ФОРМУВАННЯ ЗВ'ЯЗКІВ МІЖ МІКРООРГАНІЗМАМИ ОКРЕМИХ ГРУП СІРОГО ЛІСОВОГО ҐРУНТУ ПІД ВПЛИВОМ МІНЕРАЛЬНОГО УДОБРЕННЯ І ВАПНУВАННЯ

І.М. Малиновська, М.А. Ткаченко

ННЦ «Інститут землеробства НААН» (смт Чабани, Україна)

Метою досліджень було вивчення формування зв'язків між окремими групами мікроорганізмів у складі угруповань сірого лісового ґрунту за вирощування пшениці ярої із застосуванням різних систем удобрення та вапнування. Методи дослідження: мікробіологічний, лабораторно-аналітичний, статистичний. Дослідження проводили у системі полігонного моніторингу на базі стаціонарного досліді відділу агроґрунтознавства і ґрунтової мікробіології ННЦ «Інститут землеробства НААН» «Розробка й удосконалення інтенсивних технологій вирощування сільськогосподарських культур на основі розширеного відтворення родючості ґрунту». Основні результати дослідження: Чисельність амоніфікаторів позитивно корелює із загальною чисельністю мікроорганізмів (0,955), чисельністю іммобілізаторів мінерального азоту, денітрифікаторів, нітрифікаторів, целюлозоруйнівних бактерій, актино- і мікроміцетів, коефіцієнтом мінералізації сполук азоту, сумарною біологічною активністю (0,911). Підтверджено висновок попередніх досліджень: азотобактер не є діагностичним мікроорганізмом на ефективну родючість ґрунту, про що свідчить несуттєвість коефіцієнтів кореляції між чисельністю азотобактера і врожайністю пшениці ярої (0,265), пшениці озимої (0,131), сої (0,303). Із більшістю досліджених показників чисельність азотобактера корелює обернено, особливо значимо – із чисельністю полісахаридсинтезувальних мікроорганізмів, актиноміцетів, меланінсинтезувальних мікроміцетів (–0,719), кислотоутворювальних мікроорганізмів (–0,611), фізіолого-біохімічною активністю власних клітин, індексом педотрофності. Прямий характер залежності встановлений між чисельністю полісахаридсинтезувальних мікроорганізмів як діагностичної групи на оптимальність мінерального живлення рослин і чисельністю іммобілізаторів мінерального азоту (0,854), педотрофів (0,970), целюлозоруйнівних (0,724) і автохтонних (0,878) мікроорганізмів, актиноміцетів, мікроміцетів, загальною чисельністю мікроорганізмів (0,588), вірогідністю формування колоній денітрифікаторів, автохтонних, мікроорганізмів і мікроміцетів, коефіцієнтом мінералізації азоту, сумарною біологічною активністю (0,646). Автохтонні мікроорганізми демонструють високий рівень прямої залежності із чисельністю іммобілізаторів мінерального азоту, педотрофів, целюлозоруйнівних і полісахаридсинтезувальних мікроорганізмів, загальною чисельністю мікроорганізмів, фізіолого-біохімічною активністю денітрифікаторів і власних клітин (0,935).

Ключові слова: мікроорганізми, кореляційні зв'язки, амоніфікатори, автохтонні, полісахаридсинтезувальні мікроорганізми, сірий лісовий ґрунт.

Вступ. У сучасних системах сільськогосподарського виробництва значний вплив на функціонування цілісної системи «ґрунт – мікроорганізми – рослина» мають агротехнічні заходи [1; 2]. Вони впливають на трофічні зв'язки у середині системи та різноманітні потоки речовин і енергії, в т.ч. складні процеси

трансформації вуглецевих і мінеральних сполук, функціональну активність мікробних угруповань, неврахування чого призводить до втрати цілісності системи та змін закономірностей її функціонування [3–6].

Об'єкт та методи досліджень. Дослідження проводили у системі полігонного моніторингу, який було

створено на базі стаціонарного дослідів відділу агрогрунтознавства ННЦ «Інститут землеробства НААН» «Розробка й удосконалення інтенсивних технологій вирощування сільськогосподарських культур на основі розширеного відтворення родючості ґрунту». В адміністративному відношенні територія дослідів розміщена у Києво-Святошинському р-ні Київської обл., на правобережжі р. Дніпра. Ґрунт дослідної ділянки – сірий лісовий крупнопилувато-легкосуглинковий. До закладання дослідів ґрунт характеризувався такими агрохімічними показниками: вміст гумусу – 1,44%; $pH_{\text{сол.}}$ – 4,6; гідролітична кислотність – 3,6 мг-екв/100 г ґрунту; обмінні основи: кальцій – 3,9; магній – 0,58 мг-екв/100 г ґрунту; ступінь насичення основами – 56%, вміст лужногідролізованого азоту – 7–9 мг; рухомих фосфатів – 13–25 мг, обмінного калію – 8–17 мг/100 г ґрунту. Вапно (вапнякове та доломітове борошно) вносили у 1992–1994 та повторно у 2005–2007 рр. 1,0 і 1,5 дози за гідролітичною кислотністю, 1/7 дози щорічно під кожен культуру сівозміни та на нейтралізацію кислотності фізіологічно кислих мінеральних добрив (повна доза 1,0 Нг становила 4,5–6,0 т/га CaCO_3).

Чергування культур зерно-просапної сівозміни виглядає так: соя, пшениця яра, кукурудза на силос, ячмінь із підсівом конюшини лучної, конюшина (2 укіс на сидеральне заробляння), пшениця озима, просо.

Об'єктом досліджень були варіанти стаціонарного дослідів: 1 – контроль (без добрив); 2 – вапнування за показником гідролітичної кислотності повною дозою 1,0 Нг; 3 – $N_{60}P_{30}K_{60}$; 4 – $N_{60}P_{30}K_{60} + \text{CaCO}_3$ (1,0 Нг); варіанти удобрення по фоні заорювання побічної продукції рослинництва і біомаси сидеральної культури (горох): 6 – $N_{60}P_{30}K_{60}$; 7 – $N_{60}P_{30}K_{60} + \text{CaCO}_3$ (1,0 Нг), 12 – $N_{90}P_{45}K_{90} + \text{CaCO}_3$ (1,0 Нг), 13 – $N_{120}P_{60}K_{120} + \text{CaCO}_3$ (1,0 Нг). У 2014 р. у досліджуваних варіантах вирощували пшеницю яру сорту Артеміда, попередник – соя. Площа посівної ділянки 60 м² (10 × 6), облікової – 24 м² (6 × 4), повторність варіантів дослідів чотириразова.

Чисельність і вірогідність формування колоній (ВФК) мікроорганізмів основних еколого-трофічних груп визначали методами, які описані раніше [7]. Для узагальнюючої оцінки біологічного стану ґрунту розраховували показник сумарної біологічної активності (СБА) із використанням методу відносних величин [8,9]. Статистичну обробку результатів проводили з використанням сучасних програм *Microsoft Excel*.

Результати та їх обговорення. Дані про чисельність мікроорганізмів та коефіцієнти, що описують спрямованість та напруженість мінералізаційних процесів у сірому лісовому ґрунті, представлені у табл. 1 і 2. На основі даних про динаміку розвитку мікроорганізмів в досліджених ґрунтах нами розраховані коефіцієнти кореляції між показниками чисельності мікроорганізмів різних еколого-трофічних і функціональних груп протягом вегетаційного періоду, побудовані кореляційні матриці за методом П. Терентьєва [10]. Проведений аналіз свідчить, що за загальною кількістю значимих кореляційних зв'язків ($r = 0,333 - 0,999$) перші місця належать мікробіоценозам варіантів із заорюванням біомаси сидеральної культури і внесенням побічної продукції, особливо за полуторної і подвійної доз добрив – 69 і 73 відповідно (кількість прямих зв'язків – 33 і 50 відповідно) (табл. 3). Варіант контролю і внесення мінеральних добрив окремо (вар. №1 і 2) характеризуються невисоким рівнем стабільності мікробних угруповань, що знаходить відображення у кількості (21–23) високосзначимих кореляційних зв'язків. Мікробне угруповання варіанта із вапнуванням у 2014 р. відрізняється більшою стабільністю, ніж у попередні роки, про що свідчить кількість високосзначимих кореляційних зв'язків (50). Звертає на себе увагу факт низької кількості обернених високосзначимих зв'язків у мікробному угрупованні контрольного варіанта, що співпадає із тенденціями попередніх років досліджень.

Для встановлення взаємозв'язку параметрів ефективної родючості із спрямованістю та напруженістю агрономічно значимих мікробіологічних процесів, стабільністю мікробних угруповань сірого лісового ґрунту проводили кореляційний аналіз між врожайністю пшениці ярої і показниками чисельності мікроорганізмів окремих еколого-трофічних, функціональних та систематичних груп, їх фізіолого-біохімічною активністю безпосередньо у ґрунті, показниками інтенсивності мінералізаційних процесів, фітотоксичністю, агрохімічними показниками сірого лісового ґрунту. Встановлено, що ефективна родючість сірого лісового ґрунту істотно ($r = 0,666 - 0,999$) позитивно корелює із чисельністю амоніфікаторів ($r = 0,872$), іммобілізаторів мінерального азоту ($r = 0,840$), олігонітрофілів ($r = 0,816$), загальною чисельністю мікроорганізмів ($r = 0,932$), фізіолого-біохімічною активністю денітрифікаторів ($r = 0,809$), мобілізаторів мінеральних фосфатів ($r = 0,667$), коефіцієнтом мінералізації сполук азоту

($r = 0,843$), сумарною біологічною активністю ($r = 0,833$); сольовим рН ($r = 0,684$); вмістом у ґрунті калію ($r = 0,832$), фосфору ($r = 0,909$), гумусу ($r = 0,752$) та ступенем рухомості фосфору ($r = 0,819$). Врожайність пшениці ярої обернено істотно корелює із чисельністю меланінсинтезувальних мікроміцетів ($r = -0,715$) та їх питомим вмістом у загальній кількості мікроміцетів ($r = -0,812$), фізіолого-біохімічною активністю олігонітрофілів ($r = -0,744$), мікроміцетів ($r = -0,854$), показниками фітотоксичності ($r = -0,908$ (надземна частина), $r = -0,764$ (коріння), $r = -0,927$ (загальна біомаса рослин)), гідролітичною кислотністю ($r = -0,702$) та вмістом рухомого алюмінію ($r = -0,710$). Прямий кореляційний зв'язок середнього рівня значущості ($r = 0,333-0,665$) спостерігається між ефективною родючістю сірого лісового ґрунту і чисельністю денітрифікаторів ($r = 0,491$), педотрофів ($r = 0,531$), полісахаридсинтезувальних мікроорганізмів ($r = 0,599$), актиноміцетів ($r = 0,432$), целюлозоруйнівних ($r = 0,757$) і автохтонних мікроорганізмів ($r = 0,621$), вірогідністю формування колоній (ВФК) мобілізаторів мінеральних фосфатів і автохтонних мікроорганізмів, коефіцієнтом оліготрофності і активністю мінералізації гумусу, вмістом загального і нітратного азоту. Обернений зв'язок середнього рівня значущості спостерігається між врожайністю і ВФК полісахаридсинтезувальних мікроорганізмів ($r = -0,406$) та індексом педотрофності ($r = -0,575$).

Проведений аналіз взаємозв'язків між родючістю сірого лісового ґрунту та стабільністю мікробних ценозів у окремих варіантах дослідження показав, що стабільність мікробних угруповань достатньо повно описується кількістю високозначимих кореляційних зв'язків між окремими групами мікроорганізмів, які є складовими угруповань (табл. 3). Ефективна родючість має значимий кореляційний зв'язок із кількістю середньозначимих прямих зв'язків між складовими мікробних угруповань ($r = 0,637$), загальною кількістю середньозначимих зв'язків ($r = 0,580$), кількістю високозначимих кореляційних зв'язків ($r = -0,458$), загальною кількістю значимих зв'язків у варіанті (як середньо- так і високозначимих) ($r = 0,655$). Отже, показано, що ефективна родючість сірого лісового ґрунту корелює із стабільністю мікробних угруповань, яка описується кількістю значимих кореляційних зв'язків між їх складовими.

Чисельність амоніфікаторів позитивно корелює із загальною чисельністю мікроорганізмів ($r = 0,955$), чисельністю іммобілізаторів мінерального азоту, які

є їхніми послідовниками у циклі азоту, денітрифікаторами, нітрифікаторами, целюлозоруйнівними бактеріями, актино- і мікроміцетами, коефіцієнтом мінералізації сполук азоту, сумарною біологічною активністю ($r = 0,911$), сольовим рН, вмістом і ступенем рухомості фосфору в ґрунті, вмістом загального гумусу. Як і на прикладі сої, пшениці озимої, встановлений обернений характер кореляційного зв'язку чисельності амоніфікаторів із чисельністю меланінсинтезувальних мікроміцетів, інтенсивністю мінералізаційних процесів, що описуються коефіцієнтами педотрофності, оліготрофності, активністю мінералізації гумусу [11; 12], величиною гідролітичної і загальної кислотності, вмістом рухомого алюмінію, кількістю прямих високозначимих зв'язків між групами мікроорганізмів у складі мікробного угруповання.

Дані 2014 р. підтверджують висновок попередніх досліджень: азотобактер не є діагностичним мікроорганізмом на ефективну родючість ґрунту. Зокрема, коефіцієнт кореляції між чисельністю азотобактера і врожайністю пшениці ярої є несуттєвим за значимістю ($r = 0,265$). Можна навести дані про коефіцієнт кореляції чисельності азотобактера із врожайністю пшениці озимої: він дорівнює 0,131, сої – 0,303. Чисельність азотобактера позитивно корелює із чисельністю денітрифікаторів, ВФК педотрофів, мобілізаторів мінеральних фосфатів, активністю мінералізації гумусу, $\text{pH}_{\text{КС}}$, кількістю обернених високозначимих зв'язків між групами мікроорганізмів у складі мікробного угруповання. Із більшістю досліджених показників чисельність азотобактера корелює обернено, особливо істотно – із чисельністю полісахаридсинтезувальних мікроорганізмів, актиноміцетів, меланінсинтезувальних мікроміцетів ($r = -0,719$), кислотоутворювальних мікроорганізмів ($r = -0,611$), фізіолого-біохімічною активністю власних клітин, індексом педотрофності, гідролітичною і загальною кислотністю ґрунтового розчину, вмістом Al^{3+} , вмістом загального і амонійного азоту, кількістю прямих і загальною кількістю середньозначимих зв'язків між групами мікроорганізмів у складі мікробного угруповання.

При дослідженні закономірностей формування мікробних угруповань ризосфери сої й пшениці озимої було встановлено, що чисельність меланінсинтезувальних мікроміцетів не корелює із чисельністю і фізіолого-біохімічною активністю мікроорганізмів майже жодної групи мікроорганізмів (за

Таблиця 1. Вплив агротехнічних заходів на чисельність мікроорганізмів у сірому лісовому ґрунті за вирощування пшениці ярої, млн. КУО/ г абсолютно сухого ґрунту, дані 2014 р.

Варіант	Амоніфікатори	Імобілізатори мінерального азоту	Олігонітрофіли	Азотобактер, % обростання ґрунчюк ґрунту	Денітрифікатори	Нітрифікатори	Педотрофи	Целлюлозоруйнівні бактерії	Полісахаридсинтезувальні	Автохтонні	Актиноміцети	Мікроміцети	Метанінсинтезувальні мікроміцети	Мобілізатори мінеральних фосфатів	Кислототворювальні	К _r	Загальна чисельність мікроорганізмів	
	Без добрив (контроль)	164,8	54,7	29,1	0,07	47,4	0,088	86,6	18,9	4,26	14,3	17,2	0,344	0,103	9,94	23,1	0,725	645,9
		346,5	67,8	47,2	74,0	154,8	0,111	84,1	33,9	4,48	8,33	22,5	0,339	0,070	4,40	2,58	1,06	871,8
		326,6	93,7	82,0	0,67	117,2	0,138	81,7	62,5	4,21	9,08	30,2	0,347	0,092	5,96	6,66	1,05	830,1
		612,3	91,0	55,8	92,0	152,2	0,178	79,0	53,3	3,26	12,5	26,1	0,395	0,065	17,4	7,25	0,291	1209,2
Сидерат + побічна продукція	649,0	183,4	119,2	0,07	117,0	0,163	106,8	76,6	11,4	15,5	44,7	0,567	0,097	34,0	17,0	0,757	1387,1	
	684,5	195,3	173,3	88,0	149,4	0,171	82,5	87,5	4,98	19,0	24,5	0,377	0,060	8,91	11,0	2,15	1538,0	
	609,9	146,4	152,6	90,0	144,1	0,084	85,5	46,2	6,67	18,5	25,2	0,424	0,063	9,52	7,71	1,17	1354,9	
	608,2	287,4	124,5	0,06	117,4	0,117	189,9	108,1	20,3	39,7	35,2	0,398	0,061	7,82	13,5	0,981	1558,6	
НІР ₀₅	15,3	9,85	5,56	7,35	5,12	0,002	5,13	8,14	2,01	1,95	0,95	0,01	0,005	2,87	0,001			

Таблиця 2. Показники інтенсивності мінералізаційних процесів, фітотоксичні властивості сірого лісового ґрунту та врожайність пшениці ярої за різних агротехнічних заходів, дані 2014 р.

№	Варіант	Індекс педотрофності	Коефіцієнт оліготрофності	Коефіцієнт мінералізації азоту	Активність мінералізації гумусу, %	Сумарна біологічна активність	Врожайність пшениці ярої, т/га	Маса 100 рослин тест-культури – озимої пшениці, г		
								стебло	коріння	загальна маса
1	Без добрив (контроль)	0,525	0,177	0,332	16,5	100,0	1,81	4,74	4,93	9,67
2	CaCO ₃ (1,0 Нг)	0,243	0,136	0,196	9,90	123,0	2,12	5,89	5,49	11,4
3	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	0,250	0,251	0,287	10,5	119,3	2,35	5,23	8,36	12,3
4	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀ + CaCO ₃ (1,0 Нг)	0,129	0,091	0,149	15,8	142,5	2,83	5,78	6,01	11,8
5	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	0,164	0,184	0,283	14,5	184,5	2,76	6,51	6,60	13,1
6	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀ + CaCO ₃ (1,0 Нг)	0,121	0,253	0,285	23,0	183,7	3,11	7,27	7,41	14,7
7	N ₉₀ P ₄₅ K ₉₀ + CaCO ₃ (1,0Нг)	0,140	0,250	0,240	21,7	153,1	3,35	7,94	8,22	16,2
8	N ₁₂₀ P ₆₀ K ₁₂₀ + CaCO ₃ (1,0 Нг)	0,312	0,205	0,473	20,9	185,2	3,54	9,48	9,24	18,7
	НІР ₀₅						0,07	0,18	0,17	

виключенням оберненої залежності із чисельністю полісахаридсинтезувальних мікроорганізмів) [11; 12]. При дослідженні мікробіоценозів ризосфери пшениці ярої, навпаки, встановлено, що чисельність меланінсинтезувальних мікроміцетів істотно корелює із багатьма показниками. Так, прямий характер залежності встановлений із чисельністю мобілізаторів мінеральних фосфатів, кислотоутворювальних мікроорганізмів, ВФК амоніфікаторів, олігонітрофілів, полісахаридсинтезувальних мікроорганізмів, індексом педотрофності, фітотоксичністю ґрунту, гідролітичною ($r = 0,971$) і загальною ($r = 0,861$) кислотністю ґрунтового розчину, вмістом Al^{3+} ($r = 0,813$), вмістом амонійного азоту. Дані про високий рівень кореляції із фізико-хімічними характеристиками ґрунту співпадає із даними, отриманими при дослідженні ризосфери сої. Обернений характер кореляції спостерігається між чисельністю меланінсинтезувальних мікроміцетів та іншими показниками: чисельністю мікроорганізмів всіх груп циклу азоту, целюлозоруйнівними, автохтонними мікроорганізмами, загальною чисельністю мікроорганізмів ($r = -0,639$), ВФК денітрифікаторів, автохтонних мікроорганізмів, мобілізаторів мінеральних фосфатів, коефіцієнтом мінералізації азоту, активністю мінералізації гумусу, сольовим рН, вмістом нітратного азоту, калію та ступенем рухомості фосфору.

Таблиця 3. 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						
		Середньозначимі зв'язки (r = 0,333–0,665)			Високозначимі зв'язки (r = 0,666–0,999)			Всього за варіантом
		прямий	обернений	всього	прямий	обернений	всього	
Без добрив (контроль)		17	15	32	19	4	23	55
CaCO ₃ (1,0 Hг)		14	10	24	22	18	50	64
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀		24	21	45	19	2	21	66
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀ + CaCO ₃ (1,0 Hг)		21	15	36	16	9	25	61
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀		22	15	37	15	12	27	64
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀ + CaCO ₃ (1,0 Hг)	Сидерат + побічна продукція	21	10	31	17	11	28	59
N ₉₀ P ₄₅ K ₉₀ + CaCO ₃ (1,0Hг)		19	25	44	14	11	25	69
N ₁₂₀ P ₆₀ K ₁₂₀ + CaCO ₃ (1,0 Hг)		30	17	47	20	6	26	73

Чисельність полісахаридсинтезувальних мікроорганізмів як діагностичної групи на оптимальність мінерального живлення рослин корелює із чисельністю іммобілізаторів мінерального азоту ($r = 0,854$), педотрофів ($r = 0,970$), целюлозоруйнівних ($r = 0,724$) і автохтонних ($r = 0,878$) мікроорганізмів, актиноміцетів, мікроміцетів, загальною чисельністю мікроорганізмів ($r = 0,588$), ВФК денітрифікаторів, автохтонних, мікроорганізмів і мікроміцетів, коефіцієнтом мінералізації азоту, сумарною біологічною активністю ($r = 0,646$). Особливо показовим із точки зору діагностичності групи полісахаридсинтезувальних мікроорганізмів є високий рівень кореляції із агрохімічними показниками ґрунту: із вмістом загального азоту ($r = 0,780$), вмістом та рухомістю сполук фосфору ($r = 0,603$ і $0,723$ відповідно), калію ($r = 0,721$). Чисельність полісахаридсинтезувальних бактерій також істотно корелює із кількістю прямих і загальною кількістю середньозначимих зв'язків між групами мікроорганізмів у складі мікробного угруповання. Обернений характер зв'язків спостерігається із ВФК іммобілізаторів мінерального азоту, олігонітрофілів, фітотоксичністю та вмістом рухомого алюмінію. Остання закономірність дає змогу ще раз підтвердити можливість використання цієї групи мікроорганізмів як діагностичної на екологічну чистоту екобіотопів.

Автохтонні мікроорганізми демонструють високий рівень прямої кореляції із чисельністю

мікроорганізмів як циклу азоту, так і циклу вуглецю. Високими значеннями коефіцієнта кореляції характеризуються взаємовідносини між автохтонними мікроорганізмами та іммобілізаторами мінерального азоту – 0,807, педотрофами – 0,919, целюлозоруйнівними бактеріями – 0,626, полісахаридсинтезувальними мікроорганізмами – 0,878, загальною чисельністю мікроорганізмів – 0,579, ВФК денітрифікаторів – 0,736, ВФК власних клітин – 0,935. Велике значення коефіцієнта кореляції встановлено (як у попередніх дослідженнях) із вмістом гумусу – 0,723, вмістом загального азоту – 0,692, нітратного азоту – 0,581, вмістом та ступенем рухомості фосфору (0,729 та 0,811 відповідно), вмістом калію – 0,757. Також достатньо високими є коефіцієнти кореляції із чисельністю олігонітрофілів, ВФК мобілізаторів мінеральних фосфатів, ВФК актиноміцетів, коефіцієнтом мінералізації сполук азоту, активністю мінералізації гумусу, сумарною біологічною активністю, сольовим рН. Чисельність автохтонних мікроорганізмів обернено корелює із фізіолого-біохімічною активністю мікроорганізмів циклу азоту, ВФК целюлозоруйнівних бактерій та мікроміцетів, а також із фітотоксичністю ($r = -0,797$), гідролітичною та загальною кислотністю ґрунту, вмістом рухомого алюмінію.

Отримані дані переважно співпадають із даними кореляційного аналізу, який був зроблений для таких культур, як соя і пшениця озима [11; 12].

Аналіз кореляційних зв'язків СБА мікробних угруповань ґрунту різних варіантів досліджу показав, що сумарна біологічна активність корелює із більшістю досліджених показників, за виключенням чисельності азотобактера, кислотоутворювальних мікроорганізмів і ВФК деяких груп бактерій. Особливо значимими були зв'язки сумарної біологічної активності із чисельністю амоніфікаторів ($r = 0,911$), іммобілізаторів мінерального азоту ($r = 0,898$), олігонітрофілів ($r = 0,818$), целюлозоруйнівних ($r = 0,865$), полісахаридсинтезувальних ($r = 0,646$), автохтонних мікроорганізмів ($r = 0,561$), актиноміцетів ($r = 0,675$), мікроміцетів ($r = 0,639$), загальною чисельністю мікроорганізмів ($r = 0,966$), ВФК олігонітрофілів ($r = -0,626$), ВФК мікроміцетів ($r = -0,847$), ВФК мобілізаторів мінеральних фосфатів ($r = 0,785$), показниками фітотоксичності ($r = -0,783, -0,542, -0,758$). Зв'язок сумарної біологічної активності із фізико-хімічними показниками ґрунту не такий значимий, але тісний: із сольовим рН ($r = 0,564$), величиною гідролітичної кислотності ($r = -0,573$), загальної кислотності ($r = -0,678$), вмістом гумусу ($r = 0,782$), загального азоту ($r = 0,519$),

калію ($r = 0,545$), ступенем рухомості сполук фосфору ($r = 0,510$). Виявлено високий ступінь кореляції із показниками стабільності мікробних угруповань: 0,575 – із кількістю прямих середньозначимих зв'язків, і – 0,403 – із кількістю прямих високозначимих зв'язків. Високий ступінь кореляції СБА із врожайністю ($r = 0,833$) дає можливість зробити попередній висновок про можливість використання цього показника як діагностичного на ефективну родючість сірого лісового ґрунту.

Висновки

1. Методом аналізу кореляційних матриць, побудованих за методом П. Терентьєва, встановлено, що найбільш стабільними є мікробні угруповання варіантів із заорюванням біомаси сидеральної культури і внесенням побічної продукції, особливо за полуторної і подвійної доз мінеральних добрив (69 і 73 зв'язків відповідно). Варіант без добрив (контроль) і внесенням мінеральних добрив окремо характеризуються невисоким рівнем стабільності мікробних угруповань, що знаходить відображення у кількості (21–23) високозначимих кореляційних зв'язків.
2. Чисельність амоніфікаторів позитивно корелює із загальною чисельністю мікроорганізмів ($r = 0,955$), чисельністю іммобілізаторів мінерального азоту, денітрифікаторами, нітрифікаторами, целюлозоруйнівними бактеріями, актино- і мікроміцетами, коефіцієнтом мінералізації сполук азоту, сумарною біологічною активністю ($r = 0,911$), сольовим рН, вмістом і ступенем рухомості фосфору в ґрунті, вмістом загального гумусу. Встановлено обернений характер кореляційного зв'язку чисельності амоніфікаторів із чисельністю меланінсинтезувальних мікроміцетів, інтенсивністю мінералізаційних процесів, що описуються коефіцієнтами педотрофності, оліготрофності, активністю мінералізації гумусу, величиною гідролітичної і загальної кислотності, вмістом рухомого алюмінію, кількістю прямих високозначимих зв'язків між групами мікроорганізмів у складі мікробного угруповання.
3. Кількість азотобактера позитивно корелює із чисельністю денітрифікаторів, ВФК педотрофів, мобілізаторів мінеральних фосфатів, активністю мінералізації гумусу, pH_{KCL} , кількістю обернених високозначимих зв'язків між

групами мікроорганізмів у складі мікробного угруповання; обернено – із чисельністю полісахаридсинтезувальних мікроорганізмів, актиноміцетів, меланінсинтезувальних мікроміцетів, кислотоутворювальних мікроорганізмів, фізіолого-біохімічною активністю власних клітин, індексом педотрофності, гідролітичною і загальною кислотністю ґрунтового розчину, вмістом рухомого Al^{3+} , вмістом загального і амонійного азоту, кількістю прямих і загальною кількістю середньозначимих зв'язків між групами мікроорганізмів у складі мікробного угруповання.

4. Високе значення коефіцієнта кореляції встановлено між чисельністю автохтонних мікроорганізмів та іммобілізаторів мінерального азоту,

олігонітрофілів, педотрофів, целюлозоруйнівних бактерій, полісахаридсинтезувальних мікроорганізмів, загальною чисельністю мікроорганізмів, ВФК денітрифікаторів, ВФК власних клітин; вмістом гумусу та загального і нітратного азоту, вмістом та ступенем рухомості фосфору, вмістом калію; коефіцієнтом мінералізації сполук азоту, активністю мінералізації гумусу, сумарною біологічною активністю, сольовим рН. Чисельність автохтонних мікроорганізмів обернено корелює із фізіолого-біохімічною активністю мікроорганізмів циклу азоту, ВФК целюлозоруйнівних бактерій та мікроміцетів, а також із фітотоксичністю ґрунту, гідролітичною та загальною кислотністю ґрунту, вмістом рухомого алюмінію.

ЛІТЕРАТУРА

1. Звягинцев Д.Г. Биология почв и их диагностика. Биологическая диагностика почв. Москва, 1976. С. 175–189.
2. Биорегуляция микробно-растительных систем: монография / Иутинская Г.А., Пономаренко С.П., Андреюк Е.И. и др.; под общей ред. Иутинской Г.А., Пономаренко С.П. Киев: Ничлава, 2010. 464 с.
3. 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.
4. Гузев В.С., Левин С.В. Перспективы эколого-микробиологической экспертизы состояния почв при антропогенных воздействиях. *Почвоведение*. 1991. № 9. С. 50–61.
5. Назарько М. Д. Теоретическое и экспериментальное обоснование использования микробиологических показателей почв для оценки состояния экосистем Краснодарского Края: автореф. дис. ... д-ра биол. наук: 03.00.07. КГУ. Краснодар, 2008. 85 с.
6. Цвей Я.П., Гоголь В.О. Формування мікробного ценозу залежно від сівозміни і систем удобрення. *Цукрові буряки*. 2010. №5. С. 7–9.
7. Малиновська І.М., Домбровська І.В. Стан мікробіоценозу сірого лісового ґрунту за різноцільового використання. *Вісник Київського національного університету. Сер. біолог.* 2011. Вип.57. С. 21–25.
8. Карягина Л.А. Микробиологические основы повышения плодородия почв. Москва: Наука и техника. 1983. 181 с.
9. Русакова И.В. Биологические свойства дерново-подзолистой супесчаной почвы при длительном использовании соломы на удобрение. 2013. №12. С. 1485–1493.
10. Терентьев П.В. Метод корреляционных плеяд. *Вестн. Ленинградского ун-та*. 1959. №9. С.137–143.
11. Малиновська І.М. Спрямованість мікробіологічних процесів у темно-сірому опідзоленому ґрунті за різних технологій вирощування сої. *Проблеми екологічної біотехнології*. №1. 2012.URL: <http://ecobio.nau.edu.ua/index.php/ecobiotech/article/view/767/744>
12. Малиновська І.М., Ткаченко М.А., Сачок В.Г., Скуміна М.О. Вплив агротехнічних заходів на мікробні угруповання сірого лісового ґрунту. *Проблеми екологічної біотехнології*. №1. (2014).URL: <http://ecobio.nau.edu.ua/index.php/ecobiotech/article/view/6741/7552>.

REFERENCES

1. Zvjaginцев D.G. (1976) .Biologija pochv i ih diagnostika. Biologicheskaja diagnostika pochv. Moskva. S. 175–189 [in Russian].
2. Bioreguljacija mikrobno-rastitel'nyh sistem: monografija (2010). Iutinskaja G.A., Ponomarenko S.P., Andrejuk E.I. i dr.; pod obshhej red. Iutinskoj G.A., Ponomarenko S.P. Kiev: Nichlava. 464 s. [in Russian].
3. Zvjaginцев D.G., Guzev B.C., Levin C.B. (1986). Izmenenija v komplekse pochvennyh mikroorganizmov pri antropogennyh vozdejstvijah. *Uspехi pochvovedenija:*

- Sov. pochvovedy k XIII Mezhdunar. kongr. pochvovedov, Gamburg, 1986. Moskva. S. 64–68 [in Russian].
4. Guzev B.C., Levin C.B. (1991). Perspektivy jekologo-mikrobiologicheskoy jekspertizy sostojanija pochv pri antropogennyh vozdejstvijah. *Pochvovedenie*, 9, 50–61 [in Russian].
 5. Nazar'ko M. D. (2008). Teoreticheskoe i jeksperimental'noe obosnovanie ispol'zovanija mikrobiologicheskikh pokazatelej pochv dlja ocenki sostojanija jekosistem Krasnodarskogo Kraja: avtoref. dis. ... d-ra biol. nauk: 03.00.07. KGU. Krasnodar. 85 s. [in Russian].
 6. Tsvei Ya.P., Hohol V.O. (2010). Formuvannia mikrobnogo tsenozu zalezno vid sivozmyny i system udobrennia. *Tsukrovi buriaky*, 5, 7–9 [in Ukrainian].
 7. Malynovska I.M., Dombrovska I.V. (2011). Stan mikrobiotsenozu siroho lisovoho hruntu za riznotsilovoho vykorystannia. *Visnyk Kyivskoho natsionalnogo universytetu. Ser. bioloh.*, 57, 21–25 [in Ukrainian].
 8. Karjagina L.A. (1983). *Mikrobiologicheskie osnovy povyshenija plodorodija pochv*. Moskva.: Nauka i tehnika. 181 s. [in Russian].
 9. Rusakova I.V. (2013). Biologicheskie svojstva der-novo-podzolistoj supeschanoj pochvy pri dlitel'nom ispol'zovanii solomy na udobrenie, 12, 1485–1493 [in Russian].
 10. Terent'ev P.V. (1959). Metod korrelyacionnyh plejad. *Vestn. Leningradskogo un-ta*, 9, 137–143 [in Russian].
 11. Malynovska I.M. (2012). Spriamovanist mikrobiolohichnykh protsesiv u temno-siromu opidzolenomu gruntu za riznykh tekhnolohii vyroshchuvannia soi. *Problemy ekolohichnoi biotekhnolohii*, 1. URL : <http://ecobio.nau.edu.ua/index.php/ecobiotech/article/view/767/744> [in Ukrainian].
 12. Malynovska I.M., Tkachenko M.A., Sachok V.H., Skumina M.O. (2014). Vplyv ahrotekhnichnykh zakhodiv na mikrobni uhrupovannia siroho lisovoho gruntu. *Problemy ekolohichnoi biotekhnolohii*, 1. URL: <http://ecobio.nau.edu.ua/index.php/ecobiotech/article/view/6741/7552> [in Ukrainian].

Malynovska I.M., Tkachenko M.A.

Formation of links between microorganisms of certain groups in haplic luvisol under the influence of mineral fertilization and liming

The **aim** of the research was to form connections between separate groups of microorganisms as a part of groups of gray forest soil (Haplic Luvisol) during the cultivation of spring wheat with the use of various fertilizers and liming systems. **Research methods:** microbiological, laboratory-analytical, statistical. The research was carried out in the landfill monitoring system on the basis of a stationary experiment of the Department of Agrosoil Science and Soil Microbiology at the NSC "Institute of Agriculture of NAAS" - Development and improvement of intensive cultivation technologies of agricultural crops on the basis of the expanded soil fertility reproduction. **The main results of the study:** The number of ammonifiers is positively correlated with the total number of microorganisms (0,955), the number of mineral nitrogen immobilizers, denitrifiers, nitrifiers, cellulose-destroying bacteria, actin- and micromycetes, the coefficient of nitrogen mineralization compounds, the total biological activity (0,911). The conclusions of previous research are confirmed: *Azotobacter* is not a diagnostic microorganism for effective soil fertility, as evidenced by the insignificance of the correlation coefficients between the number of *Azotobacter* and the yield of spring wheat (0,265), winter wheat (0,131), soybeans (0,303). The number of *Azotobacter* correlates inversely with most of the studied indicators, especially significant - with the number of polysaccharide-synthesizing microorganisms, actinomycetes, melanin-synthesizing micromycetes (-0,719), acid-forming microorganisms (- 0,611), physiological and biochemical activity of own cells, pedotrophic index. The direct nature of the relationship is established between the number of polysaccharide-synthesizing microorganisms as a diagnostic group for the optimal mineral nutrition of plants and the number of mineral nitrogen immobilizers (0,854), pedotrophs (0,970), cellulose-destructive (0,724) and autochthonous (0,878) microorganisms, actinomycetes, micromycetes, the total number of microorganisms (0,588), probability of colony formation of denitrifiers, autochthonous microorganisms and micromycetes, nitrogen mineralization coefficient, total biological activity (0,646). Indigenous microorganisms show a high level of direct dependence on the number of mineral nitrogen immobilizers, pedotrophs, cellulose-destroying and polysaccharide-synthesizing microorganisms, the total number of microorganisms, physiological and biochemical activity of denitrifiers and own cells (0,935).

Keywords: microorganisms, correlations, ammonifiers, autochthonous, polysaccharide-synthesizing microorganisms, gray forest soil.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Малиновська І.М., доктор сільськогосподарських наук, член-кореспондент НААН, Національний науковий центр «Інститут землеробства НААН» (вул. Машинобудівників, 2Б, смт Чабани, Києво-Святошинський р-н, Київська обл., 08162, Україна), тел. 0679296047, e-mail: irina.malinovskaya.1960@ukr.net, ORCID ID: 0000-0001-5945-2042

Malynovska I.M., Doctor of Agricultural Sciences, corresponding member of NAAS, NSC "Institute of Agriculture of NAAS", phone 0679296047, e-mail: irina.malinovskaya.1960@ukr.net, ORCID ID: 0000-0001-5945-2042

Ткаченко М.А., доктор с.-г. наук, член-кореспондент НААН, заступник директора з наукової роботи, завідувач відділу агрогрунтознавства і ґрунтової мікробіології, ННЦ «Інститут землеробства НААН», смт Чабани, Україна, e-mail: i.z. naan. tkachenko@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-6128-4703

Tkachenko M.A., NSC Doctor of Agriculture Sciences, corresponding member of NAAS, Deputy Director for Scientific Work, Head of the department of Soil Science and Soil Microbiology, «Institute of Agriculture of NAASU» Chabany, Ukraine, e-mail: i.z. naan. tkachenko@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-6128-4703

Надійшла 01.10.2021