	0,653	-0,600	0,749	0,563	0,192
-0,168	-0,164	0,654	-0,130	0,358	0,190	-0,032	-0,958
0,075	-0,226	-0,280	0,646	-0,20	-0,044	0,655	0,253
0,558	-0,622	0,465	-0,881	0,184	-0,477	0,319	-0,576

Якщо судити за кількістю полісахаридсинтезувальних мікроорганізмів, то стан найбільшого стресу переживає мікробне угруповання екстенсивного агрозему, ґрунт якого збіднений на вміст макро-, мікроелементів і загальної органічної речовини (табл. 5.3). Оскільки діяльність полісахаридсинтезувальних мікроорганізмів поліфункціональна, то на їх кількість буде впливати найвагоміший стресовий чинник, який може змінюватися від варіанта до варіанта. Так, у варіанті без добрив (контроль) найстресовішим є фактор нестачі елементів мінерального живлення, а в умовах інтенсивного агрофону це може бути пошкоджувальна дія поліютантів на клітини живих організмів, оскільки за цього типу використання ґрунт має найбільше антропогенне навантаження.

Загалом група полісахаридсинтезувальних бактерій стоїть окремо серед досліджених еколого-трофічних груп мікроорганізмів, про що свідчить слабкість кореляційних зв'язків цих мікроорганізмів із іншими (табл. 5.3). Можна відзначити досить сильний зв'язок чисельності мікроорганізмів цієї групи лише із олігонітрофілами, які також є полісахаридсинтезувальними мікроорганізмами, що перебувають в умовах нестачі

Таблиця 5.3. Кореляційні зв'язки полісахаридсинтезувальних мікробних угруповань сірого лісового

Варіант	Амоніфікатори	Імобілізатори мінерального азоту	Олігонітрофіли	
Переліг з 1987 р.: валіськокострицевий фітоценоз	-0,301	0,605	0,187	
наземнокуничниковий фітоценоз	0,305	-0,350	0,727	
конюшинний фітоценоз	0,457	0,764	0,176	
Переліг з: 2000 р.	-0,204	-0,155	0,508	
2007 р.	0,358	-0,383	0,851	
Агрозем: екстенсивний	-0,062	-0,045	-0,654	
інтенсивний	0,574	0,433	0,341	

такого елемента живлення, як азот, і в яких полісахарид виконує функції захисту анаеробного ферменту нітрогенази від пошкоджувального впливу кисню [73]. Слід також відзначити, що в агроземах екстенсивного та інтенсивного типу проходять різноспрямовані процеси, про що свідчить, зокрема, постійна зміна характеру зв'язку полісахаридсинтезувальних бактерій із іншими мікроорганізмами мікробного угруповання: якщо в екстенсивному агроземі зв'язок має прямий характер, то в інтенсивному – обернений, і навпаки (табл. 5.3). Винятком є взаємовідносини із міцеліальними формами мікроорганізмів: мікро- та актиноміцетами.

Кількість амоніфікувальних бактерій залежить від густоти рослин у фітоценозі, фази його розвитку та вмісту білкових і білковоподібних речовин у корневих ексудатах. Амоніфікувальні бактерії містяться на початку ланцюга живлення, розкладаючи білковоподібні речовини корневих ексудатів, тому вони тісно пов'язані у своєму метаболізмі із іммобілізаторами мінерального азоту – їх послідовниками у ланцюзі перетворення сполук азоту. Це знайшло своє відображення у кількості і характері зв'язків між амоніфікаторами та іммобілізаторами мінераль-

**бактерій із мікроорганізмами інших еколого-трофічних груп
грунту за різного типу використання**

	Денітри- фікатори	Нітрифі- катори	Педо- трофи	Целюлозо- руйнівні бактерії	Авто- хтонні	Актино- міцети	Мікро- міцети	Мобілізатори мінеральних фосфатів
	0,290	-0,005	-0,009	-0,151	-0,673	0,975	0,138	-0,050
	0,045	-0,023	0,510	-0,065	0,141	0,923	0,027	0,214
	0,400	-0,426	0,399	-0,141	0,247	0,367	-0,029	0,608
	0,008	-0,036	-0,168	-0,426	0,019	-0,002	0,566	0,370
	-0,334	-0,083	-0,749	-0,327	-0,192	0,613	-0,310	0,320
	-0,543	0,538	-0,162	0,032	0,014	0,336	0,385	0,155
	0,513	-0,411	0,787	-0,089	-0,242	0,824	0,499	-0,001

ного азоту – вони прями й досить значні за своєю величиною (табл. 5.4). Тривалість перелогового стану впливає на величину зв'язку: чим старший переліг, тим значущість зв'язку вища через те, що густина рослин із збільшенням тривалості перелогового стану зростає. Максимальне значення зв'язку між амоніфікаторами та іммобілізаторами мінерального азоту спостерігається у ґрунті екстенсивного агрофону, можливо через те, що за цього типу використання сірого лісового ґрунту кореневі виділення є майже єдиним джерелом субстратів для росту мікроорганізмів упродовж вегетації. Ґрунт цього варіанта характеризується високозначущим зв'язком амоніфікаторів не лише із іммобілізаторами мінерального азоту, а й мікроорганізмами інших груп: олігонітрофілами, денітрифікаторами, педотрофами, целюлозоруйнівними і автохтонними бактеріями (табл. 5.4). Також серед досліджених варіантів використання сірого лісового ґрунту виокремлюється багаторічний переліг із конюшинним типом фітоценозу: він характеризується високозначущими зв'язками амоніфікаторів із іммобілізаторами мінерального азоту, олігонітрофілами, денітрифікаторами, нітрифікаторами, педотрофами, целюлозоруйнівними і автохтонними бактеріями.

Таблиця 5.4. Кореляційні зв'язки амоніфікувальних бактерій угруповань сірого лісового ґрунту

Варіант	Імобілізатори мінерального азоту	Олігонітрофіли	Денітрифікатори	
Переліг з 1987 р.: валіськокострицевий фітоценоз	0,493	-0,387	0,320	
наземнокуничниковий фітоценоз	0,492	0,287	-0,374	
конюшинний фітоценоз	0,578	0,738	0,841	
Переліг з: 2000 р.	0,251	0,048	0,769	
2007 р.	0,041	0,512	0,029	
Агрозем: екстенсивний	0,890	0,464	0,683	
інтенсивний	0,277	0,509	0,987	

Таблиця 5.5. Кореляційні зв'язки автохтонних бактерій із угруповань сірого лісового ґрунту

Варіант	Амоніфікатори	Імобілізатори мінерального азоту	Олігонітрофіли	
Переліг з 1987 р.: валіськокострицевий фітоценоз	0,087	-0,540	0,432	
наземнокуничниковий фітоценоз	0,198	-0,094	-0,494	
конюшинний фітоценоз	-0,565	-0,327	-0,776	
Переліг з: 2000 р.	0,107	0,340	0,333	
2007 р.	-0,450	-0,743	-0,353	
Агрозем: екстенсивний	-0,964	-0,779	-0,562	
інтенсивний	-0,682	-0,743	-0,574	

Важливою групою є автохтонні мікроорганізми, які беруть безпосередню участь у розкладанні макромолекул гумусу, і визначають поряд із біосинтетичними процесами загальне спрямування процесу накопичення-мінералізації гумусу в ґрунті. За результатами, представленими у *табл. 5.5*, автохтонні мікроорганізми демонструють обернений зв'язок із мікроорганізмами циклу азоту у більшості варіантів використання сірого лісового ґрунту. Це свідчить про те, що основною причиною мінераліза-

**із мікроорганізмами інших еколого-трофічних груп мікробних
за різного типу використання**

	Нітрифікатори	Педотрофи	Целюлозоруйнівіні бактерії	Полісахаридсинтезувальні	Автохтонні	Активніміцети	Мікроміцети	Мобілізатори мінеральних фосфатів
	-0,364	0,505	-0,293	-0,301	0,087	-0,414	-0,359	-0,125
	0,269	0,029	-0,381	0,305	0,198	0,482	0,183	-0,615
	-0,615	0,890	-0,723	0,457	-0,565	-0,216	0,445	-0,401
	-0,699	0,640	-0,100	-0,204	0,107	-0,167	0,464	-0,137
	-0,292	-0,390	0,558	0,358	-0,450	0,662	-0,341	-0,701
	-0,278	0,815	0,674	-0,062	-0,964	0,078	0,469	0,075
	0,281	0,614	-0,456	0,574	-0,682	0,356	0,954	-0,453

**мікроорганізмами інших еколого-трофічних груп мікробних
різного типу використання**

	Денітрифікатори	Нітрифікатори	Педотрофи	Целюлозоруйнівіні бактерії	Полісахаридсинтезувальні	Активніміцети	Мікроміцети	Мобілізатори мінеральних фосфатів
	-0,828	0,564	-0,445	0,688	-0,673	-0,547	-0,716	-0,600
	0,660	0,870	0,726	0,065	0,141	0,423	-0,550	0,066
	0,627	0,488	-0,674	0,255	0,247	0,073	-0,380	0,361
	0,187	-0,257	0,251	-0,587	0,019	-0,763	-0,112	0,031
	-0,828	0,745	-0,335	0,239	-0,192	-0,686	0,864	0,435
	-0,502	0,133	-0,666	-0,777	0,014	-0,208	-0,369	-0,175
	-0,727	-0,003	-0,587	0,164	-0,242	-0,035	-0,790	0,298

ції гумусу в сірому лісовому ґрунті за зазначених агрохімічних умов є нестача сполук азоту.

Отже, впродовж перебування ґрунтів у перелоговому стані відбувається урівноваження природних ґрунтових процесів, що призводить до стабілізації структури мікробних угруповань: чим довший строк перебування ґрунту у перелоговому стані, тим стабільніша структура зв'язків між складовими мікробного угруповання.

ВПЛИВ СПОСОБІВ ВИКОРИСТАННЯ СІРОГО ЛІСОВОГО ГРУНТУ НА ЧИСЕЛЬНІСТЬ ТА ФІЗІОЛОГО-БІОХІМІЧНУ АКТИВНІСТЬ МІКРООРГАНІЗМІВ ЙОГО ГОРИЗОНТІВ

Зусилля мікробіологів традиційно спрямовані на вивчення мікробних ценозів орного шару ґрунту, де зосереджені основні запаси органічної речовини і де переважно протікають інтенсивні мікробіологічні процеси. Зазвичай менш вивченими залишаються бідні на органічну речовину нижні горизонти, перехідні між гумусовим шаром і підстилковими породами. Однак рівень заселеності мікроорганізмами середніх та нижніх горизонтів становить як теоретичний, так і практичний інтерес.

Особливий інтерес дослідження розподілу мікроорганізмів по ґрунтовому профілю представляється у світлі опублікованих даних про те, що мікробна біомаса відносно рівномірно розподілена по всій товщі сірого лісового, дерново-підзолистого, чорноземного, каштанового ґрунтів [86] та торфовищ [12,13]. Сформульовано уявлення про вертикально-ярусну структуру мікробних угруповань, які розглядаються як складові цілісних екосистем [25]. Установлено, що для кожного ярусу екосистем характерні власні межі коливань чисельності й таксономічного складу мікроорганізмів. При цьому за всіх типів ґрунтів максимальні чисельність і різноманіття бактеріальних комплексів спостерігалися у підстилках, а мінімальні – в мінеральних ґрунтових горизонтах. Головним фактором, що визначає чисельність і різноманіття прокаріотів, був визнаний тип субстрату (або ярус-

не положення). Значно менший вплив виявляють особливості біотопу та умови сезону [13, 25].

Досліджували ґрунтові зразки з горизонтів перелогу (з 1987 р.): Нд – дернина (0–10), Не – гумусово-елювіальний (11–40 см), Ні – гумусово-ілювіальний (41–74), Іh – ілювіально-гумусовий (75–115), Ір – перехідний від ілювіального горизонту до породи (116–156), Рі – порода із вкрапленнями ґрунту ілювіального горизонту (157–191 см). Для агроземів було визначено горизонти: Не – гумусово-елювіальний (0–10 і 11–40 см), Ні – гумусово-ілювіальний (41–74 см), Іh – ілювіально-гумусовий (75–115 см), Ір – перехідний від ілювіального горизонту до породи (116–156 см).

Нашими дослідженнями зразків ґрунту із горизонтів перелогу та агроземів показано, що зменшення чисельності мікроорганізмів вниз по профілю сірого лісового ґрунту, який використовується як переліг, відбувається поступово (табл. 6.1). Наприклад, чисельність амоніфікаторів зменшується від горизонту Нд до горизонту Не на 23,3 %, до горизонту Іh – на 57 % і до горизонту Рі – у 6,61 раза. Більшими темпами знижується чисельність іммобілізаторів мінерального азоту: в горизонті Ір – у 16,4 раза, у горизонті Рі – у 23,4 раза. Ця закономірність потребує пояснень, оскільки субстратом для росту амоніфікаторів є високомолекулярні сполуки (білки, ліпопротеїди, глікопротеїди), які не відрізняються високою рухомістю у профілі ґрунту, на відміну від сполук мінерального азоту, які характеризуються високою рухомістю у ґрунтовому розчині. Причиною цього може бути довжина коренів рослин, які ростуть на цій ділянці: чим довше коріння, тим глибше транспортуються кореневі виділення. Можна також припустити, що міцеліальні мікроорганізми, у першу чергу гриби, здатні подібно капілярам тіла людини здійснювати на значну відстань висхідну транслокацію розчинів біогенних елементів і низхідну – розчинів органічних речовин. Чисельність целюлозоруйнівних мікроорганізмів, які утилізують високомолекулярні субстрати – целюлозу та її похідні, знижується до горизонту Рі набагато інтенсивніше, ніж чисельність амоніфікаторів – у 166,4

Таблиця 6.1. Чисельність мікроорганізмів у горизонтах сірого
10⁶ КУО*/г абсолютно

Горизонт/ глибина	Амоні- фікатори	Імобілі- затори мінераль- ного азоту	Оліго- нітрофіли	Азотобак- тер, % об- ростання грудочок ґрунту	Денітри- фікатори	Нітрифі- катори	Пело- трофи	
Hd (0–10)	271,5	68,8	9,94	1,33	160,6	0,038	60,2	
He (11–40)	220,2	53,3	8,50	97,3	52,2	0,012	71,5	
Hi (41–74)	231,8	25,2	1,20	74,7	54,0	0,232	15,2	
Ih (75–115)	172,9	24,1	1,21	0	11,5	0,004	5,03	
Ip (116–156)	167,4	4,19	0,44	0	0,84	0,151	2,41	
Pi (157–191)	41,1	2,94	0,41	0	11,2	0,031	1,18	
НІР ₀₅ Hd	14,2	7,11	0,94	0,16	1,98	0,003	1,05	
НІР ₀₅ He	11,6	5,66	0,88	11,2	4,87	0,002	6,77	
НІР ₀₅ Hi	9,88	1,67	0,008	6,54	4,33	0,015	1,11	
НІР ₀₅ Ih	13,0	0,31	0,09	–	0,99	0,001	0,48	
НІР ₀₅ Ip	12,5	0,25	0,05	–	0,07	0,02	0,18	
НІР ₀₅ Pi	3,55	0,24	0,03	–	0,95	0,002	0,02	

*КУО – колонієутворювальна одиниця.

раза. Це свідчить, на наш погляд, про те, що кількість мікроорганізмів певної функціональної чи трофічної групи визначається не лише наявністю відповідних субстратів, а й іншими, зокрема фізико-хімічними умовами.

Зниження чисельності олігонітрофілів униз по профілю становить 24,2 раза, що збігається з темпами зниження кількості іммобілізаторів мінерального азоту, які є попередниками олігонітрофілів у циклі перетворення азоту. Отримані дані підтверджуються результатами Л.М. Полянської зі співавт. [86], якими встановлено, що у шарі сірого лісового ґрунту 20–40 см міститься мікроорганізмів лише у 23 рази менше, ніж у горизонті 0–20 см. Однак згідно з тими самими авторами з подальшим поглибленням профілю чисельність мікроорганізмів майже не змінюється. Аналогічні дані щодо розподілу загальної біомаси мікроорганізмів отримано Л.М. Полянською зі співавт. [86] також і для чорнозему типового.

**лісового ґрунту, який використовується як переліг із 1987 р.,
сухого ґрунту**

	Целюлозо-руйнівні бактерії	Полісахаридсинтезувальні	Автохтонні	Актиноміцети	Мікроміцети	Меланінсинтезувальні мікроміцети	Мобілізатори мінеральних фосфатів	Кислототворювальні	Загальна чисельність
	68,4	7,65	12,8	17,2	0,370	0,088	21,9	4,59	705,4
	53,3	8,11	14,4	12,7	0,101	0,027	18,4	6,57	519,3
	61,1	2,01	5,04	2,99	0,044	0,004	1,12	0,80	400,7
	7,64	0,402	1,37	2,01	0,036	0,004	0,04	0	226,3
	5,18	0,497	0,12	0,40	0,024	0	0	0	181,9
	0,411	0	0,072	0	0,004	0	0	0	57,4
	7,22	0,89	1,14	0,99	0,05	0,004	1,55	0,38	
	4,69	0,58	0,97	1,14	0,01	0,003	0,05	0,004	
	4,23	0,14	0,63	0,06	0,003	0,001	0,02	0,005	
	0,88	0,03	0,08	0,09	0,001	0,001	0,008	–	
	0,45	0,07	0,01	0,035	0,002	–	–	–	
	0,03	–	0,01	–	0,001	–	–	–	

На чисельність нітрифікаторів, які є облігатними аеробами, впливає не лише розташування зразка ґрунту у профілі, що визначає ступінь аерації, а й наявність субстратів нітрифікаційного процесу. Так, з поглибленням від горизонту Nd до горизонту Ne відбувається зниження чисельності нітрифікаторів у 3,2 раза, а в горизонтах Ni та Ih їхня чисельність знову збільшується через зростання концентрації сполук амонію та нітритів, які акумулюються у цих горизонтах. Чисельність денітрифікаторів також зменшується у горизонтах сірого лісового ґрунту не так однозначно, як би це мало б бути з огляду на їх відношення до кисню. Спочатку між горизонтами Nd і Ip відбувається зменшення їх кількості в 191, а в горизонті Pi – збільшення порівняно з попереднім горизонтом у 13,3 раза. Оскільки ступінь аерації на такій глибині може лише зменшуватися, можна припустити тільки збільшення концентрації субстрату – нітратів, що підтверджується результатами агрохімічного аналізу.

Таблиця 6.2. Чисельність мікроорганізмів у горизонтах сірого агрозем із 1987 р., 10⁶ КУО*/г

Горизонт/ глибина	Амоні- фікатори	Імобілі- затори мінераль- ного азоту	Оліго- нітрофіли	Азотобак- тер, % об- ростання грудочок ґрунту	Денітри- фікатори	Нітри- фікатори	Пело- трофи	
He (0–10 см)	275,4	44,0	27,5	32,0	8,05	0,220	52,6	
He (11–40)	40,7	25,3	30,3	8,66	117,5	0,278	32,5	
Hi (41–74)	25,2	12,0	4,35	0	1,07	0,297	6,61	
Ih (75–115)	30,1	4,65	0,89	0	1,76	0,27	3,59	
Ip (116–156)	3,14	0,86	0,52	0	0,62	0,18	0,63	
НІР ₀₅ Hd	19,0	5,01	3,12	2,01	0,95	0,03	4,88	
НІР ₀₅ He	5,00	3,12	2,88	0,95	10,5	0,03	2,88	
НІР ₀₅ Hi	2,11	1,13	0,52	–	0,05	0,04	0,55	
НІР ₀₅ Ih	2,88	0,52	0,07	–	0,22	0,03	0,39	
НІР ₀₅ Ip	0,28	0,21	0,04	–	0,005	0,02	0,15	

* КУО – колонієутворювальна одиниця.

Розподіл за профілем азотобактера різниться залежно від способу використання ґрунту. У перелоговому ґрунті шар 0–10 см містить у 73 рази менше клітин цього мікроорганізму, ніж шар ґрунту 11–40 см. Можливо, це пов'язано з меншою вологістю ґрунту верхнього шару саме на перелозі, оскільки в агроземах такої закономірності не спостерігається. Навпаки, у ґрунті з інтенсивним агрофоном чисельність азотобактера є максимальною саме у верхньому шарі ґрунту (табл. 6.2). Причиною таких різних закономірностей може бути взаємний вплив важливих для розвитку азотобактера факторів: наявність кисню, оскільки він належить до аеробів (інтенсивний агрозем), неоптимальна вологість (переліг), незабрудненість ґрунту політантами (екстенсивний агрозем). До того ж важливими для розвитку азотобактера є забезпеченість ґрунту сполуками фосфору, нейтральне значення рН, співвідношення С/Н, конкуренція з боку інших азотофіксувальних організмів. Від взаємодії величин цих чинників залежить, який із них у таких агро-екологічних умовах стане лімітувальним фактором і визначить

лісового ґрунту, який використовується як інтенсивний абсолютно сухого ґрунту

Целюлозо-руйнівні бактерії	Полисахаридсинтезувальні	Автохтонні	Актиноміцети	Мікроміцети	Меланінсинтезувальні мікроміцети	Мобілізатори мінеральних фосфатів	Кислотоутворювальні	Загальна чисельність
46,1	0,36	13,5	26,5	0,222	0,075	8,94	3,22	506,7
35,0	1,43	7,75	15,0	0,038	0,009	4,28	3,93	314,0
27,4	7,51	1,96	10,5	0,017	0,005	0,45	0,56	99,9
5,04	3,52	0,81	3,13	0,003	0,0001	0,47	0,094	55,1
1,01	0,62	0,48	0,45	0,0018	0,00015	0,05	0,083	8,65
4,55	0,04	1,55	3,14	0,015	0,008	0,92	0,22	
2,75	0,09	0,66	1,22	0,002	0,001	0,33	0,42	
1,99	0,82	0,50	0,98	0,002	0,001	0,05	0,06	
0,45	0,36	0,13	0,25	0,001	0,00001	0,05	0,01	
0,08	0,005	0,04	0,03	0,0002	0,00002	0,004	0,007	

чисельність та фізіолого-біохімічну активність клітин азотобактера у ґрунті цього екоотпу.

ґрунт перелогу характеризується тим, що азотобактер максимально виявляється у горизонті He (11–40 см), у горизонті Ні його чисельність зменшується на 30,3 %, в нижчих горизонтах (Ih – Pi) він не виявляється методом обростання ґрунтових грудочок. Аналогічна закономірність спостерігається в інтенсивному агроземі: починаючи з горизонту Ні, азотобактер не виявляється, тоді як у екстенсивному агроземі він є у всіх досліджених горизонтах, в яких його чисельність майже не змінюється (*табл. 6.3*).

Дослідження закономірностей розподілу у профілі міцеліальних форм показали, що максимальні темпи зниження чисельності мікроміцетів характерні для профілю інтенсивного агроценозу, мінімальні – для екстенсивного. Темпи зниження чисельності актиноміцетів залежать не лише від способу використання ґрунту, а й і від горизонту. Слід також брати до уваги наявність у мікроорганізмів цих груп спор і конідій, що можуть переміщува-

Таблиця 6.3. Чисельність мікроорганізмів у горизонтах сірого агрозем із 1987 р., 10⁶ КУО*/г

Горизонт/ глибина	Амоні- фікатори	Імобілі- затори мінераль- ного азоту	Оліго- нітрофіли	Азотобак- тер, % об- ростання грудочок ґрунту	Денітри- фікатори	Нітри- фікатори	Пело- трофи
He (0–10 см)	220,0	81,7	35,7	100,0	165,0	0,047	55,4
He (11–40)	276,0	46,6	32,3	100,0	10,7	0,026	50,3
Hi (41–74)	14,9	2,73	3,36	86,7	1,68	0,022	5,08
Ih (75–115)	18,3	2,56	1,20	91,3	0,34	0,031	1,49
Ip (116–156)	2,15	0,98	0,70	98,0	0,11	0,023	0,84
НІР ₀₅ Hd	12,3	6,54	4,66	11,2	15,7	0,003	4,36
НІР ₀₅ He	3,25	3,55	2,89	15,0	0,15	0,002	4,85
НІР ₀₅ Hi	1,22	0,62	0,42	12,3	1,15	0,002	6,11
НІР ₀₅ Ih	1,77	0,31	0,09	8,55	0,02	0,002	0,21
НІР ₀₅ Ip	0,91	0,08	0,05	9,12	0,01	0,001	0,07

* КУО – колонієутворювальна одиниця.

тися з капілярною водою і тривалий час перебувати в анабіотичному стані, проростаючи вже на поживних середовищах.

Важливою ознакою стану мікробного угруповання є вміст меланінсинтезувальних мікроміцетів у загальній їх кількості, оскільки меланіноподібні пігменти є неспецифічними протекторами для їх продуцентів [63, 106]. Чим ґрунт забрудненіший, тим більше він містить меланінсинтезувальних мікроміцетів, і це стосується більшості полютантів: радіоактивних ізотопів, молекул нафтопродуктів, іонів важких металів. Результатами досліджень окремих горизонтів сірого лісового ґрунту виявлено, що в агроземах верхній (0–10 см) горизонт забруднений більшою мірою і містить більшу частку меланінсинтезувальних мікроміцетів порівняно із горизонтом 11–40 см. При цьому рівень забруднення перелогу і екстенсивного агрозему збігається, частка меланінсинтезувальних мікроміцетів становить 23,1–23,8 %. Рівень забруднення інтенсивного агрозему є максимальним серед досліджених варіантів, ґрунт цього варіанта містить 33,8 % меланінсинтезувальних мікроміцетів. У нижчому горизонті пе-

лісового ґрунту, який використовується як екстенсивний абсолютно сухого ґрунту

	Целолюзо-руйнівні бактерії	Полісахаридсинтезувальні	Автотонні	Актиноміцети	Мікроміцети	Меланінсинтезувальні мікроміцети	Мобілізатори мінеральних фосфатів	Кислотоутворювальні	Загальна чисельність
	46,3	6,68	11,7	17,3	0,134	0,031	20,8	1,96	662,7
	50,3	3,00	9,48	12,4	0,058	0,0064	6,39	0,75	498,3
	19,1	1,35	0,89	1,87	0,013	0,0037	1,64	0,011	56,6
	2,41	0,36	0,25	1,345	0,0019	0,0006	1,34	0,0076	29,8
	0,54	0,077	0,09	0,19	0,0020	0,0010	0,13	0,0077	6,08
	5,02	0,70	1,09	2,02	0,02	0,002	1,95	0,21	
	4,88	0,21	0,88	1,33	0,05	0,001	0,74	0,08	
	2,05	0,11	0,08	0,22	0,001	0,0001	0,14	0,001	
	0,31	0,03	0,01	0,14	0,0001	0,0001	0,15	0,001	
	0,06	0,01	0,01	0,02	0,0001	0,0001	0,02	0,001	

релогу частка меланінсинтезувальних мікроміцетів дещо збільшується (на 3,2 %), а в обох агроземах істотно зменшується. Горизонт Ір перелогу містить найвищу частку меланінсинтезувальних мікроміцетів (11,1 %), інтенсивного агрозему – середню (8,33 %), екстенсивного агрозему – найнижчу (0,42 %). Це свідчить про те, що капілярною системою ґрунту перелогу до нижніх горизонтів транспортується більша кількість полютантів, ніж в агроземах. Аналіз сумарної (на всіх досліджених горизонтах) частки меланінсинтезувальних мікроміцетів показує, що найменш забрудненим є екстенсивний агрозем (63,3 %), потім – ґрунт перелогу (71 %), найзабрудненішим є ґрунт інтенсивного агроценозу – 98,9 %. Поясненням тому, що саме екстенсивний агрозем за зазначеним вище показником виявився найменш забрудненим, може бути те, що частина полютантів виноситься з екстенсивного агроценозу у складі врожаю, а у варіанті перелогового ґрунту цього не відбувається.

Ґрунт перелогу характеризується ефективною капілярною системою транспорту субстратів і мінеральних іонів вниз по

профілю до нижчих горизонтів. Свідченням цього є більш плавне зниження чисельності мікроорганізмів вглиб профілю. Так, чисельність целюлозоруйнівних мікроорганізмів зменшується від горизонту Hd до горизонту Ip у ґрунті перелогу у 13,2 раза, в інтенсивному агроземі – 45,6, в екстенсивному агроземі – у 85,7 раза. Загальна чисельність мікроорганізмів у ґрунті перелогу зменшується за переходу від Hd-горизонту до He на 35,8 %. Аналогічні показники для інтенсивного і екстенсивного агроземів становлять 61,4 і 33 % відповідно (табл. 6.1–6.3). Зниження чисельності мікроорганізмів від горизонту Hd до Ip становить для перелогу 3,88 раза, інтенсивного та екстенсивного агроземів – 58,6 і 109 разів відповідно. Одержані нами дані про більш плавне зниження чисельності мікроорганізмів у ґрунті перелогу порівняно з агроземами суперечать даним Т.Г. Добровольської [18], згідно з якими для цілинних ґрунтів характерне різке зниження чисельності й різновиду мікроорганізмів за ґрунтовым профілем на відміну від окультурених ґрунтів.

Для всіх трьох варіантів використання ґрунту характерна чітка тенденція до зменшення чисельності мікроорганізмів у шарі ґрунту 11–40 см порівняно з верхнім шаром (0–10 см). Так, для перелогу ця тенденція виявляється для 10 груп із 15 досліджених, для екстенсивного агрозему – для 11, для інтенсивного – для 9 із 15 груп. Однак фізіолого-біохімічний стан клітин мікроорганізмів змінюється з глибиною шару ґрунту за іншої закономірності: лише 5–6 груп із 10 досліджених мають більшу вірогідність формування колоній порівняно з верхнім горизонтом (табл. 6.4–6.6). При цьому для більшості мікроорганізмів прослідковується закономірність: якщо чисельність клітин зменшується, то їх фізіолого-біохімічна активність зростає. Винятком із цього правила для перелогу і екстенсивного агрозему є групи мікроміцетів і целюлозоруйнівних бактерій, тобто гідролітиків. Однак для інтенсивного агрозему маємо протилежну тенденцію: для більшості груп мікроорганізмів (8 із 13) одночасно із зменшенням чисельності знижується фізіолого-біохімічна активність клітин мікроорганізмів.

Таблиця 6.4. Вірогідність формування колоній мікроорганізмів (λ , год⁻¹ · 10⁻²) у горизонтах сірого лісового ґрунту, який використовується як переліг з 1987 р.

Горизонт/ глибина	Амоніфікатори	Імобілізатори мінерального азоту	Олігонітрофіли	Нітрифікатори	Денітрифікатори	Педотрофи	Автохтонні	Целюлозоруйнівні	Мікроміцети	Мобілізатори мінеральних фосфатів
Hd (0–10)	1,03	0,093	1,53	2,13	0,08	1,02	0,51	2,68	3,25	2,89
He (11–40)	3,35	3,32	2,89	192	0,18	1,97	0,40	1,79	1,53	3,98
Hi (41–74)	3,38	4,58	1,69	1,90	0,39	2,89	0,34	2,29	1,33	3,28
Ih (75–115)	5,36	9,23	4,58	192	0,49	454	0,35	6,03	245	0,64
Ip (116–156)	265	0,01	0,40	0,56	0,36	0,06	0,08	7,80	2,89	0,14
Pi (157–191)	120	0,021	3,53	0,14	0,29	0,04	0,38	5,22	528	0,14

Таблиця 6.5. Вірогідність формування колоній мікроорганізмів (λ , год⁻¹ · 10⁻²) у горизонтах сірого лісового ґрунту, який використовується як інтенсивний агрозем з 1987 р.

Горизонт/ глибина	Амоніфікатори	Імобілізатори мінерального азоту	Олігонітрофіли	Нітрифікатори	Денітрифікатори	Педотрофи	Автохтонні	Целюлозоруйнівні	Мікроміцети	Мобілізатори мінеральних фосфатів	Актиноміцети	Полісахарид-синтезувальні	Азотобактер
He (0–10)	2,89	1,32	0,49	1,12	1,86	1,82	1,11	2,38	1,36	0,52	0,368	279	1,08
He (11–40)	2,49	0,27	0,21	1,57	1,11	1,50	1,09	1,94	2,89	0,70	0,359	2,89	1,09
Hi (41–74)	0,73	0,33	0,52	4,58	3,53	1,43	0,62	3,14	0,58	0,24	0,334	0,68	Не визн.
Ih (75–115)	0,96	0,37	0,17	4,58	0,93	0,66	0,70	2,37	1,35	1,20	0,396	2,71	Не визн.
Ip (116–191)	0,37	0,39	0,33	5,16	0,92	0,24	0,77	2,59	155	1,19	3,30	2,81	Не визн.

Аналіз ВФК мікроорганізмів глибших горизонтів ґрунту показав, що закономірність «більша чисельність – більша фізіолого-біохімічна активність» у ґрунті перелігу посилюється і кількість груп, що демонструють цю закономірність, зростає від 4 (горизонти Hd/He) до 6 (горизонти He/Hi), 7 (горизонти Hi/Ih), 2 (горизонти Ih/Ip) і 6 (горизонти Ip/Pi). Аналогічні цифри для

Таблиця 6.6. Вірогідність формування колоній мікроорганізмів (λ , год⁻¹ · 10⁻²) у горизонтах сірого лісового ґрунту, який використовується як екстенсивний агрозем з 1987 р.

Горизонт/ глибина	Амоніфіка- тори	Імобілізато- ри мінераль- ного азоту	Олігонітро- філи	Нітрифіка- тори	Денітрифіка- тори	Педотрофи	Автохтонні	Целюлозо- руйнівні	Мікроміцети	Мобілізатори мінеральних фосфатів
He (0–10)	2,17	0,65	2,15	1,20	0,61	1,34	0,58	2,67	0,96	2,98
He (11–40)	1,77	1,47	1,03	0,64	1,29	1,64	0,61	1,88	1,59	3,98
Hi (41–74)	0,52	0,36	2,33	2,89	2,45	0,60	0,30	2,51	0,81	4,75
Ih (75–115)	4,24	0,12	0,47	2,89	9,99	0,68	0,36	1,53	0,64	3,33
Ip (116–191)	1,07	0,15	0,80	4,58	0,93	0,26	0,55	1,56	0,97	2,89

екстенсивного агрозему становлять 2, 5, 6 і 5 (із 10 груп), інтенсивного агрозему – 8, 7, 5 і 3 (із 13 груп). Звертає на себе увагу те, що для перелогового ґрунту і екстенсивного агрозему посилення виявлення тенденції зростає, а для інтенсивного агрозему – зменшується. Цю закономірність демонструють також амоніфікатори і педотрофи в інтенсивному агроземі – у всіх горизонтах, екстенсивному агроземі – у 3 і 2 із 4, у перелозі – в 1 із 4 горизонтів. Ці дані мають значення для вирішення питання про те, наскільки обґрунтовано дослідники можуть судити про інтенсивність перебігу певних мікробіологічних процесів на основі лише чисельності мікроорганізмів. Деякі вчені вважають, що правильнішим є дослідження ферментативної активності, яка відповідає певному процесу, наприклад, азотофіксації – ферменту нітрогенази та ін. Однак ферментативна активність також є дуже мінливим показником, і перед ґрунтовими мікробіологами постає питання про введення таких інтегральних показників, які враховували б і чисельність мікроорганізмів, і їх фізіолого-біохімічну активність.

Аналіз показників та індексів, які описують спрямованість мікробіологічних процесів у ґрунті, показав, що інтенсивність мінералізаційних процесів змінюється залежно від положення зразка ґрунту в профілі (табл. 6.7–6.9). Так, коефіцієнт міне-

Таблиця 6.7. Показники інтенсивності мінералізаційних процесів і фітотоксичні властивості горизонтів сірого лісового ґрунту, який використовується як переліг з 1987 р.

Горизонт/ глибина	Індекс педотроф- ності	Коефіцієнт		Активність мінераліза- ції гумусу, %	Сумарна біологічна активність	Маса 100 рослин тест-культури – пшениці озимої, г		
		оліго- троф- ності	мінера- лізації азоту			стеб- ло	корін- ня	загаль- на маса
Hd (0–10)	0,222	0,037	0,254	21,3	1255,2	11,6	12,1	23,7
He (11–40)	0,325	0,039	0,242	20,1	1075,5	11,0	6,35	17,3
Hi (41–74)	0,066	0,005	0,109	33,2	566,0	11,8	8,67	20,5
Ih (75–115)	0,029	0,007	0,140	27,2	178,6	8,31	7,89	16,2
Ip (116–156)	0,014	0,003	0,025	5,00	164,7	8,43	5,77	14,2
Pi (157–191)	0,029	0,010	0,072	6,10	47,9	6,21	7,09	13,3
HP ₀₅						0,42	0,45	

Таблиця 6.8. Показники інтенсивності мінералізаційних процесів і фітотоксичні властивості горизонтів сірого лісового ґрунту, який використовується як інтенсивний агрозем з 1987 р.

Горизонт/ глибина	Індекс педотроф- ності	Коефіцієнт		Активність мінераліза- ції гумусу, %	Сумарна біологічна активність	Маса 100 рослин тест-культури – пшениці озимої, г		
		оліго- троф- ності	мінера- лізації азоту			стеб- ло	корін- ня	загаль- на маса
He (0–10)	0,191	0,100	0,160	25,7	1427,5	8,73	4,84	13,6
He (11–40)	0,799	0,744	0,621	23,8	911,5	6,54	4,77	11,3
Hi (41–74)	0,262	0,173	0,476	29,6	269,1	4,65	4,76	9,41
Ih (75–115)	0,119	0,029	0,155	22,6	280,0	4,31	4,45	8,76
HP ₀₅						0,35	0,18	0,25

ралізації азоту плавно знижується у ґрунті перелігу із 0,254 (верхній горизонт) до 0,072 (нижчий із досліджених горизонтів) (табл. 6.7). Аналогічна тенденція виявляється за аналізу горизонтів екстенсивного агрозему (табл. 6.9), однак в інтенсивно-му агроземі спостерігається підвищення інтенсивності мінералізації – іммобілізації сполук азоту в горизонтах He і Hi, можливо через міграцію мінеральних сполук азоту до шару ґрунту 11–74 см (табл. 6.8). Підвищення коефіцієнта мінералізації

Таблиця 6.9. Показники інтенсивності мінералізаційних процесів і фітотоксичні властивості горизонтів сірого лісового ґрунту, який використовується як екстенсивний агрозем з 1987 р.

Горизонт/ глибина	Індекс педотроф- ності	Коефіцієнт		Активність мінераліза- ції гумусу, %	Сумарна біологічна активність	Маса 100 рослин тест-культури – пшениці озимої, г		
		оліго- троф- ності	мінера- лізації азоту			стеб- ло	корін- ня	загаль- на маса
He (0–10)	0,252	0,162	0,371	21,1	1218,5	6,50	5,89	12,3
He (11–40)	0,182	0,117	0,169	18,8	842,8	8,00	5,10	13,1
Hi (41–74)	0,341	0,226	0,183	17,5	426,1	4,31	4,63	8,90
Ih (75–115)	0,081	0,066	0,139	16,8	260,7	4,40	5,18	9,60
Ip (116–191)	0,391	0,326	0,456	10,7	213,5	4,40	4,00	8,50
НІР ₀₅						0,55	0,47	0,45

сполук азоту в нижньому із досліджених горизонтів екстенсивного горизонту до 0,456 неможливо пояснити вертикальною міграцією мінеральних сполук азоту, оскільки у цей агрозем мінеральні добрива не вносяться із 1987 р., але, можливо, має місце горизонтальна міграція іонів із сусідніх ділянок стаціонарного досліді, де мінеральні добрива вносяться регулярно.

Активність мінералізації гумусу поступово знижується униз за профілем, особливо чітко ця тенденція виявляється за аналізу проб ґрунту багаторічного перелогу і екстенсивного агрозему. Так, активність мікробіологічної деструкції гумусу в ґрунті перелогу знижується між верхнім і нижнім дослідженим горизонтом у 3,5 раза, у ґрунті екстенсивного агрозему – у 1,97 раза. При цьому у ґрунті перелогу та інтенсивного агрозему в горизонтах від 41 до 115 см спостерігається підвищення активності розкладання гумусових речовин порівняно із верхніми і нижчими горизонтами на 24,4–65,2 %. Причиною цього може бути акумулювання рухомих гумусових сполук саме в цих шарах ґрунту (41–115 см).

Агрохімічна характеристика перелогового ґрунту свідчить про те, що ґрунт He-горизонту містить гумусу 1,43 %, Ih-горизонту – 0,041, Pi-горизонту – 0,018 % [10]. Тобто вміст гумусу між гори-

зонтами зменшується в 34,9 і 79,4 рази. Чисельність автохтонних мікроорганізмів зменшується у 10,5 і 200 разів відповідно, при цьому фізіолого-біохімічна активність цих мікроорганізмів у різних горизонтах перелогового ґрунту залишається майже однаковою (табл. 6.4). Отже, активність розкладання гумусу залежить від багатьох чинників: вмісту гумусу, концентрації субстратів, що легко утилізуються і макроелементів, наявності яких уповільнює мінералізацію гумусових речовин, доступності кисню, чисельності автохтонних мікроорганізмів, їхньої фізіолого-біохімічної активності та інших чинників.

Згідно з літературними даними, порівняння різних типів ґрунтів за запасами мікробної біомаси, аналогічне порівняння ґрунтових горизонтів, які різко відрізняються гумусованістю, не підтверджує залежності запасів мікробної біомаси від вмісту органічної речовини [86]. Причиною цього може бути той факт, що не вся мікробна біомаса перебуває в активному стані, значна її частина може перебувати в анабіозі, очікуючи сприятливої стадії sukcesії [72, 109].

Багаторічними дослідженнями було показано, що активність мінералізації гумусу в шарі 0–20 см ґрунту багаторічного перелого є мінімальною, а максимальною – в екстенсивному агроземі [53, 55, 59]. Наведені дані свідчать про зниження активності мінералізації гумусу в ґрунті екстенсивного варіанта, можливою причиною чого може бути зниження вмісту загального гумусу в ґрунті цього варіанта. Упродовж 27 років у ґрунт екстенсивного варіанта не вносяться органічні добрива і не заорюється побічна продукція попередника у сівозміні, органічна речовина відчужується також із продукцією, що вирощується, в результаті чого знижується вміст гумусу.

Варіанти використання сірого лісового ґрунту відрізняються за активністю мінералізації гумусу в окремих горизонтах: у ґрунті перелого ясно простежується тенденція до зниження інтенсивності мінералізації гумусу вглиб профілю, яка порушується у горизонті І_h, де спостерігається підвищення активності в 2,93 рази порівняно із попереднім горизонтом Ні. В інтенсивно-

му агроземі також спостерігається підвищення активності мінералізації гумусу в Ні- і Іh-горизонті, в нижньому із досліджених горизонтів (Ір) активність мінералізації гумусу знову знижується у 2 рази, в результаті чого стає рівною величині активності у верхньому горизонті (*табл. 6.8*). У профілі екстенсивного агрозему такої закономірності не простежується, а спостерігається плавне зниження активності мінералізації гумусу загалом на 97,2 % (*табл. 6.9*). Така різниця підкреслює істотні наслідки різного за інтенсивністю використання ґрунту.

Дослідження фітотоксичності показали, що фітотоксичність ґрунту перелогу – найменша, потім йде інтенсивний агрозем, фітотоксичність якого на 74,3 % більша, ніж у перелогового ґрунту, і екстенсивний агрозем – на 92,7 % більша (горизонт Не). В орному шарі аналогічні показники становили 64,7 і 61,4 % (*табл. 6.7–6.9*). На нижчому із досліджених горизонтів (Іh) показники становили 84,9 і 68,8 %, що також підтверджує існування у перелоговому ґрунті системи капілярів і відсутність цієї системи (або існування недосконалої системи капілярів) в агроземах.

Сумарна біологічна активність у ґрунті перелогу знижується поступово від верхнього горизонту Нd до Не на 16,7 %, від Не до Ні – на 90, від Ні до Іh – у 3,18 рази, від Іh до Ір – на 8,44 %, від Ір до Рі – у 3,44 рази (*табл. 6.7*). Падіння загальної біологічної активності від верхнього до нижнього дослідженого горизонтів становить 7,62 рази. У ґрунті екстенсивного агрозему темпи падіння сумарної біологічної активності між горизонтами становлять 44,6 %, 97,8, 99,6 %, загалом – 5,7 рази; у ґрунті інтенсивного агрозему аналогічні показники становлять 23,7 % між Не (0–10 см) і Не (11–40 см), і 3,39 рази між Не і Ні. Останні три нижніх горизонти характеризуються майже однаковою сумарною біологічною активністю; падіння активності між верхнім і нижнім дослідженими горизонтами становить 5,10 рази (*табл. 6.9*). Отже, темпи падіння сумарної біологічної активності між верхнім і нижнім дослідженими горизонтами максимальні в перелоговому ґрунті і майже одна-

кові в інтенсивному й екстенсивному агроземях. Якщо розглянути сумарну біологічну активність орного шару (0–40 см), то виявлена тенденція збережеться: найбільшу активність демонструє ґрунт перелогу (2330,7), потім ґрунт інтенсивного варіанта (2139) і екстенсивного варіанта (2061,3), що збігається із даними, отриманими раніше [53, 55, 59].

Отже, ґрунт перелогу характеризується ефективнішою транспортною системою капілярів, що знаходить відображення у більш плавному зниженні чисельності мікроорганізмів вглиб профілю порівняно із такою агроземів. Темпи зниження загальної чисельності мікроорганізмів вглиб профілю від горизонту Nd до Ip становлять для перелогу 3,88 раза, інтенсивного та екстенсивного агроземів – 58,6 і 109 разів відповідно. Установлено, що з глибиною у профілі ґрунту змінюється чисельність і фізіолого-біохімічна активність мікроорганізмів основних еколого-трофічних груп, напруженість і спрямованість мінералізаційних процесів. Особливості й масштаби таких змін залежать від способу використання ґрунту.

ВЗАЄМОЗВ'ЯЗОК МІЖ МІКРОБІОЛОГІЧНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ МІКРОБНОГО ЦЕНОЗУ СІРОГО ЛІСОВОГО ҐРУНТУ ТА ЕФЕКТИВНОЮ РОДЮЧІСТЮ

Створення системи біоіндикаційних показників рівня ефективної та потенційної родючості ґрунтів є актуальним завданням сільськогосподарської науки. До цього часу опубліковані розрізнені наукові дослідження, в яких показано наявність кореляційних зв'язків родючості ґрунту із загальною кількістю мікроорганізмів, активністю окремих ферментів або активністю окремих мікробіологічних процесів: респірації, азотофіксації, розкладання клітковини та ін. [11, 83, 95, 97]. Т.В. Аристовська [5] розглядає ефективну родючість ґрунту як потік доступних рослинам елементів, який виникає у процесі деструкції мікроорганізмами органічних залишків і мінералів породи, а потенційну родючість пов'язує із фізико-хімічними властивостями органічних і мінеральних колоїдів ґрунту. На основі аналізу існуючих методів біоіндикації ґрунту можна зробити висновок про неможливість використання однакових методичних підходів для оцінювання ефективної і потенційної родючості ґрунтів. Є.М. Мішустін, Є.В. Рунов [83] для мікробіологічного діагностування стану ґрунтів запропонували використовувати інтенсивність процесів перетворень азотовмісних сполук, зокрема, чисельність нітрифікувальних мікроорганізмів та інтенсивність накопичення нітратів у ґрунті, чисельність іммобілізаторів мінерального азоту і целюлозоруйнівних мікроорганізмів, співвідношення чисельності

мікроорганізмів, що ростуть на середовищах із органічною формою азоту, до чисельності мікроорганізмів, що утилізують мінеральні форми азоту.

Установлено взаємозв'язок між показниками родючості ґрунту й активністю ґрунтових ферментів: целюлази, інвертази, β -глюкозидази і уреазі [95]. Ю.Г. Гельцером описано переваги і недоліки методу визначення інтегральної біологічної активності ґрунту (БАГ), яка характеризує напруженість ґрунтових біохімічних процесів: ферментативну (протеазну й целюлазну) активність і сумарну кількість вільних амінокислот та білків (нінгідринпозитивних речовин) [11].

На думку інших учених, важливими показниками є коефіцієнт оліготрофності, мінералізації сполук азоту, коефіцієнт гуміфікації, вміст лабільної органічної речовини, токсичність ґрунту тощо [28, 84]. Запропоновано також біоіндикаційні показники екологічного стану різних рівнів екосистем: доклітинному, клітинному, популяційному та ценотичному. Однак інтегрованої системи біоіндикаційних показників, яка б описувала взаємозв'язок родючості ґрунту з інтенсивністю та спрямованістю агрономічно значущих мікробіологічних процесів у ґрунті, на сьогодні не існує.

З метою встановлення взаємозв'язку параметрів ефективною родючості зі спрямованістю та напруженістю агрономічно значущих мікробіологічних процесів, стабільністю мікробних угруповань сірого лісового ґрунту проводили кореляційний аналіз між врожайністю сільськогосподарських культур і показниками чисельності мікроорганізмів окремих еколого-трофічних, функціональних та систематичних груп (*табл. 7.1*), їх фізіолого-біохімічною активністю безпосередньо у ґрунті (*табл. 7.2*), показниками інтенсивності мінералізаційних процесів, фітотоксичністю сірого лісового ґрунту (*табл. 7.3*), стабільністю мікробних угруповань (*табл. 7.4*). Загальна кількість показників, яку враховували в аналізі становила 59 од.

Проведений аналіз показав, що ефективна родючість сірого лісового ґрунту істотно ($r = 0,666-0,999$) позитивно корелює із

Таблиця 7.1. Вплив агротехнічних заходів на чисельність абсолютно

Варіант	Амоніфікатори	Імобілізатори мінерального азоту	Олігонітрофіли	Азотобактер, % обростання грудочок ґрунту	Денітрифікатори	
Без добрив (контроль)	233,2	65,6	19,6	2,00	25,4	
CaCO ₃ (1,0 Нг)	453,3	92,4	22,1	12,0	15,6	
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	419,7	64,0	26,1	2,00	9,80	
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀ + CaCO ₃ (1,0 Нг)	441,6	77,8	41,1	54,0	20,4	
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	Сидерат + побічна продукція	631,5	90,8	29,4	8,67	2,05
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀ + CaCO ₃ (1,0 Нг)		416,4	88,2	23,8	41,3	20,7
N ₉₀ P ₄₅ K ₉₀ + CaCO ₃ (1,0 Нг)		428,6	77,6	27,4	1,33	6,85
N ₁₂₀ P ₆₀ K ₁₂₀ + CaCO ₃ (1,0 Нг)		867,6	159,4	58,4	8,00	151,4
НІР ₀₅	14,9	9,55	2,01	1,40	1,87	

Таблиця 7.2. Вірогідність формування колоній мікроорганізмів

№	Варіант	Амоніфікатори	Імобілізатори мінерального азоту	Олігонітрофіли	Нітрифікатори	
1	Без добрив (контроль)	1,32	0,55	2,579	0,05	
2	CaCO ₃ (1,0 Нг)	2,51	0,77	0,214	0,18	
3	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	1,12	0,83	0,733	0,24	
4	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀ + CaCO ₃ (1,0 Нг)	0,92	0,94	1,129	0,29	
6	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	Сидерат + побічна продукція	4,27	0,88	0,506	0,23
7	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀ + CaCO ₃ (1,0 Нг)		1,48	0,79	0,009	0,65
12	N ₉₀ P ₄₅ K ₉₀ + CaCO ₃ (1,0 Нг)		1,58	1,33	0,170	0,33
13	N ₁₂₀ P ₆₀ K ₁₂₀ + CaCO ₃ (1,0 Нг)		2,91	0,33	1,27	0,40

чисельністю амоніфікаторів ($r = 0,628$), іммобілізаторів мінерального азоту ($r = 0,692$), автохтонних мікроорганізмів ($r = 0,752$), мікроміцетів ($r = 0,708$), загальною чисельністю мікроорганізмів

мікроорганізмів у сірому лісовому ґрунті, млн КУО/г сухого ґрунту

	Нітрифікатори	Педотрофи	Целюлозоруйнівні бактерії	Полісахаридсинтезувальні	Автотонні	Актиноміцети	Мікроміцети	Меланінесинтезувальні мікроміцети	Мобілізатори мінеральних фосфатів	Кислотоутворювальні	Мобілізатори органічних фосфатів	Загальна чисельність
	0,057	69,0	55,4	0,68	6,07	8,79	0,38	0,037	9,13	3,38	38,2	568,6
	0,104	57,8	50,5	0,69	6,55	17,0	0,45	0,045	3,81	3,46	45,3	813,5
	0,444	44,7	45,8	1,72	6,60	13,1	0,46	0,031	5,50	6,19	65,0	747,6
	0,309	65,2	55,4	4,08	6,69	9,17	0,47	0,028	8,15	11,21	116,5	941,0
	0,218	43,7	59,1	0,68	7,10	14,0	0,64	0,025	6,83	6,49	40,6	980,3
	0,469	60,3	39,6	2,76	9,55	13,8	0,50	0,026	4,83	5,51	69,9	838,9
	0,569	40,8	60,1	3,41	7,66	11,6	0,51	0,034	6,32	4,22	45,7	753,7
	0,207	80,2	75,0	4,15	12,6	15,6	0,85	0,061	17,3	13,1	90,5	1616,0
	0,04	1,85	1,33	0,08	0,92	1,01	0,05	0,003	0,23	0,05	0,03	

(λ , год⁻¹ · 10⁻²) у сірому лісовому ґрунті за різних агротехнічних заходів

	Денітрифікатори	Педотрофи	Автотонні	Целюлозоруйнівні	Мікроміцети	Мобілізатори мінеральних фосфатів	Актиноміцети	Полісахаридсинтезувальні	Азотобактер
	0,009	2,92	0,49	4,00	1,84	3,40	2,97	2,89	0,01
	0,009	3,17	0,75	4,87	0,94	1,02	2,85	1,47	0,02
	0,060	4,06	0,88	4,10	0,87	1,46	2,89	2,44	1,69
	1,062	2,17	0,67	2,82	0,84	1,93	2,65	2,89	4,82
	0,047	1,95	0,93	4,00	1,71	2,25	2,65	1,45	0,01
	1,69	3,65	0,78	2,89	1,65	2,74	2,63	3,11	5,68
	0,726	2,97	0,70	5,48	1,28	2,02	2,67	1,96	2,89
	14,8	4,79	0,88	5,98	2,06	3,15	2,56	3,15	0,76

($r = 0,668$), фізіолого-біохімічною активністю нітрифікаторів ($r = 0,718$), активністю мінералізації гумусу ($r = 0,727$), сумарною біологічною активністю ($r = 0,695$); сольовим рН ($r = 0,803$), вод-

Таблиця 7.3. Показники інтенсивності мінералізаційних ґрунту за різних

№	Варіант	Індекс педотроф- ності	Коефіцієнт	
			оліго- трофності	мінералі- зації азоту
1	Без добрив (контроль)	0,296	0,084	0,281
2	CaCO ₃ (1,0 Нг)	0,127	0,049	0,204
3	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	0,107	0,062	0,152
4	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀ + CaCO ₃ (1,0 Нг)	0,148	0,093	0,176
6	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	Сидерат + побічна продукція	0,069	0,144
7	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀ + CaCO ₃ (1,0 Нг)		0,145	0,212
12	N ₉₀ P ₄₅ K ₉₀ + CaCO ₃ (1,0 Нг)		0,095	0,181
13	N ₁₂₀ P ₆₀ K ₁₂₀ + CaCO ₃ (1,0 Нг)		0,092	0,184
	НІР ₀₅			

Таблиця 7.4. Кількість кореляційних зв'язків між складовими мікробних угруповань сірого лісового ґрунту під впливом вапнування, мінерального удобрення та заорювання екзогенної органічної речовини

№	Варіант	Кількість кореляційних зв'язків							
		середньо- значущі (r = 0,333– 0,665)			високо- значущі (r = 0,666– 0,999)			Усього за варіан- том	
		прямий	обернений	усього	прямий	обернений	усього		
1	Без добрив (контроль)	17	15	32	21	9	30	62	
2	CaCO ₃ (1,0 Нг)	26	12	38	31	13	44	82	
3	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	23	21	44	30	9	39	83	
4	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀ + CaCO ₃ (1,0 Нг)	31	16	47	22	8	30	77	
6	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	26	9	35	29	20	49	84	
7	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀ + CaCO ₃ (1,0 Нг)	Сидерат + побічна продукція	22	18	40	16	14	30	70
12	N ₉₀ P ₄₅ K ₉₀ + CaCO ₃ (1,0 Нг)		32	16	48	25	13	38	86
13	N ₁₂₀ P ₆₀ K ₁₂₀ + CaCO ₃ (1,0 Нг)		19	20	39	26	12	28	77

процесів і фітотоксичні властивості сірого лісового агротехнічних заходів

	Активність мінералізації гумусу, %	Сумарна біологічна активність	K _r	Урожайність, т/га	Маса 100 рослин тест-культури – пшениці озимої, г		
					стебло	коріння	загальна маса
	8,80	584,9	0,419	1,14	6,29	4,21	10,5
	11,5	697,6	0,803	1,22	6,35	4,75	11,1
	14,8	758,3	0,954	1,31	6,83	4,57	11,4
	10,3	1018,8	0,532	2,00	8,51	5,29	13,8
	16,3	0,342	0,342	2,21	7,54	4,96	12,5
	15,8	0,460	0,460	2,49	6,64	4,86	11,5
	18,8	0,653	0,653	2,71	7,92	5,98	13,9
	15,6	0,929	0,929	2,85	8,72	5,58	14,3
					0,18	0,10	

ним рН ($r = 0,654$), вмістом у ґрунті азоту ($r = 0,852$), калію ($r = 0,764$), фосфору ($r = 0,804$), гумусу ($r = 0,859$) та ступенем рухомості фосфору ($r = 0,729$).

Урожайність гречки від'ємно істотно корелює із чисельністю меланінсинтезувальних мікроміцетів ($r = -0,615$) та їх питомим умістом у загальній кількості мікроміцетів ($r = -0,723$), фізіолого-біохімічною активністю актиноміцетів ($r = -0,929$), показниками фітотоксичності ($r = -0,712$ (надземна частина), $r = -0,831$ (коріння), $r = -0,793$ (загальна біомаса тест-рослин)), гідролітичною кислотністю ($r = -0,764$), загальною обмінною кислотністю ($r = -0,714$) та вмістом рухомого алюмінію ($r = -0,703$). Прямий кореляційний зв'язок середнього рівня значущості ($r = 0,333-0,665$) спостерігається між ефективною родючістю сірого лісового ґрунту і чисельністю олігонітрофілів ($r = 0,597$), денітрифікаторів ($r = 0,445$), нітрифікаторів ($r = 0,497$), целюлозоруйнівних ($r = 0,458$), полісахаридсинтезувальних мікроорганізмів ($r = 0,542$), мобілізаторів мінеральних фосфатів ($r = 0,436$), кислотоутворювальних ($r = 0,505$), ВФК денітрифікаторів ($r = 0,571$), автохтонних, кислотоутворювальних мікроорганізмів, мікроміцетів, мобілізаторів мінеральних фосфатів і азотобакте-

ра. Обернений зв'язок середнього рівня значущості спостерігається між урожайністю і ВФК олігонітрофілів ($r = -0,375$), індексом педотрофності ($r = -0,548$), коефіцієнтом мінералізації азоту ($r = -0,354$).

Уперше проведено аналіз взаємозв'язків між родючістю сірого лісового ґрунту та стабільністю мікробних ценозів, він показав, що стабільність мікробних угруповань досить повно описується кількістю високозначущих кореляційних зв'язків між окремими групами мікроорганізмів, які є складовими частинами угруповань (табл. 7.4). Установлено, що ефективна родючість має значущий кореляційний зв'язок із загальною кількістю середньозначущих зв'язків ($r = 0,349$), кількістю прямих високозначущих кореляційних зв'язків ($r = -0,552$), загальною кількістю значущих зв'язків у варіанті (як середньо- так і високозначущих) ($r = 0,623$).

Проведено також аналіз значущості кореляційних зв'язків між урожайністю пшениці озимої (2012 р.), сої (2013 р.), пшениці ярої (2014 р.), гречки (2015 р.) і показниками чисельності мікроорганізмів окремих еколого-трофічних, функціональних та систематичних груп, їх фізіолого-біохімічною активністю, показниками інтенсивності мінералізаційних процесів, фітотоксичністю, стабільністю мікробних угруповань у середньому за 4 вегетаційні періоди. Встановлено, що ефективна родючість сірого лісового ґрунту істотно ($r = 0,666-0,999$) позитивно корелює із чисельністю амоніфікаторів ($r = 0,655$), іммобілізаторів мінерального азоту ($r = 0,669$), олігонітрофілів ($r = 0,708$), целюлозоруйнівних ($r = 0,669$), автохтонних мікроорганізмів ($r = 0,667$), загальною чисельністю мікроорганізмів ($r = 0,684$), сумарною біологічною активністю ($r = 0,764$); ВФК денітрифікаторів ($r = 0,690$), сольовим рН ($r = 0,694$), водним рН ($r = 0,654$), вмістом у ґрунті азоту ($r = 0,697$), калію ($r = 0,723$), фосфору ($r = 0,857$), гумусу ($r = 0,733$). Урожайність сільськогосподарських культур від'ємно істотно корелює із чисельністю меланінсинтезувальних мікроміцетів ($r = -0,665$) та їх питомим вмістом у загальній кількості мікроміцетів ($r = -0,673$), показниками фіто-

токсичності: $r = -0,844$ (надземна частина), $r = -0,645$ (коріння), $r = -0,648$ (загальна біомаса тест-рослин), гідролітичною кислотністю ($r = -0,683$), загальною обмінною кислотністю ($r = -0,677$) та вмістом рухомого алюмінію ($r = -0,673$). Прямий кореляційний зв'язок середнього рівня значущості ($r = 0,333-0,665$) спостерігається між ефективною родючістю сірого лісового ґрунту і чисельністю денітрифікаторів ($r = 0,479$), педотрофів ($r = 0,578$), актиноміцетів ($r = 0,456$), мікроміцетів ($r = 0,591$), мобілізаторів мінеральних фосфатів ($r = 0,519$), полісахаридсинтезувальних ($r = 0,576$) та кислотоутворювальних мікроорганізмів ($r = 0,375$); ВФК нітрифікаторів ($r = 0,565$); автохтонних ($r = 0,408$), целюлозоруйнівних бактерій ($r = 0,350$), активністю мінералізації гумусу ($r = 0,564$), умістом нітратного ($r = 0,398$) і амонійного ($r = 0,549$) азоту, ступенем рухомості фосфору ($r = 0,540$). Обернений зв'язок середнього рівня значущості спостерігається між урожайністю і ВФК олігонітрофілів ($r = -0,554$), індексом педотрофності ($r = -0,561$). Зв'язок між урожайністю та коефіцієнтом мінералізації азоту за середніми багаторічними даними виявився незначущим ($r = 0,090$).

Проведено аналіз взаємозв'язків між родючістю сірого лісового ґрунту та стабільністю мікробних ценозів у всіх варіантах досліджу за чотири вегетаційних періоди. Встановлено, що ефективна родючість має значущий кореляційний зв'язок із кількістю прямих середньозначущих зв'язків ($r = 0,437$), загальною кількістю середньозначущих зв'язків ($r = 0,465$), кількістю прямих високозначущих кореляційних зв'язків ($r = -0,505$), загальною кількістю значущих зв'язків у варіанті (як середньо- так і високозначущих) ($r = 0,639$). Отже, уперше показано, що ефективна родючість сірого лісового ґрунту корелює зі стабільністю мікробних угруповань, яка описується кількістю значущих кореляційних зв'язків між їх складовими.

МЕТОДОЛОГІЯ ПРОВЕДЕННЯ МІКРОБІОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

8.1.

ВІДБІР СЕРЕДНЬОЇ ПРОБИ ҐРУНТУ ТА ПРИГОТУВАННЯ ҐРУНТОВОЇ СУСПЕНЗІЇ ДЛЯ ПОСІВУ

Середню пробу ґрунту отримують завдяки змішуванню окремих зразків, кількість яких залежить від мікрорельєфу, ступеня гетерогенності ґрунту і однорідності фітоценозу. Рекомендується з площі 100 м² відбирати зразки із 3 точок; з площі, що перевищує 100 м² – із п'яти по принципу конверту (чотири у точках по кутах і одну – всередині прямокутника); з 1 га і більше – із 15 точок.

Проби слід відбирати ґрунтовим буром. Перед відбором проби бур ретельно очищують, обтирають змоченим спиртом ватним тампоном, котрий потім спалюють, і обпалюють бур у полум'ї. Також застосовують багаторазове втикання бура в ґрунт, з якого відбирають зразок. При цьому стороння мікрофлора з бура зчищається й залишаються мікроорганізми, характерні для досліджуваного ґрунту.

Середню ґрунтову пробу кореневої зони й міжрядь одержують через змішування окремих зразків, відібраних у зоні коренів рослин і посередині міжряддя. Зразки ґрунту вміщують в стерильні поліетиленові пакети, на яких вказують номер зразка, тип ґрунту і глибину взяття, а також дату відбору проби.

Мікробіологічний посів слід проводити одразу після відбору зразків, оскільки при зберіганні зразків змінюється співвідношення між окремими групами мікроорганізмів, тому що є види стійкі до висушування, однак більшість клітин інших видів за висушування гине. При зниженій вологості відбувається сильний розвиток грибів й актиноміцетів, і ці групи мікроорганізмів починають переважати над іншими. Якщо вологі зразки поміщають у скляну банку із притертою пробкою, розвиваються відновні процеси й мікрофлора також різко змінюється. Правило проведення мікробіологічного посіву в день відбору зразків дещо обмежує можливості дослідження перебігу мікробіологічних процесів у ґрунтах віддалених областей.

Після відбору зразків ґрунт перемішують і розминають руками у поліетиленовому пакеті. Добре перемішаний ґрунт висипають на стерильне скло (скло стерилізують спиртом й обпалюють над полум'ям пальника), ретельно перемішують шпателем, розкладають рівним шаром, видаляють корінці й інші сторонні включення та ретельно відбирають середній зразок, для чого ґрунт беруть шпателем з різних місць. Відважують 10 г ґрунту, переносять у колбу з 90 мл стерильної води і струшують упродовж 20 хв на качалці за 120 об./хв.

Після струшування дають суспензії відстоятися впродовж 30 с, щоб осіли великі мінеральні частки, які надалі будуть утрудняти надходження суспензії в піпетки, і готують розведення ґрунтової суспензії для здійснення посіву на поживний агар. При такому методі підготовки можна врахувати в кілька, а для деяких ґрунтів й у десятки разів більшу кількість бактерій, актиноміцетів і грибів, для чого необхідно підібрати відповідне розведення для певних груп мікроорганізмів. На основі практичного досвіду для сірого лісового ґрунту рекомендуємо такі розведення: для амоніфікаторів – 7 розведення, для іммобілізаторів мінерального азоту, педотрофів та ін. – 6 розведення, для автохтонних – 5, для нітрифікаторів і грибів – 4 розведення. Використання невідповідного розведення призводить до зменшення кількості мікроорганізмів, що можна підрахувати методом висіву ґрунтової сус-

пензії, що, своєю чергою, призводить до отримання статистично недостовірних даних.

Одночасно беруть наважку ґрунту (10 г) для визначення його вологості. Ґрунт поміщають у заздалегідь зважений металевий бюкс і висушують у сушильній шафі при 105 °С упродовж 5 год. Висушування припиняють, коли ґрунт досягає постійної маси.

8.2.

ДО ПИТАННЯ ПРО ЧАС ПРОВЕДЕННЯ МІКРОБІОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ УПРОДОВЖ ВЕГЕТАЦІЙНОГО ПЕРІОДУ

У ґрунтовій мікробіології залишається невирішеним методичне питання про час проведення досліджень: упродовж вегетації рослин або ж по її закінченні. Рослини формують функціональну, таксономічну і просторову структуру мікробного угруповання кореневмісного шару ґрунту [1, 26, 87, 111], при цьому видова належність рослин впливає на перебіг мікробіологічних процесів [46–48]. Характеристики ґрунту: вміст гумусу, макро- і мікроелементів, рН, вологість і проникненість для повітря, пул фітотоксичних речовин, що залишилися від попередніх вегетаційних періодів також істотно впливають на чисельність мікроорганізмів окремих функціональних і еколого-трофічних груп. Однак ті самі чинники впливають і на розвиток рослин, які, своєю чергою, виділяють кореневі ексудати, що споживаються представниками ризосферної мікрофлори. Отже, спрямованість мінералізаційних і синтезаційних процесів у ґрунті визначається багатьма чинниками: видом рослин і складом їх корневих виділень, агрохімічним фоном, який впливає на інтенсивність розвитку рослин, а отже, на кількість корневих ексудатів, фізико-хімічні, сорбційні і фітотоксичні властивості ґрунту, що сформувалися впродовж попереднього періоду. Тому перед мікробіологами постає питання про час проведення досліджень мікробних угруповань: якщо це зробити впродовж вегетаційного періоду, то накладеться вплив з боку рослин, якщо ж по закінченні вегетації, можна уникнути значної частини цього впливу. Із метою

з'ясування цього питання проводили експериментальні дослідження ґрунту кореневої зони рослин сої під час максимального вегетативного розвитку (II декада липня) і по закінченні вегетації – в III декаду вересня.

Аналіз отриманих даних показує, що по закінченні вегетаційного періоду чисельність і фізіолого-біохімічна активність мікроорганізмів основних еколого-трофічних груп істотно змінюється (*табл. 8.1, 8.2*).

Так, чисельність амоніфікаторів у ґрунті всіх досліджених варіантів зменшилася в 1,16–4,6 рази, максимально – в ґрунті варіанта із мінімальною дозою мінеральних добрив. Кількість нітрифікаторів, які йдуть у циклі перетворень азоту слідом за іммобілізаторами мінерального азоту, також зменшилася у середньому в 1,88 рази. Навпаки, чисельність іммобілізаторів мінерального азоту збільшилася в 1,5–4 рази, що свідчить про активізування іммобілізації сполук азоту в біомасі мікроорганізмів.

По закінченні вегетаційного періоду кількість та фізіолого-біохімічна активність денітрифікаторів зростають до максимальних значень у всіх варіантах досліді незалежно від внесеної дози добрив (*табл. 8.2*). Причиною цього є, можливо, зникнення із агроценозу рослин, які були основними споживачами азоту, фіксованого мікрофлорою ризосфери. Саме цей азот стає доступним денітрифікаторам, наслідком чого є спалах активності денітрифікаційного процесу, що підтверджують дані, отримані для сої раніше [40, 56].

На основі багаторічних спостережень над монокультурами і травосумішами бобових трав було показано, що в ризосфері рослин, особливо бактеризованих комплексними препаратами поліфункціональної дії, інгібується розвиток вільноіснуючих азотофікаторів, зокрема азотобактера [41, 48, 49]. Кількість азотобактера в ризосфері сої поступово зменшується за фазами онтогенезу: у фазу початку цвітіння – в 1,3 рази, у фазу формування бобів – в 14,4 рази порівняно із посівом. Наприкінці вегетації рослин (фаза повної стиглості) кількість азотобактера знову зростає. У представлених даних ми також спостерігаємо збіль-

Таблиця 8.1. Чисельність мікроорганізмів у сірому лісовому ґрунті бобів, млн КУО*/г

Варіант		Амоніфікатори	Імобілізатори мінерального азоту	Олігонітрофіли	Азотобактер, % обростання ґрунтових грудочок	
Заорювання побічної продукції рослинництва	N ₂₀ P ₃₀ K ₃₀	880,1	17,7	14,8	9,00	
	N ₄₀ P ₆₀ K ₆₀	937,2	39,8	27,9	2,01	
	N ₆₀ P ₉₀ K ₉₀	747,4	20,7	26,7	2,67	
	Без добрив (контроль)	402,4	42,1	34,9	97,3	
Без заорювання побічної продукції	N ₄₀ P ₆₀ K ₆₀	412,7	44,9	33,3	76,0	
	Без добрив (контроль)	470,2	44,7	47,9	41,3	
НІР ₀₅		5,05	2,54	4,15	0,92	

*КУО – колонієутворювальна одиниця.

Таблиця 8.2. Чисельність мікроорганізмів у сірому лісовому ґрунті

Варіант		Амоніфікатори	Імобілізатори мінерального азоту	Олігонітрофіли	Азотобактер, % обростання ґрунтових грудочок	Денітрифікатори
Заорювання побічної продукції рослинництва	N ₂₀ P ₃₀ K ₃₀	191,7	71,6	38,0	32,0	120,5
	N ₄₀ P ₆₀ K ₆₀	356,7	59,7	35,0	3,00	154,7
	N ₆₀ P ₉₀ K ₉₀	270,1	71,7	39,9	8,01	154,3
	Без добрив (контроль)	203,3	39,2	24,3	99,3	49,0
Без заорювання побічної продукції	N ₄₀ P ₆₀ K ₆₀	355,1	64,1	21,6	9,33	153,7
	Без добрив (контроль)	225,6	83,3	16,4	83,3	120,1
НІР ₀₅		5,00	5,45	1,95	4,62	10,2

*КУО – колонієутворювальна одиниця;

**кореневої зони рослин сої, фаза кінця цвітіння – початку наливу
абсолютно сухого ґрунту**

Денітри-фікатори	Нітри-фікатори	Педотрофи	Целюлозо-руйнівні	Полісахаридсинтезувальні	Автохтонні	Актиноміцети	Мікроміцети	Мобілізатори мінеральних фосфатів	Кислотоутворювальні	Загальна чисельність
8,30	0,17	66,8	14,4	0,10	2,1	4,10	0,347	1,80	0,10	1019,8
10,6	0,56	163,3	55,4	2,21	10,5	8,91	1,369	5,21	1,86	1267,8
152,4	0,50	100,5	27,8	1,10	8,8	9,82	1,543	11,6	2,54	1119,4
23,9	0,25	101,3	57,5	3,42	9,1	12,8	0,331	5,30	14,7	905,3
48,8	0,30	59,0	60,8	2,20	9,2	14,8	0,148	9,10	9,40	780,6
21,6	0,24	66,7	84,0	7,61	12,4	11,2	2,102	10,5	6,81	873,4
2,00	0,02	5,04	2,01	0,45	0,68	1,03	0,01	0,76	1,06	

після закінчення вегетації сої, млн КУО*/г абсолютно сухого ґрунту

Нітрифікатори	Педотрофи	Целюлозоруйнівні	Полісахаридсинтезувальні	Автохтонні	Актиноміцети	Мікроміцети	Мобілізатори мінеральних фосфатів	K _r **	Загальна чисельність
0,13	22,6	33,2	2,56	11,9	26,3	0,106	40,5	0,640	591,17
0,28	81,8	28,7	4,42	13,5	16,6	0,413	27,3	0,757	782,1
0,25	51,8	29,4	0,74	10,0	13,2	0,209	15,9	0,625	665,5
0,20	30,1	22,5	3,99	8,6	7,63	0,120	21,8	0,706	510,0
0,11	23,6	29,6	1,46	9,9	10,3	0,152	19,4	0,726	698,4
0,12	18,6	28,0	1,09	7,3	16,4	0,075	5,82	1,214	606,1
0,04	6,52	2,14	0,22	1,90	2,85	0,030	3,48		

** K_r – питома фосфатмобілізувальна активність [36].

шення кількості азотобактера після закінчення вегетації у всіх варіантах досліду, що передбачають заорювання побічної продукції, в 1,5–46,7 разів. Єдиним варіантом, у ґрунті якого кількість азотобактера не збільшилась, а зменшилась у 8,2 разів, є варіант з унесенням $N_{40}P_{60}K_{60}$ без заорювання побічної продукції. Кількість азотобактера в кореневій зоні рослин аналогічного варіанта із заорюванням побічної продукції було мінімальним і в період максимального вегетаційного розвитку і по закінченні вегетації. Ті самі спостереження можна зробити щодо поширення азотобактера в ґрунті інших варіантів з унесенням мінеральних добрив – вони пригнічують розвиток азотобактера, і їх післядія зберігається після закінчення вегетаційного періоду.

Можна припустити, що розвиток азотобактера впродовж вегетаційного періоду в ризосфері бобових рослин стримується азотофіксувальними мікроорганізмами, які перебувають з рослиною в асоціативних взаємовідносинах, і розвиток яких рослини специфічно стимулюють через зміну складу корневих виділень. Такими можуть бути як представики асоціативних азотофіксаторів, що населяють цей ґрунт, так і клітини біоагентів інокуляційних препаратів. Відомо, що в рослини при формуванні елементів симбіотичного апарата проникає лише незначна частина інтродукованих клітин, більша частина з 200000, що застосовують для бактеризації однієї насінини, залишаються в оточуючому ґрунті, виконуючи функції асоціативної фіксації атмосферного азоту. Отже, витіснення азотобактера з ризосферного ґрунту бобових належить до сфери конкурентних взаємовідносин між мікроорганізмами близьких за фізіологією груп.

По закінченні вегетаційного періоду в ґрунті істотно (в 5,3–22,5 разів) збільшується кількість мікроорганізмів, які мобілізують фосфор з нерозчинних мінеральних форм (табл. 8.1, 8.2). Максимальна кількість мобілізаторів мінеральних фосфатів збільшується у варіанті з найменшою дозою мінеральних добрив ($N_{20}P_{30}K_{30}$).

Згідно з дослідженнями Головченко, Полянської [12, 13], густина стрептоміцетного міцелію зростає до осені в 4–7 разів. Ця

закономірність підтверджена нами лише частково: в частині варіантів дослідів кількість КУО актиноміцетів зростає в 1,35–6,41 рази, а в трьох варіантах дослідів вона зменшується. Опубліковані також дані Шурхно зі співавт. [99], згідно з якими в ризосфері багаторічних бобових трав наприкінці польового сезону (вересень) чисельність актиноміцетів і бактерій знижується, а чисельність мікроміцетів – зростає. Нам не вдалося підтвердити цю закономірність, згідно з наведеними результатами, кількість мікроміцетів різко зменшується після закінчення вегетації.

Кількість целюлозоруйнівних бактерій істотно зменшилася після закінчення вегетації, а чисельність автохтонних, навпаки, – збільшилася. Причиною цього є завершення притоку в ґрунт легкодоступного матеріалу корневих виділень, що споживаються мікроорганізмами циклу вуглецю. За відсутності легкодоступних субстратів активізуються мікроорганізми, що розкладають важкодоступні молекули, зокрема гумусові. Це підтверджується результатами аналізу активності мінералізації гумусу: влітку вона в 1,38–5,29 рази нижче, ніж восени (*табл. 8.3*). Ті самі висновки можна зробити щодо індексу педотрофності, який описує інтенсивність освоєння органічної речовини ґрунту мікроорганізмами. Отже, зі зникненням рослин із агрофітоценозу активність мінералізації загальної органічної речовини, і особливо гумусу, різко зростає.

Отже, процеси, що проходять у складних багатофакторних системах, до яких належить ґрунт ризосфери, розвиваються у динаміці відповідно до фаз росту рослин, які екскретують ексудати, що містять субстрати для росту мікроорганізмів багатьох функціональних груп. Змінення інтенсивності синтезацийних і мінералізаційних мікробіологічних процесів більшою мірою визначається складом і кількістю рослинних корневих виділень. Тому максимальна різниця між ґрунтом досліджених варіантів спостерігається саме у період максимального вегетативного розвитку рослин, потім різниця між варіантами стає менш помітною, а після закінчення вегетації – мінімальною. Для об'єктивного оцінювання елементів технологій, агрофонів та ін. потрібно до-

Таблиця 8.3. Показники інтенсивності мінералізаційних процесів кінця цвітіння – початку наливу

Варіант		Індекс педотрофності		Коефіцієнт				
				оліготрофності		мінералізації азоту		
		1*	2**	1	2	1	2	
Заорювання побічної продукції рослинництва	N ₂₀ P ₃₀ K ₃₀	0,076	0,373	0,017	0,198	0,020	0,373	
	N ₄₀ P ₆₀ K ₆₀	0,174	0,155	0,030	0,066	0,042	0,113	
	N ₆₀ P ₉₀ K ₉₀	0,134	0,192	0,036	0,148	0,028	0,265	
	Без добрив (контроль)	0,252	0,148	0,087	0,120	0,105	0,193	
Без заорювання побічної продукції рослинництва	N ₄₀ P ₆₀ K ₆₀	0,143	0,066	0,081	0,061	0,109	0,180	
	Без добрив (контроль)	0,142	0,082	0,102	0,073	0,095	0,369	
НІР ₀₅								

*1 – фаза кінця цвітіння – початку наливу бобів;

сліджувати ґрунтові зразки саме в період, який передує початку формування генеративних органів. Вимоги опонентів ґрунтових мікробіологічних робіт щодо наведення середніх даних за вегетаційний період, на наш погляд, нерозумні як з погляду обсягу матеріалу, що публікується, так і закономірностей розвитку мікробних угруповань за фазами вегетації сільськогосподарських культур.

8.3.

ЗАКОНОМІРНОСТІ ДИНАМІКИ ЧИСЕЛЬНОСТІ МІКРООРГАНІЗМІВ ПІД ЧАС ЗБЕРІГАННЯ ЗРАЗКІВ СІРОГО ЛІСОВОГО ҐРУНТУ

За дослідження мікробних угруповань ґрунтів різного типу, географічно віддалених, різного типу використання виникає питання про строк зберігання ґрунтових зразків. У літературі представлені різні точки зору щодо цього питання: Д.Г. Звягінцев зі співавт. [77] вважають, що мікробіологічні дослідження по-

і фітотоксичні властивості ґрунту кореневої зони рослин сої у фазу бобів і по закінченні вегетації

Активність мінералізації гумусу, %		Маса 100 рослин тест-культури – пшениці озимої, г					
		стебло		коріння		загальна маса	
1	2	1	2	1	2	1	2
3,14	16,6	7,77	6,10	7,31	8,34	15,1	14,4
6,43	16,5	9,02	7,58	7,88	9,59	16,9	17,2
8,76	19,3	8,89	8,27	6,71	9,93	15,6	18,2
8,98	28,6	8,38	6,98	7,01	10,4	15,4	17,4
15,6	41,9	7,58	7,94	7,64	10,9	15,2	18,9
18,6	39,2	7,45	7,17	6,67	10,1	14,1	17,2
		0,08	0,03	0,05	0,04		

**2 – період закінчення вегетації рослин сої.

трібно проводити в добу відбору зразків, Є.З. Теппер [92] допускає збільшення строку зберігання до 48 годин у холодильнику, а Е.А. Штіна [98] – до кількох діб за умов невеликої вологості зразків. На практиці ж багато дослідників не дотримуються цих методичних рекомендацій і зберігають зразки досить довго.

З огляду на необхідність дослідження мікробних ценозів цільних ґрунтів, а також ризосфери рослин, де є активні потоки речовин та енергії, виникає питання про строк їх зберігання, оскільки із відбором зразка припиняється надходження кореневих ексудатів від рослин. Унаслідок цього змінюється і фізіологічна активність ризосферних мікроорганізмів. Крім того, вилучення зразків із загального моноліту ґрунту збільшує доступність кисню, що також впливає на фізіологічну активність і життєздатність мікроорганізмів аеробних, факультативно анаеробних і анаеробних груп.

Дослідження проводили зі зразками сірого лісового ґрунту різноцільового використання, що відбирали двічі – у період тривалих дощів і упродовж посушливого періоду (14 діб). Перше

дослідження зразків відбувалося через 3–5 год після відбору, потім через 1–5–14 діб зберігання у стерильних поліетиленових пакетах (із доступом повітря) за температури +25 °С у термостаті і за +5 °С у холодильнику.

Дослідження показали, що впродовж доби кількість амоніфікаторів за зберігання ґрунту із підвищеною вологістю змінюється неістотно, а за зберігання ґрунту зі зниженою вологістю зростає: у ґрунтів перелогів у 1,7, в агроземах – у 2,7 раза (*табл. 8.4*). Ці дані отримано за зберігання зразків при температурі +25 °С, за температури +5 °С для перезволоженого ґрунту зберігаються ті самі закономірності, що й за +25 °С. У ґрунті зі зниженою вологістю, що зберігається у холодильнику, відбуваються процеси, які відрізняються від таких, що відбуваються за температури +25 °С: у ґрунті перелогу переважають процеси сорбції клітин на часточках ґрунту, а в агроземах встановлюється рівновага між сорбцією і десорбцією клітин амоніфікаторів (*табл. 8.5*). Отже, під час зберігання ґрунту із недостатнім зволоженням процеси десорбції амоніфікаторів за температури +25 °С переважають на відміну від перезволоженого ґрунту, де настає рівновага між сорбцією і десорбцією клітин. Крім того, можна зробити висновок про менший вплив агрохімічних характеристик ґрунтів на процеси десорбції, ніж вологість ґрунту, оскільки закономірності, що спостерігаються для перелогів й агроземів аналогічні за однаково низької вологості зразків ґрунту і розрізняються для ґрунтів одного типу використання із різною вологістю (*табл. 8.4–8.6*).

За подальшого зберігання (5–14 доба) перезволоженого ґрунту при +25 °С чисельність амоніфікаторів у ґрунті перелогу практично не змінюється, а в інтенсивному агроземі зростає на 14 добу зберігання. Інша динаміка спостерігається для ґрунту із недостатнім рівнем зволоження: на п'яту добу зберігання кількість амоніфікаторів зменшується в ґрунті перелогу в 1,2 раза, в ґрунті агроценозу – в 3,7 раза (*табл. 8.5*). Зменшення кількості колонієутворювальних одиниць амоніфікаторів може бути зумовлено як зміною процесу десорбції на сорбцію клітин

Таблиця 8.4. Динаміка кількості мікроорганізмів у зразках сірого лісового ґрунту, що відбирали у період тривалих дощів, за зберігання у різних умовах, млн КУО/г абсолютно сухоґрунту

№	Варіант	Кількість за час зберігання, діб															
		амоніфікаторів				імобілізаторів азоту				мікроміцетів				актиноміцетів			
		вихід	1	5	14	вихід	1	5	14	вихід	1	5	14	вихід	1	5	14
<i>Зберігання за температури +25 °С</i>																	
	Переліг з: 2000 р.	13,5	12,0	12,9	19,9	66,5	32,0	63,8	60,0	60,5	57,2	52,6	43,6	8,55	5,20	3,20	7,10
1																	
2	1987 р.	27,5	Не визн.	17,3	18,3	81,9	Не визн.	78,5	62,3	98,4	Не визн.	39,7	36,3	16,0	Не визн.	19,2	8,70
3	Агрозем: екстенсивний																
4	інтенсивний	47,4	Не визн.	24,7	34,1	238,1	Не визн.	184,7	207,4	54,4	Не визн.	60,7	48,1	27,2	Не визн.	14,8	15,6
<i>Зберігання за температури +5 °С</i>																	
	Переліг з: 2000 р.	13,5	14,0	15,5	7,45	66,5	55,1	61,1	116,3	60,5	58,3	27,6	15,4	8,55	7,90	9,50	12,8
1																	
2	1987 р.	27,5	Не визн.	5,75	41,0	81,9	Не визн.	58,9	187,4	98,4	Не визн.	36,9	27,6	16,0	Не визн.	9,10	18,8
3	Агрозем: екстенсивний																
4	інтенсивний	47,4	Не визн.	19,7	5,50	238,1	Не визн.	98,2	41,9	54,4	Не визн.	55,5	37,7	27,2	Не визн.	15,9	2,55

мікроорганізмів часточками ґрунту, так і відмиранням клітин в умовах нестачі вологи. Ймовірність останнього припущення досить мала, оскільки клітини мікроорганізмів є стійкими до висушування: в умовах контактено-конвективного зневоднення (у контакті із ґрунтом і повітрям) до залишкової вологості 8–12 % життєздатність зберігають 96 % клітин [6].

За тривалого зберігання перезволоженого ґрунту при +5 °С відбувається різке зменшення чисельності амоніфікаторів після 14 діб (*табл. 8.4*). Оскільки за +25 °С зменшення чисельності мікроорганізмів на 14 добу зберігання не спостерігається, то можна зробити висновок про те, що неоптимальна температура (+5 °С) є стресором і спричиняє посилення сорбції клітин часточками ґрунту. За тривалого зберігання низькозволоженого ґрунту (*табл. 8.5*) зменшення КУО амоніфікаторів спостерігається дещо раніше: на першу добу – у переложному ґрунті, на п'яту добу – у ґрунтах агроценозу. Можливо, сумісна дія двох несприятливих факторів: нестачі вологи і низької температури зумовлює швидше настання стресового стану, і як наслідок, – посилення сорбційних процесів.

Кількість іммобілізаторів мінерального азоту під час зберігання перезволоженого ґрунту впродовж доби зменшується в 2 рази в ґрунті перелогу і збільшується в 3,2 рази в ґрунті агроценозу (*табл. 8.4*). Незважаючи на те, що в цьому випадку йдеться про ґрунт варіанта без добрив (контроль), куди мінеральні й органічні добрива не вносять з 1987 р., у ньому переважають процеси десорбції на відміну від перелогу, де активізуються процеси сорбції. Оскільки ці два (№ 1 і 3) варіанти неістотно відрізняються за вмістом азоту (*табл. 8.6*), то можна припустити, що різниця в інтенсивності сорбційно-десорбційних процесів клітин іммобілізаторів азоту зумовлена вологістю і фізико-механічними властивостями зразків ґрунту: ґрунт перелогів має вищу вологість і щільність [89]. Велике значення рівня зволоження ґрунту в процесах сорбції клітин підтверджується результатами, отриманими для ґрунту, який недостатньо зволожений на момент відбору зразків. У ньому переважають

Таблиця 8.5. Динаміка кількості мікроорганізмів у зразках сірого лісового ґрунту, що відбирали у період тривалої посухи, за зберігання у різних умовах, млн КУО/ г абсолютноно сухого ґрунту

№	Варіант	Кількість за час зберігання, діб															
		амоніфікаторів				імобілізаторів азоту				мікроміцетів				актиноміцетів			
		вихід	1	5	14	вихід	1	5	14	вихід	1	5	14	вихід	1	5	14
<i>Зберігання за температури +25 °С</i>																	
2	Переліг з 1987 р.	24,8	42,6	36,6	30,2	42,7	104,1	119,8	108,1	41,8	50,2	44,3	36,3	6,04	10,7	12,2	11,2
4	Агрозем інтенсивний	105,1	278,5	74,6	70,5	225,7	1881	547,7	480,2	45,6	40,0	24,8	48,1	6,60	22,6	24,1	20,5
<i>Зберігання за температури +5 °С</i>																	
2	Переліг з 1987 р.	24,8	17,6	20,9	22,6	42,7	69,6	124,4	104,3	41,8	40,3	25,6	30,5	6,04	7,90	3,66	2,08
4	Агрозем інтенсивний	105,1	106,4	42,7	38,2	225,7	327,0	258,3	182,0	45,6	42,1	21,8	22,4	6,60	14,5	6,09	6,20

Таблиця 8.6. Агрохімічна характеристика сірого лісового ґрунту за тривалого різноцільового використання

№	Варіант	Уміст				Ступінь рухо- мості фосфору, мг P ₂ O ₅ /100 г ґрунту		pH	Вологість ґрунту, %	
		легкогідролізова- ного азоту, мг N/кг ґрунту	фосфору, мг P ₂ O ₅ /100 г ґрунту	калію, мг K ₂ O/100 г ґрунту	гумусу, %	перший відбір	другий відбір			
1	Переліг з: 2000 р.	67,2	13,7	12,8	1,68	0,249	5,30	17,0	10,0	
2	1987 р.	74,0	16,4	12,8	1,93	0,287	5,30	18,5	9,00	
3	Агрозем: без добрив	71,4	13,4	9,0	1,68	0,906	6,05	15,0	8,60	
4	N ₉₆ P ₁₀₈ K _{112,5}	96,6	35,0	18,3	1,91	2,90	5,70	15,0	10,0	
НП ₀₅		2,98	2,52	1,88		0,003	0,32	0,75	0,95	

процеси десорбції як у ґрунті перелогу, так і в агроземі: кількість КУО іммобілізаторів мінерального азоту зростає під час зберігання впродовж доби в 2,4 і 8,4 рази відповідно (*табл. 8.5*). Під час подальшого зберігання кількість мікроорганізмів дещо знижується – на 11–31%, за винятком екстенсивного агрозему, де кількість КУО іммобілізаторів азоту перевищує вихідне значення на 110–150 % (*табл. 8.4*).

Під час зберігання ґрунту в холодильнику закономірності зміни чисельності мікроорганізмів упродовж доби аналогічні отриманим за зберігання при температурі +25 °С, однак на 14 добу спостерігається різке збільшення чисельності – в 1,9–3,2 рази для перелогу із 2000 і 1987 рр. відповідно. При цьому у ґрунті агроценозу на 14 добу спостерігається протилежна тенденція: зменшення КУО іммобілізаторів мінерального азоту в 1,2 і 2,3 рази (*табл. 8.4*). Тривале зберігання недостатньо зволоженого ґрунту (*табл. 8.5*) при +5 °С зумовлює збільшення чисельності цих мікроорганізмів у ґрунті перелогу через добу в 1,6 рази і на п'яту добу – в 2,9 рази, в ґрунті агроценозу – на 45 і 14 % відповідно. Через 14 діб починають посилюватися процеси сорбції.

Найменшою мірою під час зберігання зразків як перезволоженого, так і недостатньо зволоженого ґрунту коливається чисельність мікроміцетів. Можливо, це зумовлено гідрофобними властивостями поверхні грибного міцелію і спор. Закономірності змін КУО актиноміцетів у ґрунтах різної вологості аналогічні таким, що встановлені для іммобілізаторів мінерального азоту (*табл. 8.4, 8.5*).

Отже, зберігання ґрунтових зразків призводить до викривлення вихідних значень чисельності мікроорганізмів різних еколого-трофічних і функціональних груп. Масштаби і спрямованість (асиметрія) викривлень вірогідно залежать від генезису і типу ґрунту, його вологості, способу зберігання зразків, а також гідрофільно-гідрофобних властивостей поверхні клітин мікроорганізмів досліджених груп.

Додатковим показником, що дає змогу оцінити фізіолого-біохімічну активність клітин у ґрунтовому зразку є вірогідність фор-

Таблиця 8.7. Динаміка зміни вірогідності формування колоній мікроорганізмів у зразках сірого лісового ґрунту, що відбирали у період тривалих дощів, за зберігання у різних умовах, λ , год⁻¹ · 10⁻²

№	Варіант	ВФК за час зберігання, діб															
		амоніфікаторів				імобілізаторів азоту				мікромісгів				актиномісгів			
		вихід	1	5	14	вихід	1	5	14	вихід	1	5	14	вихід	1	5	14
<i>Зберігання за температури +25 °С</i>																	
1	Переліг з: 2000 р.	3,37	7,26	7,74	3,27	3,35	5,05	5,59	3,77	8,22	9,98	8,66	5,20	3,21	3,54	3,40	2,88
2	1987 р.	Не визн.	Не визн.	3,41	3,74	3,68	Не визн.	7,56	2,91	8,16	Не визн.	6,52	5,00	4,23	Не визн.	4,12	3,11
3	Агрозем: екстен- сивний	4,51	4,09	4,53	5,78	3,91	5,28	5,06	2,83	3,32	5,86	6,31	4,80	2,56	2,82	2,66	1,99
4	інтен- сивний	Не визн.	Не визн.	4,56	7,19	5,73	Не визн.	2,99	3,70	4,64	Не визн.	7,33	4,68	3,56	Не визн.	4,01	3,07
<i>Зберігання за температури +5 °С</i>																	
1	Переліг з: 2000 р.	3,37	5,60	6,38	2,48	3,35	4,02	3,81	3,48	8,22	9,16	9,63	5,50	3,21	3,08	4,12	3,55
2	1987 р.	Не визн.	Не визн.	0,11	5,88	3,68	Не визн.	4,80	3,08	8,16	Не визн.	7,24	5,25	4,23	Не визн.	5,01	2,75
3	Агрозем: екстен- сивний	4,51	5,00	8,47	8,10	3,91	5,35	5,13	2,82	3,32	6,55	6,75	4,00	2,56	2,31	5,69	4,15
4	інтен- сивний	Не визн.	Не визн.	4,89	3,19	5,73	Не визн.	3,46	1,14	4,64	Не визн.	7,46	4,15	3,56	Не визн.	4,88	2,79

мування колоній. Згідно із П. Кожевіним зі співавт. [32], клітини, що мають значення ВФК менше $0,02 \text{ год}^{-1}$, перебуває у пасивному стані, клітини із ВФК, рівної $0,04 \text{ год}^{-1}$ – фізіологічно активні.

Найбільш загальна закономірність, установлена в проведених дослідженнях, це збільшення ВФК клітин після добового зберігання зразків: ВФК амоніфікаторів зростає у 2,2 і 3,2–2,2 раза для перезволоженого і недостатньо зволоженого ґрунту відповідно (табл. 8.7, 8.8). ВФК іммобілізаторів мінерального азоту зростає у перезволоженому ґрунті в 1,4–1,5 раза, в недостатньо зволоженому – в 2,7–3 рази. При цьому збільшення фізіолого-біохімічної активності відбувається і за зберігання зразків у холодильнику, однак не так істотно, як за $+25 \text{ }^\circ\text{C}$. Під час подальшого зберігання у холодильнику ВФК іммобілізаторів мінерального азоту істотно зменшується порівняно зі зберіганням при $+25 \text{ }^\circ\text{C}$. Одним із можливих пояснень зростання ВФК мікроорганізмів у процесі зберігання може бути настання стресового

Таблиця 8.8. Динаміка зміни вірогідності формування колоній мікроорганізмів у зразках сірого лісового ґрунту, що відбирали у період тривалої посухи, за зберігання у різних умовах, $\lambda, \text{ год}^{-1} \cdot 10^{-2}$

№	Варіант	ВФК за час зберігання, діб											
		амоніфікаторів				іммобілізаторів азоту				мікрومیцетів			
		ви-хід	1	5	14	ви-хід	1	5	14	ви-хід	1	5	14
<i>Зберігання за температури $+25 \text{ }^\circ\text{C}$</i>													
2	Переліг з 1987 р.	1,44	4,54	6,83	3,50	2,31	6,23	2,54	2,05	3,81	6,22	3,50	2,45
4	Агрозем інтенсивний	4,20	9,05	4,88	1,98	2,07	6,22	3,38	2,54	4,45	4,09	2,40	1,67
<i>Зберігання за температури $+5 \text{ }^\circ\text{C}$</i>													
2	Переліг з 1987 р.	1,44	5,88	5,81	3,84	2,31	3,59	0,94	0,08	3,81	6,10	3,82	2,89
4	Агрозем інтенсивний	4,20	4,15	6,99	2,45	2,07	3,91	0,49	0,12	4,45	5,36	2,84	2,00

стану внаслідок відбору ґрунту із природної еконіші. Клітини мікроорганізмів намагаються нівелювати негативний вплив абіотичних стресорів, на що витрачається додаткова енергія і зростає фізіолого-біохімічна активність. Як стресор може виступати підвищення концентрації молекулярного кисню, припинення постачання органічних і мінеральних субстратів і кофакторів ферментів від коріння рослин та ін. Зменшення ВФК за тривалого зберігання зразків може бути зумовлено двома причинами: перша – виснаженням внутрішньоклітинних запасів субстратів, друга – пристосуванням мікроорганізмів до умов навколишнього середовища та виходом зі стресового стану.

Отже, мікробіологічні дослідження мають проводитися в день відбору ґрунтових зразків, проміжок часу від відбору до посіву ґрунтової суспензії на поживні середовища необхідно мінімізувати. Або ж проводити аналіз зразків за рівності умов їхнього зберігання: однакової тривалості в однакових умовах, оскільки фактори часу, вологості зразків і температури зберігання істотно впливають на кількість мікроорганізмів, що визначається.

ВИСНОВОК

У результаті проведених досліджень встановлено, що екстенсивне використання ґрунтів призводить до дестабілізації мікробних угруповань, посилення процесів мінералізації гумусу та загальної органічної речовини, накопичення фітотоксичних речовин. Чисельність і фізіолого-біохімічна активність мікроорганізмів у ґрунті залежать від виду сільськогосподарської культури й істотно варіюють за вирощування рослин при різному рівні агротехногенного навантаження.

Вапнування сірого лісового ґрунту сприяє збільшенню чисельності мікроорганізмів основних еколого-трофічних груп, зниженню активності мінералізації гумусу, зменшенню інтенсивності витрачання органічної речовини ґрунту та процесів мінералізації сполук азоту. Заорювання біомаси сидеральної культури і побічної продукції попередника у сівозміні поліпшує екологічні умови в агроценозі, про що свідчить зростання чисельності азотобактера, зниження питомого вмісту меланінсинтезувальних мікроміцетів, зменшення фітотоксичності ґрунту. Показано, що у ризосфері бобових рослин уповільнюється процес мінералізації гумусу порівняно зі злаковими культурами.

Запропоновано систему діагностичних показників на ефективну родючість сірого лісового ґрунту, яка включає чисельність амоніфікаторів, іммобілізаторів мінерального азоту, олігонітро-

філів, денітрифікаторів, целюлозоруйнівних, автохтонних, кислотоутворювальних і полісахаридсинтезувальних мікроорганізмів, педотрофів, мікроміцетів, актиноміцетів, мобілізаторів мінеральних фосфатів, меланінсинтезувальних мікроміцетів та їх питомий вміст у загальній кількості мікроміцетів; фізіолого-біохімічну активність клітин мікроорганізмів безпосередньо у ґрунті; загальну чисельність мікроорганізмів, сумарну біологічну активність ґрунту; індекс педотрофності та показники фітотоксичності. Вперше встановлено, що ефективна родючість сірого лісового ґрунту істотно корелює зі стабільністю мікробних угруповань, яка описується кількістю значущих кореляційних зв'язків між окремими групами мікроорганізмів.

Узагальнено результати досліджень методичного характеру: оптимізування часу відбору зразків ґрунту для проведення досліджень, строку та умов зберігання зразків, що дасть змогу в подальшому уникнути розбіжностей при проведенні досліджень ученими у різних лабораторіях.

Дослідження спрямованості та інтенсивності мікробіологічних процесів у ґрунтах агроценозів є важливою ланкою моніторингу екологічного стану сільськогосподарських земель. Вони дають можливість оцінити ефективність елементів технологій вирощування сільськогосподарських культур, виявити негативні наслідки антропогенного впливу на ранніх етапах і своєчасно вжити заходів щодо впровадження елементів ґрунтозахисних систем землеробства з метою підвищення екологічної безпеки використання земельних ресурсів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. *Азарова Т.С.* Корневые выделения злаковых и бобовых культур и их влияние на состав модельного микробиоценоза ризосферы: дис. ... канд. биол. наук: 03.00.07. ВНИИСХМ. Ленинград, 1986. 188 с.
2. *Андріюк К.І., Іутинська Г.О., Антипчук А.Ф. та ін.* Функціонування мікробних ценозів в умовах антропогенного навантаження. Київ: Обереги, 2001. 240 с.
3. *Аристовская Т.В.* Микробиология процессов почвообразования. Ленинград: Наука, 1980. 186 с.
4. *Аристовская Т.В.* Геохимическая деятельность микроорганизмов как фактор почвенного плодородия в условиях разных экосистем. *Успехи микробиологии.* 1985. Т. 20. С. 154–174.
5. *Аристовская Т.В.* Микробиологические аспекты плодородия почв. *Почвоведение.* 1988. № 9. С. 53–63.
6. *Беккер М.Е., Маруска М.* Ксеро- и термочувствительность некоторых эпифитных бактерий. Рига: Зинантне, 1969. 254 с.
7. *Берестецкий О.А., Возняковская Ю.М., Доросинский Л.М.* Биологические основы плодородия почв. Москва: Колос, 1984. 287 с.
8. *Благодатский С.А., Богомолова И.И., Благодатская Е.В.* Микробная биомасса и кинетика роста микроорганизмов в черноземах при различном сельскохозяйственном использовании. *Микробиология.* 2008. Т. 77. № 1. С. 113–120.
9. *Верховцева Н.В., Кубарев Е.Н., Минеев В.Г.* Агрохимические средства в поддержании структуры микробного сообщества почвы. *Доклады Рос. акад. сельскохоз. наук.* 2007. № 2. С. 26–28.

10. *Гамалей В.І., Корсун С.Г.* Особливості процесів ґрунтоутворення на вилучених з обробітку землях. *Зб. наук. праць Інституту землеробства*. Київ: Нора Прінт, 2003. Вип. 4. С. 22–25.
11. *Гельцер Ю.Г.* Показатели биологической активности в почвенных исследованиях. *Почвоведение*. 1990. № 9. С. 47–60.
12. *Головченко А.В., Полянская Л.М., Добровольская Т.Г. и др.* Особенности пространственного распределения и структуры микробных комплексов болотно-лесных экосистем. *Почвоведение*. 1993. № 10. С. 77–90.
13. *Головченко А.В., Добровольская Т.Г., Чернов И.Ю.* Структура бактериальных комплексов в заповедных ельниках. *Почвоведение*. 1995. № 9. С. 1121–1124.
14. *Гродзинский А.М.* Аллелопатия в жизни растений и их сообществ. Киев: Наукова думка, 1965. 214 с.
15. *Гузев В.С., Кураков А.В., Мирчник Т.Г.* Минеральные удобрения и микробный токсикоз почвы. *Экологическая роль микробных метаболитов*; под ред. Д.Г. Звягинцева. Москва, 1986. С. 65–82.
16. *Гузев В.С., Левин С.В.* Перспективы эколого-микробиологической экспертизы состояния почв при антропогенных воздействиях. *Почвоведение*. 1991. № 9. С. 50–61.
17. *Демкина Т.С., Золотарева Б.Н.* Микробиологические процессы в почвах при различных уровнях интенсификации земледелия. *Микробиологические процессы в почвах и урожайность сельскохозяйственных культур*. Вильнюс, 1986. С. 101–103.
18. *Добровольская Т.Г., Чернов И.Ю., Лукин С.М.* Бактериальное разнообразие целинных и пахотных почв Владимирской области. *Почвоведение*. 2001. № 9. С. 1092–1096.
19. *Жданова Н.Н., Василевская А.Н.* Меланинсодержащие грибы в экстремальных условиях. Киев: Наукова думка, 1988. 196 с.
20. *Завьялова Н.Е., Косолапова А.И., Митрофанова Е.М.* Влияние известки на показатели плодородия дерново-подзолистой почвы. *Плодородие*. 2005. № 1. С. 26–28.
21. *Завьялова Н.Е., Митрофанова Е.М.* Влияние минеральных удобрений и известкования на биологическую активность дерново-подзолистой почвы. *Агрехимия*. 2008. № 12. С. 29–34.
22. *Звягинцев Д.Г.* Биология почв и их диагностика. *Биологическая диагностика почв*. Москва, 1976. С. 175–189.
23. *Звягинцев Д.Г.* Биологическая активность почв и шкалы для

- оценки некоторых ее показателей. *Почвоведение*. 1978. № 6. С. 48–54.
24. *Звягинцев Д.Г., Гузев В.С., Левин С.В.* Изменения в комплексе почвенных микроорганизмов при антропогенных воздействиях. *Успехи почвоведения: сов. почвоведы к XIII Междунар. конгр. почвоведов* (Гамбург, 1986). Москва, 1986. С. 64–68.
 25. *Звягинцев Д.Г., Добровольская Т.Г., Полянская Л.М., Чернов И.Ю.* Вертикальный континуум бактериальных сообществ в наземных биогеоценозах. *Журнал общей биологии*. 1991. Т. 52. С. 162–171.
 26. *Звягинцев Д.Г., Добровольская Т.Г., Лысак Л.В.* Растения как центры бактериальных сообществ. *Журнал общей биологии*. 1993. Т. 54. № 2. С. 183–199.
 27. *Иутинская Г.А., Иванова Н.И.* Взаимоотношение микроорганизмов различных экологических стратегий и трансформация гумуса при разложении растительного материала в почве. *Микробиол. журн.* 1991. Т. 53. № 3. С. 3–8.
 28. *Иутинская Г.А., Пономаренко С.П., Андреев Е.И. и др.* Биорегуляция микробно-растительных систем. Киев: Ничлава, 2010. 464 с.
 29. *Камінський В.Ф., Коломієць Л.П., Шевченко І.П.* Науково-методичні аспекти використання еродованих земель в агроландшафтах зони Лісостепу. *Вісник аграрної науки*. 2018. № 1 (788). С. 13–19.
 30. *Карягина Л.А., Костюкович Л.И., Богданович И.М.* Влияние известкования на биологическую активность и баланс гумуса в дерново-подзолистой суглинистой почве. *Почвоведение*. 1991. № 10. С. 69–83.
 31. *Колсанов Г.В., Васильев Д.А., Корнеев Е.А.* Влияние соломы на осенне – весеннюю жизнедеятельность микрофлоры и продуктивность культур в условиях чернозема лесостепи Поволжья. *Вестник Ульяновской гос. сельскохозяйств. академии*. 2006. № 2. С. 21–26.
 32. *Кожевин П.А., Кожевина Л.С., Болотина И.Н.* Определение состояния бактерий в грунте. *Доклады АН СССР*. 1987. Т. 297. № 5. С. 1247–1249.
 33. *Коржов С.И., Маслов В.А., Орехова Е.С.* Изменение микробиологической активности почвы при разных способах ее обработки. *АгроXXI*. 2009. № 1–3. URL: <http://www.agroxxi.ru>

34. *Кравченко Л.В.* Роль корневых экзометаболитов в интеграции микроорганизмов с растениями: автореф. дис. ... д-ра биол. наук: 03.00.07 – микробиология. Санкт-Петербург, 2000. 44 с.
35. *Мазур Г.А., Ткаченко М.А., Кондратюк І.М., Лещенко Ю.В.* Вапнування як основа підвищення родючості сірих лісових ґрунтів. *Зб. наук. праць Інституту землеробства УААН.* Київ, 2005. Спец. вип. С. 144–151.
36. *Малиновская И.М.* Определение фосфатрастворяющей активности микроорганизмов на жидкой и агаризованных средах Муромцева. *Агроекологічний журнал.* 2002. № 3. С. 68–71.
37. *Малиновська І.М.* Агроекологічні основи мікробіологічної трансформації біогенних елементів ґрунту: дис. ... д-ра с.-г. наук. Київ, 2003. 334 с.
38. *Малиновская И.М.* Функциональная роль экзополисахаридов микроорганизмов почвы и растений. *Агроекологічний журнал.* 2007. № 4. С. 53–64.
39. *Малиновська І.М., Сорока О.П.* Стан мікробіоценозів постпірогенної та фонові ділянок сірого лісового ґрунту. *Зб. наук. праць Інституту землеробства УААН.* Київ: Нора Прінт, 2008. Вип. 3–4. С. 46–51.
40. *Малиновська І.М., Черниш О.О., Романчук О.П.* Особливості мікробних комплексів сірого лісового ґрунту перелогів та агроценозів. *Зб. наук. праць Інституту землеробства УААН.* Київ: Нора Прінт, 2007. Вип. 2. С. 29–34.
41. *Малиновська І.М.* Динаміка формування мікробіоценозу ризосфери рослин сої, бактеризованих азотофіксуючими і фосфатмобілізуючими мікроорганізмами. *Сільськогосподарська мікробіологія.* 2007. Вип. 6. С. 51–66.
42. *Малиновська І.М.* Стан мікробіоценозу ризосфери сої за комплексного оброблення насіння фосфатмобілізуючими мікроорганізмами і *Bradyrhizobium japonicum* 71Т. *Агроекологічний журнал.* 2007. № 3. С. 79–83.
43. *Малиновська І.М.* Вплив типу фітоценозу на спрямованість та інтенсивність мікробіологічних процесів у ґрунті багаторічного перелогу. *Вісник Прикарпатського нац. ун-ту. Сер. Біологія.* 2008. Вип. 11. С. 68–75.
44. *Малиновська І.М., Боговін А.В., Пташнік М.М.* Формування мікробіоценозів ґрунту за різних способів відтворення рослинних

- угруповань. *Землеробство*. Київ: ВД ЕКМО, 2009. Вип. 81. С. 105–118.
45. *Малиновська І.М., Сорока О.П.* Стан мікробіоценозу малорічного перелогу за мінерального удобрення. *Зб. наук. праць Інституту землеробства УААН*. Київ: Ексмо, 2009. Вип. 4. С. 29–34.
 46. *Малиновська І.М., Шумська Г.І.* Вплив типу рослинного угруповання на стан мікробіоценозу дворічного перелогу. *Зб. наук. праць Уманського державного аграрного університету*. Умань, 2009. Вип. 72. С. 169–175.
 47. *Малиновська І.М., Матіюк С.П.* Особливості мікробного угруповання кореневої зони фітоценозів різного типу. *Зб. наук. праць Інституту землеробства НААН*. Київ: ВД «Ексмо», 2010. Вип. 4. С. 63–70.
 48. *Малиновська І.М.* Склад мікробних угруповань кореневої зони фітоценозів різного типу. *Мікробіологія і біотехнологія*. 2011. № 4. С. 60–68.
 49. *Малиновська І.М.* Мікробіологічні процеси у ризосфері рослин різних сільськогосподарських культур. *Сільськогосподарська мікробіологія: здобутки та перспективи: матеріали Всеукр. наук. конф. (27–30 вересня 2011, м. Чернігів)*. Чернігів, 2011. С. 250–255.
 50. *Малиновська І.М., Домбровська І.В.* Стан мікробіоценозу сірого лісового ґрунту за різноцільового використання. *Вісник Київського національного університету. Сер. Біологія*. 2011. Вип. 57. С. 21–25.
 51. *Малиновська І.М., Зинов'єва Н.А.* Мікробіологічні процеси в ризосфері рослин у забрудненому нафтопродуктами ґрунті. *Мікробіологія і біотехнологія*. 2011. № 2. С. 83–91.
 52. *Малиновська І.М., Літвінов Д.В.* Мікробіологічні процеси у кореневій зоні гороху і пшениці озимої за вирощування їх у монокультурі і чотирьохпільній сівозміні. *Сільськогосподарська мікробіологія*. 2011. Вип.14. С. 77–90.
 53. *Малиновська І.М., Сорока О.П.* Перебіг мікробіологічних процесів у перелогах та агроземах. *Ґрунтознавство*. 2011. Т. 12. № 3–4 (19). С. 84–91.
 54. *Малиновська І.М., Сорока О.П.* Вплив агротехнічних заходів на перебіг мікробіологічних процесів у ґрунті малорічного перелогу. *Сільськогосподарська мікробіологія: здобутки та перспекти-*

- ви: матеріали Всеукр. наук. конф. (27–30 вересня 2011, м. Чернігів). Чернігів, 2011. С. 256–260.
55. Малиновська І.М. Мікробіологічні процеси у перелогах різної тривалості. *Сільськогосподарська мікробіологія*. 2012. Вип. 15–16. С. 71–82.
 56. Малиновська І.М. Спрямованість мікробіологічних процесів у темно-сірому опідзоленому ґрунті за різних технологій вирощування сої. *Проблеми екологічної біотехнології*. 2012. № 1. URL: <http://ecobio.nau.edu.ua/index.php/ecobiotech/article/view/767/744>
 57. Малиновська І.М., Домбровська І.В. Особливості мікробних угруповань ризосфери фітоценозів різного типу. *Вісник Київського національного університету. Сер. Біологія*. 2013. Вип. 63. С. 49–52.
 58. Малиновська І.М., Літвінов Д.В. Вплив вирощування у монокультурі на мікробіологічні процеси у кореневій зоні кукурудзи та сої. *Ґрунтознавство*. 2013. Т. 14. № 1–2. С. 49–60.
 59. Малиновская И.М., Сорока А.П. Влияние возраста залежи на протекание микробиологических процессов в серой лесной почве. *Научно обоснованные системы земледелия: теория и практика: материалы междунар. науч.-практ. конф. (25–26 сентября 2013, г. Ставрополь)*. Ставрополь: Параграф, 2013. С. 136–139.
 60. Малиновська І.М., Гаврилов С.О. Вплив обробітку сірого лісового ґрунту на мікробіологічні процеси у кореневій зоні ячменю ярого. *Ґрунтознавство*. 2014. Т. 15. № 1–2 (24). С. 54–62.
 61. Малиновська І.М., Пташник М.М. Вплив удобрення і скошувань травостою багаторічного перелогу на угруповання мікроорганізмів в ґрунті. *Землеробство*. 2014. Вип. 1–2. С. 58–62.
 62. Малиновская И.М., Ткаченко Н.А., Сорока А.П., Домбровская И.В. Влияние экзогенного органического вещества на микробное сообщество серой лесной почвы. *Новые технологии в сельском хозяйстве пищевой промышленности с использованием электрофизических факторов и озона: материалы междунар. науч.-практ. конф. (16–17 мая 2014, г. Ставрополь)*. Ставрополь: Параграф, 2014. С. 76–83.
 63. Малиновская И.М. Формирование микробных сообществ серой лесной почвы в условиях повышенного загрязнения тяжелыми металлами. *Землеробство*. 2015. Вип. 2 (89). С. 92–97.
 64. Малиновська І.М., Ткаченко М.А., Черниш О.О., Сорока О.П. Спрямованість мінералізаційних процесів у сірому лісовому

- ґрунті за вапнування та мінерального удобрення. *Зб. наук. праць Інституту землеробства НААН*. 2016. № 3–4. С. 23–34.
65. *Малиновська І.М.* Вплив виду сільськогосподарської культури на чисельність та фізіолого-біохімічну активність мікроорганізмів ризосфери. *Сільськогосподарська мікробіологія*. 2016. Вип. 24. С. 22–28.
66. *Малиновська І.М.* Спосіб оцінювання екологічного стану ґрунтів: деклараційний патент України на корисну модель № 105876. 11.04. 2016. Бюл. № 7.
67. *Малиновська І.М.* Стабільність мікробних угруповань агроземів та перелогів різної тривалості. *Зб. наук. праць Інституту землеробства НААН*. 2017. № 2. С. 21–33.
68. *Малиновська І.М.* Просторова структура бактеріальних ценозів сірого лісового ґрунту за різних умов використання. *Сільськогосподарська мікробіологія*. 2017. Вип. 25. С. 36–42.
69. *Малиновська І.М., Ткаченко М.А.* Система діагностичних показників ефективної родючості сірого лісового ґрунту. *Землеробство*. 2017. Вип.1 (92). С. 36–43.
70. *Малиновська І.М.* Вплив агротехнічних заходів на чисельність та фізіолого-біохімічну активність мікроорганізмів сірого лісового ґрунту. *Сільськогосподарська мікробіологія*. 2018. Вип. 27. С. 45–51.
71. *Малиновська І.М., Ткаченко М.А.* Напруженість мікробіологічних процесів у сірому лісовому ґрунті за вапнування і заорювання побічної продукції рослинництва. *Ecology and Noospherology*. 2019. 30(1). С.1 9–23.
72. *Малиновская И.М.* Закономерности выживания микроорганизмов различных эколого-трофических и систематических групп при длительном хранении образцов серой лесной почвы. *Инновационные разработки АПК: резервы снижения затрат и повышения качества продукции, посвященной 10-летию со дня образования Витебского зонального института сельского хозяйства НАН Беларуси: материалы Междунар. науч.-практ. конф. (12–13 июля 2018, г. Витебск)*. РУП «Витебский зональный институт сельского хозяйства НАН Беларуси (г. Тулово). Витебск, 2018. С. 127–135.
73. *Мальцева И.Н.* Дегидрогеназная активность олигонитрофильных бактерий. *Микробиология*. 1974. Т. 43. № 6. С. 973–978.

74. *Макурина О.Н., Милюткина Г.В.* Влияние минимизации обработки почв на их эколого-биохимические характеристики. *Вестник СамГУ. Сер. Естественно-научная.* 2006. Т. 47. № 7. С. 128–133.
75. *Маринеску К.М.* Микробиологические аспекты биологизации земледелия на эродированных почвах Молдовы. *Наук. вісн. нац. аграр. ун-ту.* Киев, 2005. Вып. 1. С. 384–389.
76. *Медведев В.В., Пліско І.В.* Цінні, деградовані і малопродуктивні ґрунти України: заходи з охорони і підвищення родючості. Харків: ТОВ «Смугаста типографія», 2015. 144 с.
77. *Методы почвенной микробиологии и биохимии;* под ред. Д.Г. Звягинцева. Москва: Изд-во МГУ, 1991. 304 с.
78. *Минеев В.Г., Ремпе Е.Х.* Агрохимия, биология и экология почвы. Москва: Росагропромиздат, 1990. 206 с.
79. *Минеев В.Г., Гомонова Н.С., Зенова Г.М., Скворцова Н.Н.* Влияние длительного применения средств химизации на агрохимические и микробиологические свойства дерново-подзолистой почвы. *Агрохимия.* 1999. № 5. С. 5–12.
80. *Мирчник Т.Г.* Почвенная микология. Москва: Изд-во МГУ, 1988. 206 с.
81. *Михновская А.Д., Миронова Л.М.* Микробиологические процессы и их влияние на подвижность и закрепление органического вещества в дерново-подзолистых почвах. *Повышение плодородия почв нечерноземной зоны Украинской ССР.* Киев, 1983. С. 34.
82. *Мишустин Е.Н.* Микроорганизмы и плодородие почвы. Москва: Изд-во АН СССР, 1956. 247 с.
83. *Мишустин Е.Н., Рунов Е.В.* Успехи разработки принципов микробиологического диагностирования состояния почв. *Успехи современной биологии.* 1957. Т. XLIV. Вып. 2 (5). С. 256–268.
84. *Паринкина О.М., Ключева Н.В., Петрова Л.Г.* Биологическая активность и эффективное плодородие почв. *Почвоведение.* 1993. № 9. С. 76–81.
85. *Паринкина О.М., Ключева Н.В.* Микробиологические аспекты уменьшения естественного плодородия почв при их сельскохозяйственном использовании. *Почвоведение.* 1995. № 5. С. 573–581.
86. *Полянская Л.М., Гейдебрехт В.В., Степанов А.Л., Звягинцев Д.Г.* Распределение численности и биомассы микроорганизмов по профилям зональных типов почв. *Почвоведение.* 1995. № 3. С. 322–328.

87. *Самцевич С.А.* Корневые выделения растений и их значение. *Микробиологические процессы в почвах и урожайность сельскохозяйственных культур*. Вильнюс, 1986. С. 301–303.
88. *Селивановская С.Ю., Киянова С.М., Латыпова В.З., Алимова Ф.К.* Влияние осадков сточных вод, содержащих металлы, на микробные сообщества серой лесной почвы. *Почвоведение*. 2002. № 5. С. 588–594.
89. *Скuryaтiн Ю.М.* Оптимізація фізичного стану ґрунту перелогів. *Вісник аграрної науки*. 2003. № 8. С. 14–16.
90. *Снітинський В.В., Габриєль А.Й., Германович О.М., Оліфір Ю.М.* Біологічна активність ясно-сірого лісового поверхнево оглеєного ґрунту залежно від антропогенного впливу. *Сільськогосподарська мікробіологія*. 2014. Вип. 19. С. 47–52.
91. *Теппер Е.З.* Микроорганизмы рода *Nocardia* и разложение гумуса. Москва: Наука, 1976. 196 с.
92. *Теппер Е.З., Шильникова В.К., Переверзева Г.И.* Практикум по микробиологии. Москва: Дрофа, 2004. 256 с.
93. *Терентьев П.В.* Метод корреляционных плеяд. *Вестник Ленинградского ун-та*. 1959. № 9. С. 137–143.
94. *Ткаченко Н.А., Малиновская И.М.* Влияние агротехнических приемов на микробные сообщества корневой зоны озимой пшеницы. *Агроэкологический журнал Белоруссия*. 2013. Вып. 6. С. 134–137.
95. *Хазиев Ф.Х., Гулько А.Е.* Ферментная активность почв агроценозов и перспективы ее изучения. *Почвоведение*. 1991. № 8. С. 88–103.
96. *Чуб М.В.* Повышение дозы удобрений и микрофлора. *Тр. Харьковского с.-х. ин-та*. 1972. Т. 170. С. 130–150.
97. *Шерстобоева О.В., Чабанюк Я.В., Федак Л.И.* Биоиндикация экологического состояния почв. *Сільськогосподарська мікробіологія*. 2008. Вип. 7. С. 48–55.
98. *Штина Э.А.* Методы изучения почвенных водоростей. *Микроорганизмы как компоненты биогеоценоза*. Москва: Наука, 1984. С. 58–74.
99. *Шурхно Р.А., Королева Н.В., Наумова Р.П.* Биологические свойства корнеобитаемой зоны многолетних бобовых трав. *Доклады Рос. академии с.-х. наук*. 2006. № 3. С. 31–36.
100. *Dudman W.* (1977). The role of surface polysaccharides in natural environments. *Surface carbohydrates of the procariotic cell*. Ed. I. Sutherland. New York: Acad. Press. P. 357–414.

101. *Dugan R.* (1987). The function of microbial polysaccharides in bio-flocculation and biosorption of mineral ions. *Floccul. Biotechnol. and Syst. Proc. Int. Symp.* San-Francisco. Culif, 1986. Austerdam. P. 337–350.
102. *Gulyas F.* (1988). Analysis of soil Toxicity using *Azotobacter* by soil disk method. Proc. World: Abst. Conf. (Amsterdam, Oct. 25–31, 1987). Amsterdam. P. 753–755.
103. *Kolosvary I.* (1998). Data concerning the possibility of using the abundance of the *Azotobacter* cells as bioindicator of soil pollution. *Stud. Univ. Babes-Bolyai. Biol.* 1–2: 137–141.
104. *Land quality indicators and their use in sustainable agriculture and rural development.* FAO, UNDP, UNEP and World Bank. 1997. P. 79–95.
105. *Malinowska I.M.* (2015). The spatial structure of bacterial cenosis of grey forest soil under different conditions of use. *Microbiological Aspects of optimizing the production Process of cultured Crops.* Proceedings of the International Scientific and Practical Internet Conference. Chernihiv, June 16–18. P. 15–16.
106. *Malynovska I.M.* (2017). Influence of heavy metal pollution on the number, physiological and biochemical activiti of *Azotobacter* and melanin-synthesizing micromicetes. *Biotechnologia Acta.* 10.3: 65–71.
107. *Malinowska I.M.* (2019). Irection and strength of microbiological processes in lavers of grey forest soil under different regimes of management. *Biotechnologia Acta.* 12. 6: 65–70.
108. *Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry.* Elsevier – Academy Press, 2010. 425 p.
109. *Polyanskaya L.M., Zvyagintsev D.G.* (1994). Microbial succession in soil. *Soviet scientist reviews.* Horwood Academic Publ. GmbH. 1: 1–65.
110. *Sutherland I.M.* (1972). Bacterial exopolysaccharides. *Adv. Microbiol. Phisiol.* 8: 143–213.
111. *Steer J., Harris J.A.* (2000). Shifts in the microbial community in rhizosphere and non-rhizosphere soils during the growth of *Agrostis stolonifera*. *Soil Biology&Biochemistry.* 32: 869–878.

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

МАЛИНОВСЬКА Ірина Михайлівна
ТКАЧЕНКО Микола Адамович

**МІКРО-
БІОЛОГІЧНІ
ПРОЦЕСИ**
у сірому лісовому
ГРУНТІ

Монографія

Редактор *І. М. Баланчук*

Коректор *Л. М. Байбородіна*

Художнє оформлення і комп'ютерна верстка
І. Г. Хорошого

Підписано до друку 30.03.2023. Формат 60×84 ¹/₁₆.
Папір офс. Гарнітура «Таймс». Друк офс.
Ум. друк. арк. 7,98. Обл.-вид. арк. 9,8.
Наклад 100 пр. Зам. № .

Видавець та виготовлювач ТОВ «ТВОРИ».
Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
до Державного реєстру видавців,
виготовлювачів і розповсюджувачів
видавничої продукції серія ДК № 6188 від 18.05.2018 р.
21027, м. Вінниця, вул. Келецька, 51а, прим. 143.
Тел.: (096) 973-09-34, (093) 891-38-52.
e-mail: info@tvoru.com.ua
<http://www.tvoru.com.ua>