

## **БИОИНДИКАЦИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОЧВ**

**Шерстобоева Е.В., Чабанюк Я.В., Федак Л.И.**

Институт агроэкологии УААН,  
ул. Метрологическая, 12, г. Киев, 03143, Украина  
E-mail: ovsher@ukr.net

*Сравнительная оценка почв природной и аграрной экосистем по минимальной системе биологических показателей показала возможность ранней диагностики экологического состояния почв.*

Ключевые слова: *биоиндикация почв, экологические коэффициенты, микробиоценоз, ферментативная активность.*

Плодородные почвы являются одним из наиболее ценных богатств Украины, которой принадлежит около 28 % мировых площадей почв черноземного типа [1]. Однако возрастающие антропогенные нагрузки отрицательно сказываются на свойствах почв, ухудшая их агрохимические и биологические показатели. Негативное влияние антропогенного воздействия на почву особенно проявляется в агроэкосистемах, где нерациональное, научно необоснованное применение средств химизации, обработки почвы приводит к разбалансированию ее функциональных составляющих и потере стойкости экосистемы в целом.

Существует несколько методологических подходов к оценке экологического состояния почв, и среди них микробиологический, на наш взгляд, является наиболее чувствительным. Микробиота полифункциональна и, участвуя в противоположных реакциях, осуществляет стабилизирующую функцию метаболического равновесия в природе. Благодаря большой поверхности контакта со средой, микроорганизмы очень чувствительны к меняющимся условиям существования, а высокая скорость размножения дает возможность в короткий срок выявлять изменения, которые возникают под влиянием экологических факторов [2]. Это позволяет прогнозировать возможные пути изменения почв под влиянием агровоздействий, получение необходимой информации для коррекции применяемых агротехнических систем, что в свою очередь может обеспечить сохранение и восстановление почвенного плодородия и высокую продуктивность агроэкосистемы в целом.

Проведению комплексных экологических исследований предшествует поиск наиболее информативных и достоверных критериев и разработка системы показателей, которые способны обеспечить наиболее объективное отражение изменений экологического состояния почвы. Для мониторинговых наблюдений за состоянием почв природных экосистем при техногенном воздействии отечественными и зарубежными авторами уже найдены определенные биоиндикационные критерии оценки [3, 4, 5].

Целью наших исследований было сравнение характеристик микробных сообществ почвы по выбранным нами, как наиболее информативным и доступным в определении, микробиологическим показателям, показывающим изменение направления биологических процессов под действием антропогенных факторов и позволяющим раннюю диагностику негативных явлений в почвах агроэкосистем.

**Материалы и методы.** Эталонным объектом при апробации разработанной нами минимальной системы биодиагностических показателей экологического состояния почв была природная экосистема: участок темно-серой оподзоленной почвы, будучи истощенным, продан владельцами в 1893 году для научных опытов Полтавской сельскохозяйственной опытной станции (в настоящее время – Полтавский институт АПВ им. Н.И. Вавилова УААН). На этом участке заложен стационарный опыт “Полтавская целина”, и с тех пор делянка не используется в хозяйственных целях и находится под природной растительностью [6].

С эталоном сравнивали характеристики агроэкосистемы: агрофитоценоз пшеницы озимой, которую выращивали без удобрений, с внесением  $N_{60}P_{40}K_{40}$  или 30 т/га навоза.

Отбор образцов почвы и микробиологические анализы проводили общепринятыми методами, изложенными в руководстве МГУ [7]. Ферментативную активность почвы определяли по руководству Ф.Х. Хазиева [8]. Экологические коэффициенты рассчитывали по Е.Н. Мишустину [9].

Для определения комплексного поражения зерновых культур корневыми гнилями применяли четырехбальную шкалу в модификации В.Ф. Пересыпкина и В.М. Пидопличко [10].

Математический анализ результатов экспериментов проводили с помощью компьютерных программ “Microsoft Excel” и “Статистика”.

**Результаты и их обсуждение.** Показатели, по которым можно судить о направлении процессов в почве и ее экологическом состоянии, выбраны нами среди многих других как информативные и относительно легко определяемые: содержание общей массы микроорганизмов в почве, коэффициенты минерализации-иммобилизации, олиготрофности и гумусонакопления, антифунгальная активность почвы и, связанное с этим показателем, количество и разнообразие микромицетов. Что можно продемонстрировать на примере сравнения характеристик почвы природной и аграрной экосистем.

Природная экосистема за более чем сто лет в своем развитии прошла последовательные сукцессионные изменения. До 80-х годов прошлого столетия состав растительного покрова в основном был представлен многолетними бобовыми травами, которые за счет симбиотической фиксации азота атмосферы клубеньковыми бактериями обеспечили его накопление в почве и создали условия для развития и последующего доминирования злаковых трав. Регулярно проводимые агрохимические анализы образцов почвы показали, что за это время в выведенной из землепользования истощенной почве постепенно увеличивалось содержание гумуса и соответственно возрастала продуктивность экосистемы [6].

Продуктивность аграрной экосистемы зависит от системы удобрения, и ежегодно наиболее высокий урожай зерна озимой пшеницы получали при удобрении навозом (табл. 1). В этом же варианте растения меньше всего поражались корневыми гнилями в неблагоприятном по погодным условиям 2006 году.

*Таблица 1. Характеристика агрофитоценоза пшеницы озимой при внесении разных видов удобрений (среднее за 2003-2007 гг.)*

Варианты опыта	Урожайность, ц/га	Устойчивость к болезням	
		распространение корневых гнилей	развитие корневых гнилей
Без удобрений	55,2	68 ± 4,0	41,3 ± 3,4
N <sub>60</sub> P <sub>40</sub> K <sub>40</sub>	61,9	55 ± 2,8	34,1 ± 2,2
Навоз, 30 т/га	64,8	33 ± 3,7	32,3 ± 1,7
НСР <sub>05</sub>	1,6		

Целинная почва в слое 0-20 см содержит 353 мкг углерода живой массы микроорганизмов в 1 г почвы, что свидетельствует о достаточно высокой активности микробиологических процессов. В почве под пшеницей озимой содержание микробной массы минимальное в варианте без удобрений и максимальное – при органической системе удобрения (табл. 2).

*Таблица 2. Содержание общей микробной массы и активность разложения целлюлозы в почвах природной и аграрной экосистем*

Образец почвы	Микробная масса, мкг С/г почвы	Разложение целлюлозы, %
<i>Природная экосистема</i>		
Глубина отбора 0-20 см	352,8 ± 9,5	34 ± 0,5
Глубина отбора 20-40 см	185,3 ± 9,6	11 ± 0, 2
<i>Агрэкосистема (ризосфера пшеницы озимой)</i>		
Без удобрения	234 ± 9,3	20 ± 1,9
N <sub>60</sub> P <sub>40</sub> K <sub>40</sub>	291 ± 11,7	29 ± 1,4
Навоз, 30 т/га	418 ± 19,9	33 ± 2,0

Разложение целлюлозы, как один из показателей биологической активности в почве, также активнее в целинной почве и под пшеницей, которая удобрена навозом.

Результаты микробиологических посевов образцов целинной почвы демонстрируют высокую численность микроорганизмов, а следовательно, и высокую активность микробиологических процессов. Подтверждается это утверждение и низкой численностью неактивных спорных форм микроорганизмов (табл. 3).

Протеолитическая активность высокая, поскольку микроорганизмов-аммонификаторов, минерализующих азотосодержащие органические вещества, больше, чем тех, которые усваивают минеральные формы азота, т. е. коэффициент минерализации – иммобилизации меньше единицы. Это свидетельствует о преобладании процессов синтеза над деструкцией и подтверждает данные повышения содержания гумуса в целинной почве.

Микроорганизмов, способных усваивать элементы из очень разбавленных растворов и учитываемых на среде Эшби, разбавленной в 100 раз, насчитывается 24 млн/г почвы, но это меньше, чем численность зимогенной микрофлоры, и коэффициент

олиготрофности 0,75 характеризует высокую обеспеченность почвенной микрофлоры исследуемого экотопа элементами питания.

**Таблица 3. Количественная характеристика микроорганизмов почвы природной экосистемы**

Численность микроорганизмов, КУО /г почвы	Слой почвы, см	
	0-20	20-40
Аммонификаторы, 10 <sup>6</sup>	31,8 ± 1,0	15,7 ± 4,6
Споровые бактерии, 10 <sup>6</sup>	1,1 ± 0,2	0,3 ± 0,0
Бактерии, усваивающие мин. формы азота, 10 <sup>6</sup>	28,5 ± 2,6	16,5 ± 0,6
Стрептомицеты, 10 <sup>6</sup>	3,5 ± 0,8	1,9 ± 0,3
Азотфиксирующие бактерии, 10 <sup>6</sup>	21,6 ± 2,6	13,5 ± 3,0
Олиготрофы, 10 <sup>6</sup>	23,7 ± 0,7	13,6 ± 3,4
Микромицеты, 10 <sup>3</sup>	42,1 ± 4,6	14,4 ± 1,4
Почвенные комочки, содержащие азотобактер, %	100	97
K <sub>минерализации-иммобилизации</sub>	0,90	1,05
K <sub>олиготрофности</sub>	0,75	0,86

В растительных остатках, как правило, много углерода и не хватает азота, поэтому стимулируется развитие азотфиксирующих бактерий: во всех комочках почвы обнаруживается азотобактер и высокая численность других видов бактерий, которые способны к ассимиляции молекулярного азота атмосферы и трансформации его в доступную растениям аммиачную форму.

Микробный ценоз почвы агроэкосистемы характеризуется меньшей численностью микроорганизмов, но главное, другим количественным соотношением между разными группами, т. е. экологическими коэффициентами. Коэффициент минерализации в 10 раз больше в почве неудобренного варианта и варианта с внесением минеральных удобрений. Приближаются они к показателям целины только в варианте с органическим удобрением (табл. 4).

В деструкции растительных остатков активно участвуют мицелиальные микроорганизмы – стрептомицеты и грибы. Численность грибов в целинной почве высокая, но разнообразие их снижается. При определении в 1980 г. доминировали 9 морфотипов, большинство которых относится к патогенным и

условно патогенным формам [6]. В 2007 году выявили только 6 доминирующих морфотипов микромицетов, среди которых преобладают сапрофиты и условно-патогенные. Это связано с изменением, во-первых, доминирующих представителей фитоценоза с бобовых на злаковые растения, возбудители болезней которых еще не распространились; во-вторых, эдафических факторов, которые способствовали увеличению корневого опада и усилению регенерации корневой системы, что стимулирует развитие сапротрофных грибов.

*Таблица 4. Количественная характеристика микроорганизмов ризосферы пшеницы озимой*

Численность микроорганизмов, КУО /г почвы	Система удобрения пшеницы озимой		
	без удобрения	N <sub>60</sub> P <sub>40</sub> K <sub>40</sub>	навоз, 30 т/га
Аммонификаторы, 10 <sup>6</sup>	1,5 ± 0,18	2,1 ± 0,1	3,5 ± 0,24
Бактерии, усваивающие мин. формы азота, 10 <sup>6</sup>	15,9 ± 1,2	21,7 ± 2,2	13,2 ± 1,3
Стрептомицеты, 10 <sup>6</sup>	6,1 ± 0,4	4,6 ± 0,4	2,1 ± 0,3
Азотфиксирующие бактерии, 10 <sup>6</sup>	1,2 ± 0,1	3,1 ± 0,2	3,7 ± 0,13
Олиготрофы, 10 <sup>6</sup>	16,4 ± 3,0	18,9 ± 3,2	17,0 ± 2,7
Микромицеты, 10 <sup>3</sup>	8,9 ± 1,2	16,5 ± 1,8	32,4 ± 1,9
Почвенные комочки, содержащие азотобактер, %	100	33	68
K <sub>минерализации-иммобилизации</sub>	10,6	10,3	3,0
K <sub>олиготрофности</sub>	1,9	1,6	1,0

Также и в почве агроэкосистемы, разнообразие грибов, которое устанавливали по количеству морфотипов, снижается по мере улучшения экологического состояния почвы: в ризосфере пшеницы, выращиваемой без удобрений, доминируют 8 морфотипов, при внесении минеральных удобрений – 6, а наименьшее их количество в варианте органической системы удобрения – 4 доминирующих морфотипа.

Среди ферментов, характеризующих направленность почвенных процессов, определяли активность полифенолоксидазы – фермента, характеризующего синтетическую деятельность, и

активность пероксидазы – фермента, характеризующего уровень деструкции органики.

Как видно из данных таблицы 5, уровень ферментативной активности в целинной почве находится между контролем и вариантом с минеральной системой удобрения пшеницы, т. е. в цифровом выражении не обеспечивает полезной мониторинговой информации. Соотношение же величин ферментативной активности, называемое коэффициентом гумусонакопления, весьма показательно и свидетельствует о направленности процессов в почве каждого из вариантов.

**Таблица 5. Ферментативная активность почв природной и аграрной экосистем**

Образец почвы	Полифенол-оксидазная, пурпургалина мг/г почвы	Пероксидазная, пурпургалина мг/г почвы	Коэффициент гумусонакопления
Целина	0,244±0,007	0,240±0,005	1,017
<i>Агрэкоэкоэстем (пшеница озимая)</i>			
Без удобрения	0,224±0,008	0,233±0,007	0,96
N <sub>60</sub> P <sub>40</sub> K <sub>40</sub>	0,258±0,009	0,261±0,011	0,99
Навоз, 30 т/га	0,279±0,008	0,271±0,009	1,03

Так, коэффициент гумусонакопления при органической системе удобрения и в целинной почве выше единицы, что свидетельствует об экологическом благополучии и показывает превалирование процессов синтеза органического вещества над минерализацией. Это подтверждают данные медленного, но неуклонного роста содержания гумуса в выведенной из хозяйственного землепользования более ста лет назад целинной почве.

Таким образом, по всем использованным в работе биологическим показателям закономерно лучшими характеристиками обладают целинная почва и почва ризосферы пшеницы озимой, выращиваемой по фону органического удобрения. В этих условиях сохраняется и восстанавливается плодородие почвы, что свидетельствует об экологическом благополучии исследованных экотопов. Значительно хуже показатели при минеральной системе удобрения. И совсем разбалансирована экосистема, с экологичес-

кой точки зрения, при выращивании культуры без удобрения. Следовательно, созданная нами минимальная система оценки почв по биологическим показателям позволяет осуществить раннюю диагностику экологического состояния почв экосистем.

1. Дегодюк Е. Г. Еколого-техногенна безпека України / Е. Г. Дегодюк, С. Е. Дегодюк. — К. : ЕКМО, 2006. — 306 с.

2. Иерархическая система биоиндикации почв, загрязненных тяжелыми металлами / [К. И. Андреюк, Г. А. Иутинская, В. Е. Козырицкая и др.] // Почвоведение. — 1997. — № 12. — С. 1491–1496.

3. Степанов А. М. Биоиндикация на уровне экосистем / А. М. Степанов // Биоиндикация и биомониторинг. — М. : Наука, 1991. — С. 59–64.

4. Brookes P. C. The use of microbial parameters in monitoring soil pollution by heavy metals / P. C. Brookes // Biol. Fertil. Soils. — 1995. — Vol. 19, № 4. — P. 269–279.

5. Margesin R. Monitoring of bioremediation by soil biological activities / R. Margesin, A. Zimmerbauer, F. Schinner // Chemosphere. — 2000. — Vol. 40, № 3. — P. 339–340.

6. Білявський Ю. В. Біорізноманіття природної екосистеми / Ю. В. Білявський, Р. О. Вусатий, О. В. Шерстобоева, Л. В. Федак // Основи формування продуктивності сільськогосподарських культур за інтенсивних технологій вирощування. — 2008. — С. 211–216.

7. Методы почвенной микробиологии и биохимии ; под ред. Д. Г. Звягинцева. — М. : Изд-во МГУ, 1991. — 30 с.

8. Хазиев Ф. Х. Методы почвенной энзимологии / Ф. Х. Хазиев. — М. : Наука, 1990. — 189 с.

9. Мишустин Е. Н. Определение биологической активности почвы / Е. Н. Мишустин, А. Н. Петрова // Микробиол. — 1963. — Т. 31, № 3. — С. 479–483.

10. Шустерук Т. З. Оцінка стану ґрунтів за показниками їхньої біологічної активності при застосуванні різних агротехнологій / Т. З. Шустерук, О. В. Шерстобоева, О. С. Дем'янюк // Агроекол. журн. — 2006. — № 3. — С. 23–28.



## **БІОІНДИКАЦІЯ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ҐРУНТІВ**

**Шерстобоева О.В., Чабанюк Я.В., Федак Л.І.**

Інститут агроекології УААН, м. Київ

*Порівняльна оцінка ґрунтів природної і аграрної екосистем за мінімальною системою біологічних показників показала можливість ранньої діагностики екологічного стану ґрунтів.*

*Ключові слова: біоіндикація ґрунтів, екологічні коефіцієнти, мікробіоценоз, ферментативна активність.*

## **BIOINDICATION OF SOIL ECOLOGICAL CONSISTENCE**

**Sherstoboeva E. V., Chabanjuk J.V., Fedak L.I.**

Institute of Agroecology of UAAS, Kyiv

*Comparative evaluation of virgin and agricultural soil with a minimal system of biological indexes discovered possibility of early diagnostic of soil ecological consistence.*

*Key words: bioindication of soil, ecological coefficients, microbiocenosis, activity of enzymes.*