

ПЕРЕБІГ МІКРОБІОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ У ПЕРЕЛОГАХ ТА АГРОЗЕМАХ

Національний науковий центр «Інститут землеробства НААН»

Досліджували спрямованість та інтенсивність мікробіологічних процесів у сірому лісовому ґрунті перелогів різної тривалості порівняно з екстенсивним та інтенсивним агроземами. Встановлено, що з зростанням тривалості перелогу інтенсивність освоєння органічної речовини ґрунту зменшується на 65,3 і 43,4 %, активність мінералізації гумусу – на 17,8 і 83,5 %, фітотоксичність – на 6,92 і 16,4 % для 10- і 23-річного перелогів відповідно. Інтенсивний агрозем характеризується вищою порівняно з екстенсивним агроземом активністю мінералізації органічної речовини, азотовмісних сполук і нижчою активністю мінералізації гумусу та фітотоксичністю.

Ключові слова: мікробіоценоз, переліг, відновлення, еколого-трофічні групи, мінералізація, гумус, фітотоксичність.

И. М. Малиновская, А. П. Сорока

Национальный научный центр «Институт земледелия НААН»

ПРОТЕКАНИЕ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ЗАЛЕЖАХ И АГРОЗЕМАХ

Исследовали интенсивность и направленность микробиологических процессов в серой лесной почве залежей разного возраста в сравнении с интенсивным и экстенсивным агроземами. Установлено, что с увеличением возраста залежи интенсивность освоения органического вещества уменьшается на 65,3 и 43,4 %, активность минерализации гумуса – на 17,8 и 83,5 %, фитотоксичность – на 6,92 и 16,4 % для десятилетней и двадцатитрехлетней залежей соответственно. Интенсивный агрозем характеризуется более высокой, чем экстенсивный агрозем, активностью минерализации органического вещества, азотосодержащих соединений и более низкой активностью минерализации гумуса и фитотоксичностью.

Ключевые слова: микробиоценоз, залежь, восстановление, эколого-трофические группы, минерализация, гумус, фитотоксичность.

I. M. Malynovska, O. P. Soroka

NRC «Institute of Agriculture of the UAAS»

MICROBIOLOGICAL PROCESSES IN FALLOW LANDS OF DIFFERENT DURATION

The orientation of microbiological processes in soil deposits of various ages was studied: two, nine and twenty two years old in comparison with agrozem. It is found that with increasing age of the deposits the intensity of the development of soil organic matter is decreasing by 65,3 and 43,4 %, humus mineralization activity – by 17,8 and 83,5 % and phytotoxicity – by 6,92 and 16,4 % for soil of ten and twenty three years old. Intensive agrozem is characterized by higher compared with the extensive agrozem activity mineralization of organic matter, nitrogen compounds and a low level of mineralization of humus and phytotoxicity.

Keywords: microbiocoenosis, reservoir, restoration, ecologic and trophic groups, mineralization, humus, phytotoxicity.

У сучасних системах землеробства все 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 (Land, 1997). В Україні тривале нерациональне використання ґрунтів, екологічно незбалансоване землеробство призвели до значної деградації ґрунтового покриву. Останні 30 років площа змитих земель щороку збільшувалась на 100–120 тис. га і нині становить близько 10,6 млн.га (Фурдичко, 2006). Така ситуація вимагає

негайного впровадження практичних заходів, спрямованих на збереження родючості та припинення деградації ґрунтів. Одним із шляхів вирішення цієї проблеми є переведення під лукопасовищні угіддя близько 10 млн. га малопродуктивних орних земель згідно постанови Президії УААН та Міністерства аграрної політики України (2000 р.). Вилучання земельних угідь з сільськогосподарського використання не повинно носити стихійний характер, а має проводитися з урахуванням фундаментальних закономірностей функціонування екосистем на всіх рівнях їхньої організації, у тому числі на рівні мікробних угруповань, які є найбільш чутливими до змін умов існування біогеоценозу. Перевагами мікробіологічних методів досліджень є також те, що вони дозволяють дослідити спрямованість саме агрономічно значимих процесів: мінералізації та іммобілізації азотовмісних сполук, нітрифікації, азотфіксації, денітрифікації, розкладання органічної речовини ґрунту, гумусу тощо.

Завданням нашого дослідження було вивчення спрямованості та інтенсивності мікробіологічних процесів в ґрунтах перелогів різної тривалості порівняно з агроземами.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження були проведені на прикладі сірого лісового ґрунту на територіально близьких ділянках: 1 – ґрунт, виведений із сільськогосподарського використання у 1987 році (багаторічний переліг), тип фітоценозу – валіскокострицевий; 2 – ґрунт, виведений із сільськогосподарського використання у 2000 році (малорічний переліг), тип фітоценозу – наземнокунічний; 3 – ґрунт, виведений із сільськогосподарського використання у 2007 році (трьохрічний переліг), тип фітоценозу – різнотрав'я; 4–5 – агроземи стаціонарного дослідження, закладеного в 1987 році: 4 – контроль, польова сівозміна без використання мінеральних і органічних добрив (екстенсивний агрозем), культура – овес; 5 – польова сівозміна з насиченістю мінеральними добривами $N_{96}P_{108}K_{112,5}$ по фоні заорювання побічної продукції рослинництва (інтенсивний агрозем), культура – овес.

Чисельність мікроорганізмів основних еколого-трофічних груп оцінювали методом висіву ґрунтової суспензії на відповідні загальні, елективні та спеціальні поживні середовища (Методы, 1991). Показник інтенсивності процесу мінералізації сполук азоту розраховували за Є. Н. Мішустіним і Е. В. Руновим (1957), індекс педотрофності – за Д. І. Нікітіним та В. С. Нікітіною (1978), активність процесу мінералізації гумусу – за І. С. Демкіною та Б. Н. Золотарьовою (1986). Коефіцієнт питомої фосформобілізувальної активності визначали на агаризованому середовищі Муромцева за розробленим нами методом (Малиновская, 2002).

Кількість колоній підраховували впродовж 21 доби в залежності від швидкості росту і фізіологічних особливостей мікроорганізмів певної еколого-трофічної групи. Вірогідність формування бактеріальних колоній (ВФК) визначали за методом S. Ishikuri and T. Nattori, який описано П. А. Кожевіним з співавт. (1987). Фітотоксичні властивості ґрунту визначали з використанням рослинних біотестів (пшениця озима) за Н. А. Красильниковим (1966).

Статистичну обробку результатів проводили з використанням сучасних програм Microsoft Excel.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

За чисельністю амоніфікувальних мікроорганізмів відрізняється ґрунт перелогу з 2000 року (табл. 1). У більшості робіт, присвячених вивченню стану перелогів, найбільшою чисельністю амоніфікаторів характеризувався ґрунт багаторічного перелогу (Малиновська, 2007–2011), однак, цей показник варіює залежно від типу фітоценозу і строку початку вегетаційного періоду. Фітоценоз багаторічного перелогу містить більшу кількість ефемерних видів рослин і раніше починає вегетувати, ніж фітоценоз малорічного перелогу. У приведеному дослідженні

максимум вегетативного розвитку рослин типового фітоценозу багаторічного перелогу був пройдений раніше і тому кількість кореневих виділень, а відповідно і амоніфікувальних мікроорганізмів, є меншою порівняно із кореневою зоною фітоценозу малорічного перелогу. Чисельність мікроорганізмів інших груп колообігу азоту (олігонітрофілів, азотобактера, нітрифікаторів, денітрифікаторів) у ґрунті багаторічного перелогу є також нижчою за показники малорічного перелогу.

Найменшою чисельністю мікроорганізмів основних еколого-трофічних груп характеризується трьохрічний переліг (табл. 1). Невисоку чисельність амоніфікувальних мікроорганізмів можна пояснити меншою густотою рослин у фітоценозі цього перелогу, і відповідно меншою кількістю кореневих виділень. Мінімальна чисельність целюлозоруйнівних бактерій обумовлена невеликою кількістю опаду і незначною товщиною підстилки, яка сформувалася за три роки, порівняно із товщиною підстилки на багаторічних перелогах. Чисельність целюлозоруйнівних мікроорганізмів зменшується із зростанням тривалості перелогового стану ґрунту, їхня кількість у ґрунті 23-річного перелогу перевищує відповідні показники десяти- і трьохрічного перелогу на 10,3 і 41,7 %. Аналогічна тенденція спостерігається для мікроміцетів і автохтонних мікроорганізмів, які приймають участь у деструкції молекул гумусу: найменша чисельність цих мікроорганізмів виявляється у ґрунті 23-річного перелогу, середня – у ґрунті десятирічного, максимальна – у ґрунті трьохрічного перелогу (табл. 1). Отже, чисельність мікроорганізмів окремих еколого-трофічних і систематичних груп у ґрунті перелогу змінюється з часом його перебування у перелоговому стані.

Із зростанням тривалості перелогу змінюється не тільки чисельність мікроорганізмів, а й активність окремих мікробіологічних процесів у ґрунті, що підтверджується результатами вивчення фізіолого-біохімічної активності мікроорганізмів безпосередньо у ґрунті та агрохімічними даними (табл. 2, 3). Зокрема, фізіолого-біохімічна активність амоніфікаторів, іммобілізаторів мінерального азоту, денітрифікаторів, мобілізаторів мінеральних фосфатів збільшується із зростанням тривалості перебування ґрунту у перелоговому стані (табл. 3). Вміст лужногідролізованого та амонійного азоту із зростанням тривалості перелогу збільшується відповідно на 54,5 і 86,5 %, рухомого фосфору і калію – на 10,4 і 22,3 %, вміст нітратного азоту знижується на 31,6 % (табл. 2). При цьому ступінь рухомості фосфору в ґрунті перелогів залишається на постійному рівні незалежно від тривалості перебування ґрунту у перелоговому стані, за виключенням трьохрічного перелогу, де ступінь рухомості фосфору знижений. На забезпеченість ґрунту сполуками фосфору впливає активність мікробіологічної трансформації його органічних і мінеральних сполук. Згідно отриманих даних, у ґрунті багаторічного перелогу міститься найменша кількість мобілізаторів мінеральних фосфатів із високою фосформобілізуючою активністю (табл. 1, 3). У ґрунті трьохрічного перелогу і екстенсивного агрозему фосформобілізуючі мікроорганізми найбільш активні, їхній коефіцієнт питомої фосформобілізуючої активності перевищує відповідний показник інтенсивного агрозему в 1,58 і 2,71 рази відповідно (табл. 1), що обумовлено невисоким вмістом рухомих форм фосфору у цих варіантах дослідів (табл. 2).

Протягом всього періоду спостережень ґрунт багаторічного перелогу характеризується більшим вмістом азотобактеру, ніж ґрунт малорічного перелогу (Малиновська, 2007–2011). Експериментальні дані вегетаційного періоду 2010 року також підтверджують цю закономірність (табл. 1). Ґрунт 10-річного перелогу містить лише 5,30 % азотобактера, тоді як ґрунт багаторічного і трьохрічного перелогів – у 17–19 разів більше. Узагальнюючи результати досліджень, можна зробити попередній висновок, що розповсюдження азотобактера в ґрунтах перелогів залежить не від тривалості перелогового стану ґрунту, а від типу фітоценозу, агрохімічних характеристик ґрунту, передісторії ґрунту тощо (Малиновська, 2007–2011). Зокрема, використання агроприємів: скошування, внесення мінеральних добрив і вапнування призводить до зростання чисельності азотобактеру у ґрунті малорічного перелогу до 18 % (Малиновська, 2009).

Максимальна чисельність азотобактера (100 % обростання ґрунтових грудочок) виявлена у ґрунті екстенсивного агрозему (табл. 1), що співпадає із багаторічними спостереженнями (Малиновська, 2007–2011). Отже, не можна вважати азотобактер індикатором ефективної родючості ґрунту і забезпеченості його сполуками фосфору (Мишустин, 1956), оскільки у ґрунт екстенсивного агрозему протягом 23 років не вносяться мінеральні, органічні добрива, меліоранти і т.і., тому врожайність сільськогосподарських культур на цьому варіанті стаціонарного досліду є мінімальною (Юла, 2008). Можливо, азотобактер є індикатором екологічного благополуччя, зниженого вмісту поллютантів, оскільки він розвивається у ґрунтах багаторічних контролів. Так, С. В. Шерстобоево із співавт. (2009) встановлено, що найвищою (100 %) чисельністю азотобактера характеризується ґрунт контролю (агрозем без добрив), проміжною (68 %) – варіант з внесенням 30 т гною, мінімальною (33 %) – варіант з внесенням $N_{60}P_{40}K_{40}$. Таким чином, уявлення про азотобактер як індикатор ефективної родючості ґрунту повинно бути переглянуте.

До 2007 р. екстенсивний агрозем характеризувався більшою (на 33–64 %) порівняно із інтенсивним агроземом чисельністю полісахаридсинтезуювальних мікроорганізмів, що узгоджувалось з уявленням про дефіцит у ньому макро- і мікроелементів, оскільки бактеріальні полісахариди інтенсифікують мобілізацію мінеральних елементів із нерозчинних форм вторинними метаболітами бактерій (Малиновська, 2007). Однак пізніше в інтенсивному агроземі чисельність цих бактерій підвищилася і на сьогоднішній час перевищує кількість полісахаридсинтезуювальних бактерій у екстенсивному агроземі у 2,86 рази (табл. 1). Чисельність полісахаридсинтезуювальних мікроорганізмів у перелогових ґрунтах є приблизно однаковою із їхньою чисельністю у екстенсивному агроземі і знижується із зростанням тривалості перелугу. Оскільки вагомим фактором, який відрізняє інтенсивний агрозем від екстенсивного є заорювання побічної продукції рослинництва і те, що цієї продукції на інтенсивному варіанті формується набагато більше, дозволяє припустити, що основним фактором впливу на чисельність полісахаридсинтезуювальних бактерій є співвідношення у ґрунті вуглецю до азоту. Використовувати чисельність полісахаридсинтезуювальних мікроорганізмів як індикаторну ознаку на нестачу мінеральних елементів можна, на нашу думку, за порівнювання варіантів досліду, які відрізняються лише за одним фактором, і цей фактор не пов'язаний із вмістом джерела вуглецю.

Чисельність мікроорганізмів у інтенсивному агроземі набагато вища за показники екстенсивного агрозему: іmobilізаторів мінерального азоту – у 2,01 рази, олігонітрофілів – 2,67, денітрифікаторів – 6,94, нітрифікаторів – 1,38, целюлозоруйнівних – 3,39, полісахаридсинтезуювальних – 2,86, стрептоміцетів – 1,77, мобілізаторів мінеральних фосфатів – у 1,40 рази (табл.1). Мікроорганізми більшості досліджених груп екстенсивного агрозему мають більш високу фізіологічну активність порівняно з мікроорганізмами інтенсивного агрозему (табл. 3). Це відноситься до амоніфікуювальних мікроорганізмів, нітрифікаторів, денітрифікаторів, мобілізаторів мінеральних фосфатів, автохтонних і целюлозоруйнівних мікроорганізмів (табл. 3). Разом з тим, фізіолого-біохімічна активність іmobilізаторів мінерального азоту, олігонітрофілів і мікроміцетів вища у мікроорганізмів інтенсивного агрозему. Оскільки раніше спостерігали протилежну тенденцію, можна припустити, що на перебіг мікробіологічних процесів у агроземах суттєво впливає сільськогосподарська культура, яка вирощується, у 2010 році це – овес.

Порівняння агроземів із перелоговими ґрунтами показує, що найвищою чисельністю мікроорганізмів основних еколого-трофічних груп характеризується інтенсивний агрозем, в ньому набагато більше іmobilізаторів мінерального азоту, олігонітрофілів, денітрифікаторів, педотрофів, целюлозоруйнівних, полісахаридсинтезуювальних, автохтонних мікроорганізмів, стрепто- і мікроміцетів (табл. 1). Тим самим підтверджується закономірність щодо збільшення чисельності мікроорганізмів при окультуренні ґрунту (Мишустин, 1957).

Із зростанням тривалості перелугу зменшується інтенсивність освоєння органічної речовини ґрунту на 65,3 і 43,4 % для перелугу з 2000 і 1987 років відповідно, коефіцієнт оліготрофності знижується на 50,0 і 100,0 % (табл. 4).

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. Активність мінералізації гумусу знижується із зростанням тривалості перелогу на 17,8 і 83,5 % відповідно. Найнижчою активністю мінералізації гумусу характеризується ґрунт багаторічного перелогу, потім – малорічного і трьохрічного перелогів. Таким чином, в результаті виведення ґрунту з сільськогосподарського використання в ньому суттєво уповільнюються процеси мінералізації загальної органічної речовини і гумусу.

Згідно багаторічних спостережень, в інтенсивному агроземі інтенсивність освоєння органічної речовини і мінералізації азотовмісних сполук вища, а активність мінералізації гумусових сполук – нижча за відповідні показники екстенсивного агрозему (Малиновська, 2007, 2008, 2011). Представлені дані підтверджують цю закономірність, показники інтенсивного агрозему перевищують показники екстенсивного агрозему: індекс педотрофності – на 15,2 %, коефіцієнт оліготрофності – на 200,0 %, коефіцієнт мінералізації азоту – на 108,3 %. І, навпаки, інтенсивність мінералізації гумусових сполук є вищою у екстенсивному агроземі на 12,9 % (табл. 4). Інтенсивний агрозем серед досліджених варіантів використання ґрунту характеризується максимальними величинами всіх вивчених коефіцієнтів та індексів, які описують спрямованість та інтенсивність мікробіологічних процесів. Виключенням є тільки активність мінералізації гумусових сполук, вона має максимальну величину в ґрунті екстенсивного варіанту. Отже, відсутність мінерального і органічного удобрення протягом 23 років призводить до суттєвої активізації процесів деградації гумусу в екстенсивному агроземі.

З зростанням тривалості перелогу істотно зменшується фітотоксичність ґрунту (Малиновська, 2007, 2008, 2011). На 23-му році перелогового стану фітотоксичність ґрунту багаторічного перелогу нижча за фітотоксичність ґрунту малорічного перелогу на 16,4 %, трьохрічного – на 6,92 % (табл. 4). Найбільш токсичним серед досліджених є ґрунт екстенсивного варіанту, фітотоксичність якого перевищує відповідний показник інтенсивного агрозему на 16,1 %. Отже, загальноприйняті уявлення про збільшення токсичності ґрунту внаслідок інтенсифікації технологій вирощування сільськогосподарських культур, зокрема, використання меліорантів, пестицидів, мінеральних добрив, повинні бути переглянуті з урахуванням того факту, що екстенсивне використання ґрунту призводить до більшого накопичення речовин із фітотоксичною дією, ніж інтенсивне. Дане твердження має обмеження, яке стосується виду рослини тест-об'єкту, можливо, із зміною виду рослини результати вивчення фітотоксичності ґрунту будуть дещо іншими.

Таким чином, перебування сірого лісового ґрунту у перелоговому стані призводить до покращення його властивостей, зокрема, зменшується фітотоксичність та інтенсивність мінералізації гумусових сполук, уповільнюється розкладання загальної органічної речовини ґрунту. Аналогічні процеси проходять у інтенсивному агроземі порівняно з екстенсивним агроземом.

ВИСНОВКИ

1. В результаті виведення ґрунту з сільськогосподарського використання в ньому суттєво уповільнюються процеси мінералізації загальної органічної речовини і гумусу, знижується фітотоксичність.

2. Із зростанням тривалості перелогу інтенсивність освоєння органічної речовини ґрунту зменшується на 65,3 і 43,4 %, активність мінералізації гумусу – на 17,8 і 83,5 % для 10- і 23-річного перелогів відповідно.

3. Активність мінералізації органічної речовини, азотовмісних сполук в інтенсивному агроземі вища за інтенсивність мінералізації цих сполук в екстенсивному агроземі, а інтенсивність розкладання гумусових сполук – нижча.

4. Із зростанням тривалості перелогу зменшується токсичність ґрунту: фітотоксичність ґрунту багаторічного перелогу нижча за показник малорічного перелогу на 16,4 %, трьохрічного – на 6,92 %. Фітотоксичність екстенсивного агрозему перевищує відповідний показник інтенсивного агрозему на 16,1 %.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- Демкина Т. С. Микробиологические процессы в почвах при различных уровнях интенсификации земледелия / Т. С. Демкина, Б. Н. Золотарева // Микробиологические процессы в почвах и урожайность сельскохозяйственных культур. – Вильнюс, 1986. – С. 101-103.
- Кожевин П. А. Определение состояния бактерий в грунте / П. А. Кожевин, Л. С. Кожевина, И. Н. Болотина // Доклады АН СССР. – 1987. – Т. 297, № 5. – С. 1247-1249.
- Малиновская И. М. Определение фосфатрастворяющей активности микроорганизмов на жидкой и агаризованных средах // Агроекологічний журнал. – 2002. – № 3. – С. 68-71.
- Малиновська І. М. Стан мікробіоценозів постпірогенної та фонові ділянок сірого лісового ґрунту / І. М. Малиновська, О. П. Сорока // Збірник наукових праць Інституту землеробства. – К. : Нора Прінт, 2008. – Вип. 3-4. – С. 46-51.
- Малиновська І. М. Стан мікробіоценозу малорічного перелогу за мінерального удобрення / І. М. Малиновська, О. П. Сорока // Збірник наукових праць Інституту землеробства. – К. : Ексмо, 2009. – Вип. 4. – С. 29-34.
- Малиновська І. М. Особливості мікробних комплексів сірого лісового ґрунту перелогів та агроценозів / І. М. Малиновська, О. О. Черниш, О. П. Романчук // Збірник наукових праць Інституту землеробства. – К. : Нора Прінт, 2007. – Вип. 2. – С. 29-34.
- Методы изучения почвенных микроорганизмов и их метаболитов / Под ред. Н. А. Красильникова. – М. : МГУ, 1966. – 162с.
- Методы почвенной микробиологии и биохимии / Под ред. Д. Г. Звягинцева. – М. : Изд-во МГУ, 1991. – 304 с.
- Мишустин Е. Н. Микроорганизмы и плодородие почвы. – М. : Изд-во АН СССР, 1956. – 247 с.
- Мишустин Е. Н. Успехи разработки принципов микробиологического диагностирования состояния почв / Е. Н. Мишустин, Е. В. Рунов // Успехи современной биологии. – М. : АН СССР, 1957. – Т. 44. – С. 256-267.
- Никитин Д. И. Процессы самоочищения окружающей среды и паразиты растений / Д. И. Никитин, В. С. Микитина. – М. : Наука, 1978. – 205 с.
- Малиновська І. М. Стан мікробіоценозу сірого лісового ґрунту за різноцільового використання / І. М. Малиновська, І. В. Домбровська // Вісник Київського національного університету. Сер. біолог. – 2011. – Вип. 57. – С. 21-25.
- Малиновська І. М. Особливості мікробного угруповання кореневої зони фітоценозів різного типу / І. М. Малиновська, С. П. Матіюк // Збірник наукових праць Інституту землеробства. – К. : ВД «Ексмо», 2010. – Вип. 4. – С. 63-70.
- Фурдичко О. І. Методи трансформації та консервації сільськогосподарських неугідь / О. І. Фурдичко, Р. Р. Возняк, Л. І. Моклячук та ін. // Агроекологічний журнал. – 2006. – № 1. – С. 7-14.
- Шерстобоева О. В. Биоиндикация экологического состояния почв / О. В. Шерстобоева, Я. В. Чабанюк, Л. И. Федак // Сільськогосподарська мікробіологія. – 2008. – Вип. 7. – С. 48-55.
- Юла В. М. Агротехніка вирощування пшениці ярої сорту Етюд / В. М. Юла, М. О. Дрозд, М. М. Прохоренко // Збірник наукових праць ННЦ «Інститут землеробства УААН». – К. : ВД «ЕКМО», 2008. – Вип. 3-4. – С. 67-72.
- Land quality indicators and their use in sustainable agriculture and rural development / FAO, UNDP, UNEP and World Bank, 1997. – P. 79-95.

Надійшла до редколегії 27.04.11