



# Землеробство, грунтознавство, агрохімія

УДК 631.431:632.125

© 2017

*В.В. Медведєв,*

*академік НААН,  
доктор  
біологічних наук*

*І.В. Пліско,*

*кандидат сільсько-  
господарських наук*

*Національний науковий  
центр «Інститут  
грунтознавства та агрохімії  
імені О.Н. Соколовського»*

## **КРИТЕРІЇ І НОРМАТИВИ ФІЗИЧНОЇ ДЕГРАДАЦІЇ ОРНИХ ҐРУНТІВ (ПРОПОЗИЦІЇ ДО ВДОСКОНАЛЕННЯ НОРМАТИВНОЇ БАЗИ)**

**Мета.** Уточнити критерії і нормативи фізичної деградації ґрунтів, розробити пропозиції до вдосконалення нормативної бази. **Методи.** Аналітичний, порівняльний, статистичний. **Результати.** Обґрунтовано концептуальні підходи до пошуку критеріїв фізичної деградації. На основі порівняльного тривалого вивчення цілинних (перелогових) і орних ґрунтів запропоновано критерії, які можуть бути використані для діагностики їх фізичної деградації. Здійснено огляд кількісних і якісних критеріїв фізичної деградації орних ґрунтів. На конкретних прикладах оцінено схильність ґрунтів до фізичної деградації та швидкість (інтенсивність) розвитку деградаційних процесів. Визначено діагностичні параметри і встановлено попередні нормативи фізичної деградації орних ґрунтів. **Висновки.** На основі власних досліджень і літературних даних внесено пропозиції (для обговорення і уточнення) щодо переліку показників і нормативів фізичної деградації орних ґрунтів.

**Ключові слова:** фізична деградація, орні ґрунти, критерії, параметри, нормативи.

Відповідно до закону Гука [1] ґрунт на механічне навантаження (деформацію) реагує по-різному. Якщо навантаження незначне, реакції ґрунту немає. Це так звана інертна фаза. Зі збільшенням навантаження реакція ґрунту стає помітною, він активно чинить опір навантаженню і досить швидко повертається до вихідного стану. Ця фаза

називається релаксацією. За подальшого збільшення навантаження в ґрунті відбуваються більш глибокі і тривалі в часі процеси. На цьому етапі (еластичність) властивість ґрунту чинити опір навантаженню вичерпується, проте все ж таки він здатний упродовж кількох років повернутися на вихідні позиції. Останній етап — пластичність.

Тіло ґрунту незворотно руйнується і фактично формується нове.

Реакція ґрунту на навантаження не залежить від його типу: за малих навантажень будь-який ґрунт утримує тиск, зі збільшенням якого ємність опору поступово зменшується і починаються незворотні зміни. Саме так ґрунт не лише деформується, а й осолонцюється, окиснюється, забруднюється.

Використовуючи закономірності деформації ґрунту під дією навантаження, легко визначити умови, за яких ґрунт зберігає стійкість або деградує. Умови виникнення деградації: навантаження перевищує стійкість. Умови стійкості: навантаження менше стійкості, а його норматив має бути меншим або дорівнювати еластичності.

Кількісні показники, які відповідають інертності, релаксації, еластичності і пластичності, можна визначити в спеціальних модельних (лабораторних або нативних) дослідках. Мета такого дослідку — знайти величину навантаження, за дії якого ґрунт незворотно змінюється. Усі рівні навантаження менше встановленого не спричиняють деградацію ґрунту. Більші, навпаки, йому сприятимуть. За зростаючого ущільнення ґрунту залежно від умов зволоження є певна величина тиску, після якої ґрунт розущільнюється повільно або зовсім не розущільнюється. Саме тому величина рівноважної щільності будови в староорному ґрунті збільшується, а підвищена щільність будови в плужній підшві зберігається впродовж десятків років [2].

**Мета досліджень** — уточнити критерії і нормативи фізичної деградації ґрунтів, розробити пропозиції до вдосконалення нормативної бази.

**Методи досліджень.** Порівняльний, аналітичний, польовий, модельний, статистично-математичний.

**Результати досліджень.** На основі порівняльного тривалого вивчення цілинних (перелогових) і орних ґрунтів запропоновано критерії, які можуть бути використані для діагностики їхньої фізичної деградації:

- поступова трансформація структурних одиниць і порового простору від ізотропної до анізотропної будови. У процесі тривалого впливу на ґрунт ґрунтообробних робочих

органів змінюється розмір, форма й поровий простір агрегатів. Якщо цілині найчастіше властива ізотропна (або близька до неї) будова, за якої властивості ґрунту майже не залежать від напрямку — вектора, то для ріллі характерна анізотропна будова, властивості якої змінюються залежно від обраного напрямку. Анізотропність будови зумовлена анізотропністю розмірів структурних грудочок;

- гальмування процесів агрегації, що супроводжується накопиченням брил, зменшенням умісту агрономічно корисної структури, погіршенням її водостійкості й механічної міцності. За тривалої оранки коефіцієнт структурності, розрахований за співвідношенням умісту агрегатів розміром від 10 до 0,25 мм до суми пиловатих і брилистих структур, знижується в 1,6–2,9 раза. На ріллі порівняно з цілиною знижується кількість агрегатів агрономічно корисного розміру та їх водостійкість. Характерним є різке зниження водостійкості агрегатів ріллі, причому на цьому тлі практично зникають водостійкі агрегати більші 3 мм. Очевидно, це є наслідком втрати органічної речовини і підвищення її рухомості. Швидкість механічного руйнування агрегатів цілини і ріллі неоднакова. За штучних умов струшування агрегатів на електричному ротаторі перші руйнувалися відносно рівномірно, і до кінця першої години спостережень їх розпад був дуже малий. Другі спочатку значно швидше руйнувалися, і їх розпад нерідко тривав впродовж усього періоду коливальних рухів. Зниження вмісту в орних ґрунтах гумусу і кальцію неминуче гальмує процеси агрегації;

- ущільнення будови, стійке зростання рівноважної щільності і виникнення консолідованих агрегатів зі зменшеними розмірами всередині агрегатних пор. Унаслідок перевищення стандарту припустимого тиску машинно-тракторних агрегатів на ґрунт і великої кількості їх проходів по полю рівноважна щільність будови в кореневмісному шарі орних чорноземів істотно вища порівняно з їхніми природними аналогами. Пластична деформація сприяє консолідованості агрегатів, тому зростає їх щільність і зменшується внутрішньоагрегатна пористість. У результаті погіршуються умови водно-мінерального живлення рослин. Унаслідок надмірного використання важких тракторів у весняний період,

піднасіннєвий прошарок має явну тенденцію до ущільнення, а плужна підшва вже є переущільненою на значних площах ріллі країни. За тривалої оранки твердість у плужній підшві може перевищити 35–40 кгс/см<sup>2</sup>, що істотно обмежує глибину кореневмісної зони;

- погіршення агрономічно важливих морфологічних ознак коренів, коренепроникності агрегатів, біопродуктивності рослин. У деградованих ґрунтах, що мають переущільнені прошарки в кореневмісному шарі, зменшується глибина проникнення кореневої системи, кількість, розгалуженість і коефіцієнт продуктивності коренів. Це зменшує адаптацію рослин до несприятливих умов, особливо до нестачі вологи в ґрунті;

- посилення неоднорідності ґрунтового покриву, що виявляється у формуванні специфічних горизонтальних (з ущільненням на краях полів і в знижених елементах рельєфу) і вертикальних (із формуванням плужної підшви, що поступово заглиблюється) профілів. Тривала оранка ґрунтів підсилює (порівняно із цілиною) часову і просторову неоднорідність ґрунтів. Тривале використання добрив на прикладі Великої Британії, де їх вносили протягом 150-ти років, не лише не усуває просторову неоднорідність поживного режиму в ґрунті, а й, навпаки, підсилює її. Природні релаксаційні процеси, як і процеси оглинення, лесиважу і опідзолення, також підсилюють неоднорідність будови ґрунту. Зростання неоднорідності орного ґрунту актуалізує проблему поширення точного землеробства;

- поява спадних і висхідних преференційних потоків вологи. Преференційні потоки вологи (або провальна фільтрація великими порами) формуються в староорному ґрунті за рахунок наявності в ньому брилих окремоностей і тріщин. Саме за рахунок брил і тріщин волога атмосферних опадів потрапляє вглиб профілю. Підтверджено експоненціальний зв'язок, тобто багаторазове наростання фільтрації, як тільки в ґрунті з'являється невелика кількість брил. Цілком обґрунтовано до преференційних можуть належати й висхідні потоки вологи, які спричиняють непродуктивні втрати продуктивної вологи в результаті процесів фізичного випаровування. Отже, під впливом тривалого механічного обробітку і майже неминучого знеструктурування ґрунту його водний режим

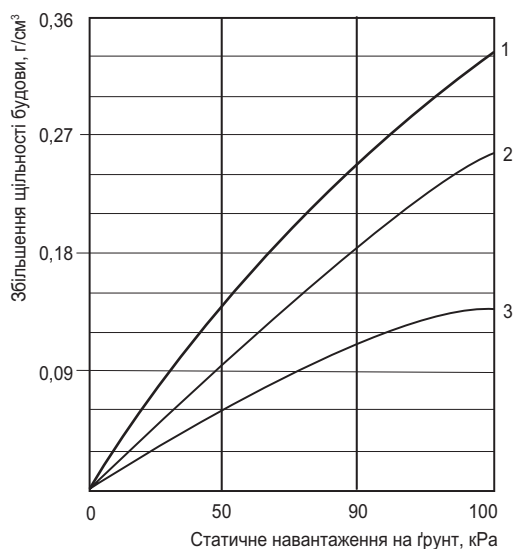
погіршується за рахунок спадних (за межі кореневмісного шару) і висхідних (унаслідок посилення випаровування) водних потоків;

- виражені релаксаційні процеси, що супроводжуються пульсаційною зміною властивостей і режимів у період від обробітку до формування квазірівноважного стану. На ціліні майже немає своєрідного пульсаційного процесу зміни основних компонентів будови, за якого в ґрунті одразу після обробітку різко збільшується повітроємність, зменшується частка твердої фази в одиниці об'єму, а потім унаслідок релаксаційних процесів відбувається відновлення рівноважної щільності до вищого рівня, ніж на ціліні. Результатом цього є такий самий пульсаційний характер усіх інших процесів, функціонально пов'язаних зі щільністю будови ґрунту. При цьому орний чорнозем помітно відрізняється фізичними параметрами від цілини.

Серед інших критеріїв, важливих для характеристики процесу деградації і деградованих ґрунтів, відзначимо такі.

*Оборотність і необоротність ґрунтів.* Оборотність — властивість ґрунту відновлювати характерні для нього модальні (найбільш імовірні для цих місцевих умов) параметри після усунення механічного або іншого навантаження. Є підстави думати, що староорний ґрунт втратив свою оборотність, оскільки нові параметри стали стійкими. Фактично такий ґрунт набув іншого морфологічного профілю, інших властивостей і режимів. Нові ознаки потрібно назвати квазістійкими, бо якщо орний ґрунт вивести з ріллі і ренатуралізувати на досить тривалий термін, його властивості відновлюються. Про це свідчать дослідження властивостей чорноземних ґрунтів, що перебували впродовж 20–25-ти років в умовах перелогу [3]. На користь цього свідчать спостереження за ґрунтом, який перебував протягом такого самого часу в умовах нульового обробітку. У такому ґрунті практично немає активних ерозійних виявів та інших ознак деградації. Тому так важливо, щоб староорні ґрунти, які набули явних ознак деградації і втратили господарську цінність, вивести з ріллі. Це буде надзвичайно важливим кроком до оздоровлення ґрунтів і навколишнього природного середовища.

*Схильність до фізичної деградації* (на прикладі ущільнення). Результати досліджень



**Схильність до ущільнення залежно від статичного навантаження чорнозему типового важкосуглинкового (1), південного легкосуглинкового (2) і дерново-підзолистого супіщаного ґрунту (3)**

зразків чорнозему типового важкосуглинкового, чорнозему південного легкосуглинкового і дерново-підзолистого супіщаного ґрунту не порушеної будови в умовах статичного навантаження від 0 до 100 кПа показано на рисунку.

Деформація досліджуваних ґрунтів описується експоненціальними залежностями. Однак, якщо в дерново-підзолистому ґрунті легкого гранулометричного складу спостерігається швидке вирівнювання кривої за незначного збільшення щільності, то в чорноземі типовому важкосуглинковому збільшення щільності не завершується і продовжується за подальшого наростання навантаження. Тобто, механічна стійкість ґрунту легкого гранулометричного складу істотно вища. Цей вид залежності показує, що чорнозем не здатний протистояти, навіть порівняно невеликому навантаженню. Відомий дослідник чорноземів І.А. Крупеніков зазначав, що в чорноземі зібрана єдність протилежностей — сила й беззахисність [4].

Залежності описуються такими рівняннями:

для чорнозему типового —  $\Delta P = 0,5926 (1 - e^{-0,0081u})$ ; чорнозему південного —  $\Delta P = 0,5924 (1 - e^{-0,0055u})$ ; дерново-підзолистого

ґрунту —  $\Delta P = 0,1958 (1 - e^{-0,0123u})$ , де  $u$  — параметр експоненціальної залежності при визначенні збільшення щільності будови ґрунтів;  $\Delta P$  — збільшення щільності будови, г/см³;  $\chi$  — статичне навантаження на ґрунт, кПа.

Параметр  $u$  визначається в такий спосіб:  $u = 105,56 - \sqrt{11142 - 111,11\chi}$  при  $\chi < 100$ ;  $u = \chi$  при  $\chi \geq 100$ .

У реальних умовах схильність ґрунту до деградації (на прикладі того самого ущільнення) може змінюватися залежно від великої кількості факторів — стану поверхні (свіжа оранка або рослинний покрив), вологості, способу і глибини попереднього обробітку, типу і маси машинно-тракторного агрегату. Більшість із цих факторів вивчено недостатньо, особливо в умовах тривалого впливу на ґрунт.

**Ризики вияву деградації.** Кількісні показники деградації, негативних природних виявів орних ґрунтів та поширення відповідних орних площ залучено з наших попередніх досліджень, досліджень інших авторів або розраховано на підставі дигіталізованих карт [5]. Площі можливих деградаційних виявів щодо динамічних показників (скажімо, ущільнення) розраховано на підставі їх визначень у рівноважному стані, брилистості і розпилення після передпосівного обробітку і сівби та основного плужного обробітку восени. Ризик нестачі продуктивної вологи визначається за агрокліматичними довідниками, питомого опору — за вимірами нормативних пунктів (табл. 1).

Упродовж наступного дослідницького періоду площі наведених у таблиці негативних явищ та їх географічна приуроченість будуть уточнені, що буде використано в регіоналізації протидеградаційних заходів.

**Швидкість (інтенсивність) розвитку деградації.** Інформації про швидкість розвитку фізичної деградації вкрай мало. Це пояснюється майже повною відсутністю тривалих спостережень за зміною орних ґрунтів під впливом землеробської діяльності.

За нашими спостереженнями, рівноважна щільність виявляє тенденцію до зростання. Ми визначили це, досліджуючи цілинний чорнозем південний заповідника «Асканія-Нова» (Херсонська область) і поруч розташовану ділянку того самого ґрунту, що розорюється понад 100 років. Виміри щільності у 6-разовому

**1. Площі поширення деградаційних явищ, їхнього ризику або негативних виявів властивостей орних ґрунтів України**

Показник деградації або ризик вияву негативної властивості ґрунту	Кількісна характеристика	Площа поширення	
		млн га	% від площі ріллі
Ризики:			
брилоутворення	>10% грудочок розміром >10 мм у посівному шарі	3,8	12,1
розпилення	>10% фракції <0,25 мм	14,1	44,1
абразії	Спрацювання лемешів плуга >70 г/га	6,9	21,6
переуцільнення	>1,25 г/см <sup>3</sup> у посівному шарі	17,3	54,1
диспергації ґрунту	>8% за фактором Качинського	5,8	18,1
нестачі продуктивної вологи навесні	< 20 мм у шарі 0–20 см	6,9	21,6
нестачі продуктивної вологи під час формування генеративних органів	<100 мм у шарі 0–100 см	21,3	66,6
Вірогідність відхилення вологості від фізичної стиглості	>22% і <13% у посівному шарі навесні	9,5	29,7
Зменшене число днів із вологістю оптимального кришення: навесні	<5	1,5	0,05
так само восени	<5	11,0	34,3
Надвисокий питомий опір за оранки	>0,6 кгс/см <sup>2</sup>	9,1	28,4
Зменшена кількість агрономічно корисних агрегатів	<50% агрегатів розміром 10–0,25 мм	14,1	44,1
Зменшена водостійкість агрегатів	<40% агрегатів розміром >0,25 мм	8,4	26,2
Занижена загальна рівноважна пористість	<50% в орному шарі	11,1	34,7

повторюванні зроблено в середині літа з інтервалом в 15 років —1967, 1982 і 1997 рр. Виявилось, що щільність на ціліні впродовж 30-ти років залишалася постійною.

На ріллі до глибини 60–80 см щільність вірогідно вища, причому розбіжності у верхньому шарі становлять 0,3 г/см<sup>3</sup>.

В орному шарі рівноважна щільність стала вищою, протягом кількох років, а в глибину вона поширювалася поступово зі швидкістю приблизно 0,6 см/рік. Ці дані потребують перевірки, що можливо лише за наявності ряду рівновіддалених спостережень, тобто за умови моніторингу фізичного стану ґрунтів. Ступінь

**2. Ступінь деградації за показниками структурності і щільності будови (на прикладі ґрунту середнього і важкого гранулометричного складу)**

Показник	Недеградований ґрунт	Ступінь деградації		
		слабкий	середній	сильний
Структурно-агрегатний склад:				
уміст повітряносухих агрегатів 10–0,25 мм, %	>70	60–70	40–60	<40
» водостійких агрегатів >0,25 мм, %	>45	35–45	25–35	<25
рівноважна щільність, г/см <sup>3</sup> :				
важкі ґрунти	<1,3	1,3–1,4	1,4–1,6	>1,6
легкі ґрунти	<1,3	1,3–1,5	1,5–1,6	>1,6

**3. Оцінювання ступеня фізичної деградації [6]**

Показник	Ступінь деградації				
	відсутній	слабкий	помірний	сильний	катастрофічний
Рівноважна щільність будови, збільшення*	< 10	10–20	21–30	31–40	> 40
Структурний склад (уміст повітряносухих агрегатів 0,25–10,0 мм в орному шарі), зменшення*	< 15	15–25	26–35	36–45	> 45
Агрегатний склад (уміст водостійких агрегатів > 0,25 мм), зменшення*	< 10	10–20	21–30	31–40	> 40

\* Стосовно вихідного рівня, %.

**4. Критерії, показники і попередні нормативи фізичної деградації орних ґрунтів**

Критерії	Показники	Попередні нормативи
Знеструктурення (для ґрунтів суглинкового легкоглинистого гранулометричного складу)	Фактор дисперсності <sup>1</sup>	8–10 і вище
	Брилистість:	
	за кількістю грудок >10 мм після оранки, %	30
	те саме після і перед сівбою, %	>10
	За кількістю агрономічно цінних агрегатів розміром 10–0,25 мм, %	<40
	За кількістю мікроагрегатів <0,25 мм (пилу) перед сівбою, %	>20
	За водостійкістю, %	<30
	За коефіцієнтом водостійкості <sup>2</sup>	<0,4
	За водопроникністю, мм/год <sup>3</sup>	<30
Переущільнення	За коефіцієнтом зниження водопроникності	>4,0
	Рівноважна щільність будови орного шару, г/см <sup>3</sup> для ґрунтів:	
	важких	1,4
	легких	1,7
	Щільність будови в плужній підшві для ґрунтів:	
	важких	1,4
	легких	1,7
	Щільність будови в піднасіньовому прошарку для ґрунтів:	
	важких	1,2
Мікроморфологічні	легких	1,5
	Коефіцієнт оформленості агрегатів <sup>4</sup>	<0,25
	Порядковість агрегатів	<3
	Співвідношення між- і внутрішньоагрегатних пор	>1,8
Індекс фізичного стану	Уміст у порах неагрегатованого матеріалу <sup>5</sup> , %	>30
	Коефіцієнт <sup>6</sup>	<0,7

<sup>1</sup> — розраховується за співвідношенням мулу за гранулометричним і мікроагрегатним аналізами; <sup>2</sup> — за співвідношенням структурних фракцій розміром >0,25 мм за мокрого і сухого просіювання; <sup>3</sup> — за середньою водопроникністю, визначеною впродовж не менше 6 год спостережень; <sup>4</sup> — за коефіцієнтом Уейделла-Кухаренко; <sup>5</sup> — визначено мікроморфологічним методом за розрізом зерен менше 50 мк; <sup>6</sup> — за геометричним середнім різниць між оптимальними і фактичними параметрами основних агрофізичних властивостей.



вияву деградації наведено в табл. 2 і 3.

Отже, кількісними критеріями фізичної деградації орних ґрунтів є: часткова втрата агрономічно корисної структури, водостійкості (кількість водостійких агрегатів на одиницю глини і гумусу в деградованому ґрунті значно менша, ніж на цілині) і механічної міцності; розпилення — гальмування процесів агрегації; зростання рівноважної щільності і твердості; скорочення потужності кореневмісного шару, погіршення коренепроникності; погіршення діяльності біоти. Якісними критеріями є: посилення вияву брилистості і кірки, плужна підшва; динаміка будови, властивостей

і режимів, контрастність і дефіцит водно-повітряного режиму; зміна співвідношення між внутрішньоагрегатних пор упродовж вегетаційного періоду; гетерогенізація і посилення анізотропності; виникнення специфічного горизонтального і вертикального профілів; домінування преференційних спадних і висхідних потоків вологи.

*Діагностичні параметри і попередні нормативи.* У табл. 4 наведено отримані з власних досліджень і літературних джерел попередні нормативи деградації орних ґрунтів [7–10]. Нормативи пропонуються для обговорення і подальшого уточнення.

## **Висновки**

Здійснено огляд кількісних і якісних критеріїв фізичної деградації орних ґрунтів. Серед кількісних: часткова втрата агрономічно корисної структури, водостійкості і механічної міцності, розпилення, зростання рівноважної щільності і твердості та ін. Серед якісних: посилення динамічності будови, властивостей і режимів, контрастність і дефіцит водно-повітряного режиму, гетерогенізація і посилення анізотропності, виникнення специфічного горизонтального та вертикального профілів, домінування преференційних спадних і висхідних потоків вологи.

Із використанням закономірностей деформації ґрунту під дією навантаження (інертність, релаксація, еластичність і пластичність) визначено умови, за яких ґрунт зберігає стійкість або деградує. Умови виникнення деградації: навантаження перевищує стійкість. Умови стійкості: навантаження менше стійкості, а його норматив має бути меншим або дорівнювати еластичності.

На основі власних досліджень і літературних даних внесено пропозиції (для обговорення та уточнення) щодо переліку показників і нормативів фізичної деградації орних ґрунтів.

## **Бібліографія**

1. Сергеев Е.М. Ґрунтоведение/Е.М. Сергеев. — Изд. 4-е, перераб. — М.: МГУ, 1973. — 387 с.
2. Scharatt D.C. Amelioration of soil compaction by freeing and thawing/D.C. Scharatt et al./Proc. of Int. Sym. Fairlaks Hanover. — 1997. — № 10. — P. 182–188.
3. Медведєв В.В. Структура почви (методи, генезис, класифікація, еволюція, географія, моніторинг, охорона)/В.В. Медведєв. — Х.: 13 типографія, 2008. — 406 с.
4. Крупеников И.А. Чернозем — наше богатство/И.А. Крупеников. — Кишинев: Карта Молдовеняскэ, 1978. — 106 с.
5. База даних «Свойства почв Украины». Структура и порядок использования/Т.Н. Лактионова, В.В. Медведєв, К.В. Савченко и др. — 2-е. изд. — Х.: ЦТ № 1, 2012. — 150 с.
6. Охорона ґрунтів. Деградація ґрунтів. Оцінювання хімічної та фізичної деградації ґрунтів. ДСТУ

7872:2015. — [Чинний від 2016-07-01]. — К.: ДП «УкрНДНЦ», 2016. — 5 с. — (Національний стандарт України).

7. Шеин Е.В. Курс физики почв: учебник/Е.В. Шеин. — М.: МГУ, 2005. — 432 с.

8. Долгов С.И. Шкала для оценки готовности почв к посеву по ее структурному состоянию/С.И. Долгов, П.У. Бахтин//Агрофизические методы исследования почв. — М.: Наука, 1966. — С. 67.

9. Кузнецова И.В. О некоторых критериях оценки физических свойств почв/И.В. Кузнецова//Почвоведение. — 1979. — № 3. — С. 81–88.

10. Николаева С.А. Деградационные направления трансформации черноземов степной зоны при орошении/С.А. Николаева, Т.А. Плотнокова//Деградация и охрана почв. — М.: Наука, 2002. — С. 513–550.

*Надійшла 23.01.2017.*