

ЗВ'ЯЗОК ВЛАСТИВОСТЕЙ ҐРУНТІВ З ЇХ ЕРОДОВАНІСТЮ

А.О. Зубов¹, О.Р. Зубов²

¹ Інститут агроєкології і природокористування НААН

² Український науково-дослідний інститут лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г.М. Висоцького

Проаналізовано вплив різних чинників та властивостей ґрунтів на їх еродованість. Представлено методику побудови багатofакторних математичних моделей з використанням апарату програми Excel. Розроблено мультиплікативну модель еродованості орних земель, провідним чинником якої є їх відносна за площею частина, розташована на ухилах понад 1°. Визначено, що частка впливу вказаного чинника становить 50% від усіх можливих. Іншими чинниками, що впливають на еродованість, є частка ґрунтів з солонцюватим комплексом; кам'янистих; сумарна частка ґрунтів середньо-, легкосуглинкових та супіщаних; частка важкосуглинкових ґрунтів. Сумарний вплив досліджених чинників на еродованість становить 80%. Ступінь розораності угідь впливає на еродованість орних земель опосередковано — лише за збільшення її частини на схилах крутизною понад 1°. Запропоновано методику перевірки вихідних даних та якості отриманої за ними моделі. Встановлено, що для прогнозування просторового розподілу еродованості орних земель певної території необхідно враховувати, зокрема, такі чинники або їх групи, як-от: частина схилів земель у складі орних земель, ознаки засолення та солонцюватості, показники механічного складу та кам'янистості ґрунтів. Інструментом оцінки сумарної ролі цих або інших чинників є розрахунок математичних моделей еродованості з використанням програми Faktor або Excel за методикою, наведеною у статті.

Ключові слова: деградація, ґрунти, ерозія, орні землі, крутизна схилів, математична модель.

Еродованість ґрунтів, тобто ступінь втрати певної частини їх гумусового або й перехідних горизонтів, є найвагомим чинником зниження продуктивності сільськогосподарських угідь. Сумарні щорічні економічні збитки від ерозії в Україні за В.Ф. Сайко [1] становлять 12,76 млрд грн, до того ж площа еродованих ґрунтів щорічно збільшується на 80 тис. га.

Відомо, що на слабо-, середньо- та сильноеродованих схилівих землях Степу пшениця озима демонструє нижчу врожайність на 10, 25 та 40%; ячмінь — на 12–15, 30–36 та 50%; соняшник — на 22, 42 та 65%; кукурудза (зерно) — на 25, 48 та 68%, а багаторічні трави лише на 3, 10 та 12% відповідно [2]. Тобто розміщення сільськогосподарських культур з урахуванням ступеня еродованості ґрунтів є найпростішим засобом запобігання зниженню їх урожайності. Еродовані ґрунти мають

погіршені водно-фізичні властивості, тому стік талих і дощових вод з них збільшується, що призводить до значних, у масштабах країни, втрат вологи опадів, які могли б забезпечити формування 16 млн т зерна [1]. Тому знання закономірностей просторового розподілу еродованих ґрунтів є доволі важливим. Так, еродованість є одним з критеріїв розподілу угідь за еколого-технологічними групами під час впровадження ґрунтозахисної контурно-меліоративної системи землекористування [3].

Масштабам посилення різних видів деградації ґрунту, встановленню рівня заподіяної шкоди від ерозійних процесів, аналізу порушення ними збалансованості землеробства присвячено праці В.Ф. Камінського, І.П. Шевченка, Л.П. Коломієць [4], а також дослідження науковців низки установ України за ред. С.А. Балюка та Л.Л. Тованянського [5]. Класифікацію еродованих земель та детальний опис чинників ерозії, різні види деградації ґрунтів та їх поширен-

ня в Україні розглянуто у низці наукових праць [6–8]. Були досліджені просторові особливості яружної деградації в Луганській обл. [9]. Картографування ерозійних процесів та діагностики деградованих ґрунтів з використанням ГІС-технологій також було завданням багатьох досліджень [3, 10–12].

Поряд із тим слід зауважити, що порівняльну роль чинників, які визначають безпосередньо результат ерозії — еродовані ґрунти, зокрема в Донбаському регіоні, розкрито ще не всебічно.

Мета роботи — проаналізувати вплив різних чинників та властивостей ґрунтів на їх еродованість.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження проводили за даними Луганського обласного управління земельних ресурсів для різних районів області. Основними методами досліджень були математико-статистичний та кореляційно-регресійний аналізи [13], інструментом розрахунків — програма Excel та алгоритм програми Faktor, розробленої в колишньому Інституті охорони ґрунтів УААН (м. Луганськ) Ф.Д. Зеленським та В.П. Голубцовим.

Так, Луганська обл. характеризується найвищою в Україні еродованістю орних земель — 66,5%. Територія області вирізняється і значним різноманіттям ґрунтів, що обумовлено особливостями рельєфу, клімату, ґрунтоутворювальних порід. Згідно із районуванням України [14], область належить до підзони чорноземів звичайних Північного Степу у межах Донецької та Закарпатської провінцій. Серед різноманіття ґрунтів здебільшого переважають, по-перше, чорноземи звичайні мало- і середньогумусні потужні; середньо- та малогумусні і малогумусні малопотужні на лесових породах; по-друге, чорноземи та дернові ґрунти щербенясті на елювії щільних порід — піщаники і сланці та карбонатні породи — мергелі, крейда, вапняки. На головному плато Донецького кряжа поширеними є чорноземи потужні вилугувані та звичайні перехідні до потужних, на лесоподібних по-

родах важко-, середньо- і легкосуглинкові. На схилах кряжа переважають чорноземи на елювії щільних порід. Гранулометричний склад ґрунтів на елювії пісковиків — легко- і середньоглинистий; на елювії сланців — важко- та легкоглинистий [15]. Значно поширеними є галогенні ґрунти. У річкових долинах залягають гідро- та галоморфні ґрунти. Ґрунтовий покрив борових терас утворюють дернові ґрунти на стародавніх піщаних відкладеннях.

У рельєфі Луганської обл. переважають схилі землі. Тільки від 15,1 до 40,1% орних земель за різними районами мають крутизну до 1°.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Для досягнення поставленої мети здійснено аналіз еродованості орних земель Луганської обл. та впливу на її прояв розораності угідь, деяких геоморфологічних чинників (частка орних земель на схилах крутизною понад 1–3°), механічного складу ґрунтів (частка важко-, середньо- і легкоглинистих, важко-, середньо- і легкосуглинкових, супіщаних, піщаних ґрунтів; засолених, солонцюватих, із солонцюватим комплексом, кам'янистих) (табл. 1).

Спочатку було здійснено стандартну статистичну обробку рядів даних згідно з методикою, викладеною у відповідному посібнику [13]. Для кожного із чинників розраховано прості статистичні показники: середню арифметичну $X_{cp} = (\sum X_i)/n$, (де $\sum X_i$ — сума усіх $n = 18$ значень величини, що вивчається); дисперсію $S^2 = [\sum (X_i - X_{cp})^2]/(n - 1)$; стандартне (середнє квадратичне) відхилення $S = \sqrt{S^2}$; коефіцієнт варіації $V = 100 \cdot S/X_{cp}$ (%). Ці дані є необхідними для подальших розрахунків.

Візуальна оцінка рядів засвідчила наявність даних, які помітно відрізняються від інших. Щоб з'ясувати правомірність їх використання, перевірено однорідність даних за критерієм Стьюдента [13]. Критерій розраховано за формулою: $t_{\phi} = (X_{екстр} - X_{cp})/S$, де $X_{екстр}$ — максимальне або мінімальне значення, що перевіряється на необхідність видалення. Теоретичне значення критерію t_{τ} визначили за табл. 1.

Таблиця 1

Характеристика угід та ґрунтів Луганської обл. (%)

Район	Характеристика угід			Заселені ґрунти			Кам'янисті			Механічний склад ґрунтів						
	Продованість	Орні землі на схилах понад:		сильно-, середньо-, солонцюват., з солонцюватим комплексом	6	7	8	9	Глинисті		Суглинкові			Супщані	Зв'язано-пщані	Пщані
		1°	2°						3°	важко-, середньо-,	легко-	важко-,	середньо-,			
У	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Антрацитівський	60,3	73,9	37,5	9,4	2,24	0,42	0,05	4,58	1,14	57,4	34,1	6,24	1,11			
Біловодський	79,5	81,7	54,9	19,7	2,46	3,30	0,84	0,11	83,8	13,6	1,82	0,52	0,2			
Білоукраїнський	72,3	68,5	79,7	62,0	3,76	2,80	1,08	0,014	3,26	51,5	38,1	4,2	2,13	0,86		
Краснодонський	76,6	70,7	77,8	42,8	2,07	1,72	1,78	9,32*	1,55	34,4	48,1	12,8	2,65	0,37	0,19	
Кремінський	52,9	76,6	67,5	35,8	16,1	2,66	2,19	0,22	0,09	15,9	71,9	7,28	2,17	2,31		0,40
Лутугинський	83,8	69,7	84,6	52,5	11,8	2,55	2,70	11,48*	0,01	21,0	55,9	19,6	2,68	0,83		
Марківський	76,7	69,2	80,0	49,4	18,2	2,20	3,32	1,02	0,393	0,53	71,2	23,1	3,43	1,37	0,36	
Міловський	77,0	74,3	78,4	47,0	19,5	4,81	7,03	2,23	0,05	72,4	22,1	3,74	1,45	0,24		
Новоайдарський	66,4	71,6	64,1	30,7	9,7	2,63	1,71	0,08	0,175	0,07	39,9	47,0	6,71	3,34	2,96	0,06
Новопсковський	66,2	74,7	70,6	39,5	16,8	1,35	4,28	0,33	0,012	0,53	56,6	35,5	5,31	1,3	0,69	0,10
Перевальський	63,5	67,0	84,9	54,0	19,9	2,35	2,22	0,11	4,43	0,01	20,7	51,3	25,5*	2,6		
Попаснянський	76,8	64,7	76,8	41,8	13,6	5,15	6,69	0,63	1,37	1,23	40,9	33,2	18,0	4,25	2,34	
Сватівський	59,6	75,0	74,3	45,1	20,5	2,76	2,84	0,15	0,16	50,1	46,7	2,04	0,64	0,45	0,01	
Свердловський	53,7	76,4	59,9	22,5	4,7	1,67	1,39	0,51	1,51	17,6	56,0	21,9	4,34	0,24		
Слов'яносербський	68,2	76,7	72,5	34,4	8,4	12,22*	6,11	0,59	3,45	0,55	37,1	48,3	9,87	2,5	1,44	0,06
Ст.-Луганський	65,3	73,1	66,1	32,4	9,8	4,46	2,78	0,17	0,667	0,38	55,5	35,7	4,32	1,51	2,27	0,29
Старобільський	62,7	78,8	66,8	32,6	11,4	1,05	3,70	0,33	0,96	27,9	67,1	2,36	0,78	0,85	0,02	
Троїцький	67,2	72,7	72,8	46,9	23,4	1,50	1,69	0,38	0,014	5,33	74,8	16,6	2,12	0,78	0,29	

Примітка: * видалені за t-критерієм дані.

при $n - 1$ ступенях вільності та рівні значущості 5%.

Розрахунок деяких із рядів засвідчив справедливість нульової гіпотези (H_0), тобто однорідність ряду даних змінної Y , рядів незалежних змінних № 1–4, 6, 8, 10, 11 (табл. 1, 2).

Видалення даних, з одного боку, є формальною необхідною дією, а з іншого, — знижує можливість дослідника з виявлення певних закономірностей, оскільки відмінність чинників часто зумовлено не помилкою вимірювань або природним варіюванням величини зразків, наприклад, рослинних — під час облікування врожайності, а якимись прихованими чинниками, які доцільно виявити.

Сумнівні (за t -критерієм) дані були перевірені методом спрямлених діаграм [13]. Це дало змогу зберегти деякі з них, а деякі видалити (табл. 1).

Виявлення залежності еродованості від досліджуваних чинників виконано за допомогою кореляційно-регресійного аналізу. Спочатку була перевірена кореляція еродованості з усіма чинниками. Для цього

в Excel отримували лінії тренду кожної залежності, їх рівняння та коефіцієнти детермінації R^2 , визначали коефіцієнти кореляції r як $\sqrt{R^2}$ (табл. 3). Знак мінус при r у залежностях Y від чинників № 1, 8, 11, 14 свідчить про зворотний зв'язок еродованості орних земель з ними.

Оскільки чинники часто бувають взаємозв'язаними, за видимим впливом одного з них насправді може стояти прихований вплив іншого, тому важливою є перевірка взаємної кореляції між самими чинниками.

За коефіцієнтом кореляції r оцінено ступінь щільності зв'язку вибіркової сукупності (Y з X_j). Якщо $r \leq 0,3$, зв'язок слабкий; при $0,3 < r \leq 0,7$ — середній, а якщо $r > 0,7$ — сильний [13]. Квадрат r — коефіцієнт детермінації R^2 — засвідчує відносну частку впливу кожного із чинників X_j на залежну змінну Y .

Порівняння даних першої стрічки (Y , табл. 3) засвідчило, що найщільніший зв'язок еродованість має з часткою орних земель на схилах крутизною понад 1° , ($R^2 = 0,50$). Частка орних земель на схи-

Таблиця 2

Перевірка однорідності даних за t -критерієм Стьюдента

Показники	Чинники, що перевіряються, зміна показників та n за етапами розрахунку						
	У	1 — розораність	8 — кам'янистість			5 — засоленість	
	$n = 18$	$n = 18$	$n = 18$	$n = 17$	$n = 16$	$n = 18$	$n = 17$
$X_{\text{ср.}}$	68,26	72,02	2,88	2,16	1,51	3,22	2,69
S	8,85	4,10	3,75	2,83	1,79	2,53	1,19
X_n (max)	83,8	78,8	11,48	9,32	4,58	12,22	4,81
Критерій Стьюдента							
t_ϕ	1,76	1,65	2,3	2,53	1,71	3,56	1,78
t_T	2,11	2,11	2,11	2,12	2,13	2,11	2,12
Висновок (вид гіпотези)	H_0	H_0	H_1	H_1	H_0	H_1	H_0
X_1 (min)	52,9	64,7	0	64,7	59,9	1,05	1,05
Критерій Стьюдента							
t_ϕ	-1,74	-1,79	-0,55	-0,54	-0,84	-0,86	-0,86
t_T	2,11	2,11	2,11	2,12	2,13	2,11	2,12
Висновок (вид гіпотези)	H_0	H_0	H_0	H_0	H_0	H_0	H_0

Таблиця 3

Зміна коефіцієнтів детермінації (чисельник) та кореляції (знаменник) за етапами розрахунку

		Залежні змінні та номери незалежних*														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
У	0,18 -0,42	0,50 0,71	0,30 0,55	0,12 0,35	0,11 0,33	0,17 0,41	0,38 0,61	0,08 -0,28	0,000	0,06 0,24	0,09 -0,30	0,06 0,24	0,06 0,24	0,12 0,35	0,144 -0,38	0,17 0,41
K ₁					0,072 0,27	0,164 0,4	0,27 0,52	0,22 -0,47	0,001 0,03	0,13 0,36	0,10 -0,31	0,19 0,43	0,19 0,43	0,08 0,28	0,006 0,08	0,18 0,42
K ₂					0,031 0,18	0,016 0,13		0,074 -0,27	0,004 -0,06	0,02 0,15	0,03 -0,16	0,07 0,26	0,07 0,26	0,09 0,31	0,189 0,43	0,18 0,42
K ₃					0,001 0,02	0,002 0,04		0,086 0,29	0,000	0,23 0,48	0,12 -0,35	0,04 -0,19	0,04 -0,19	0,001 0,032	0,034 0,18	
K ₄					0,000	0,000			0,003 -0,06	0,19 0,44	0,13 0,35	0,01 -0,09	0,01 -0,09	0,001 0,032	0,062 0,25	

Примітка: * легенда до таблиці:

		Умовні номери та назви чинників														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	розораність угідь:						6		солонцюваті			11				важкосуглинкові
2	на схилах >1°						7		із солонцюватим комплексом			12				середньосуглинкові
3	на схилах >2°						8		кам'яністі			13				легкосуглинкові
4	на схилах >3°						9		важко- і середньоглинністі			14				супіщані ґрунти
5	засолені ґрунти						10		легкоглинністі			15				сума X ₁₂ – X ₁₄

лах $>2^\circ$ і $>3^\circ$ має менший вплив на рівень еродованості ($R^2 = 0,30$ і $0,12$).

Так, зростання розораності має зворотний вплив на еродованість ($r = -0,42$) (табл. 3, рис. 1-а). Це обумовлено зворотним зв'язком розораності та важливих чинників, що напряму впливають на еродованість, як-от часткою схилових земель крутизною понад $1-3^\circ$ (рис. 1-б). Тобто збільшення ступеня розораності сільськогосподарських угідь за районами, загалом, не супроводжується збільшенням частки схилових земель крутизною понад $1-3^\circ$ у складі орних земель. Але на їх еродованість та деградацію, безперечно, розорювання впливає.

У деяких районах – в інтервалі розораності $65-70\%$ – зв'язок еродованості з указаним чинником має пряму залежність, і це є наслідком більшого розорювання схилових земель та дії інших чинників (рис. 1-б). Для їх виявлення необхідно розробити багатофакторну математичну модель еродованості.

Оскільки програмою Excel не передбачено автоматичну побудову таких моделей, нами запропоновано сумісне використання Excel та алгоритму зручної програми Faktor. В основі алгоритму останньої лежить метод послідовного видалення значущих чинників (метод Брандона) [16].

Послідовність розрахунку наведено в табл. 4, що є аналогом таблиці, яку необхідно сформулювати в Excel. Згідно з даними остан-

ньої, обравши найвагомійший чинник, визначаємо вид залежності еродованості U від нього (рис. 2-а). У нашому дослідженні – це орні землі на схилах понад 1° (табл. 3), позначаємо його як X_1 (колонка 3, табл. 4).

Рівняння залежності $Y\%$ від X_1 має вигляд: $Y = f_1(X_1) = 0,873X_1 + 3,6$ (рис. 2-а). За ним розраховано теоретичні значення Y_i від $X_{1i} - Y_{p1i}$ (колонка 4).

Результатом ділення значень Y_i на Y_{p1i} є ряд безрозмірних значень коефіцієнта $K_{ф/р1i}$ (колонка 6), що демонструє, якою мірою у кожному районі, з властивим йому набором інших ознак ґрунтового покриву, розрахункове значення Y_i , тобто Y_{p1i} , відрізняється від фактичного значення еродованості Y_i .

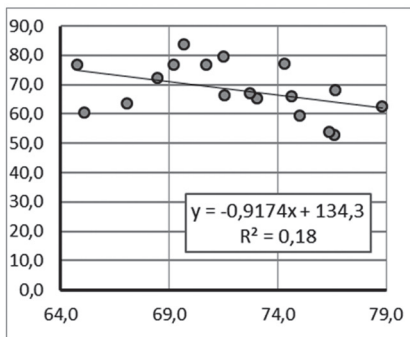
Потім виконується розрахунок парних залежностей – наразі значень $K_{ф/р1i}$ від усіх чинників, окрім X_1 ; обирається найвпливовіший (умовно X_2).

Таким виявився чинник № 7 – частка ґрунтів з солонцюватим комплексом (табл. 3).

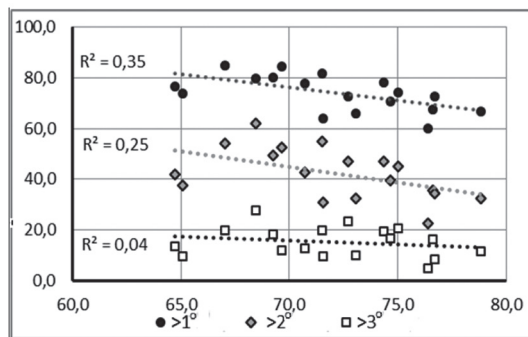
Графік залежності $K_{ф/р1i}$ від X_2 наведено на рис. 2-б, за яким рівняння залежності має вигляд: $K_{ф/р1i} = f_2(X_2) = 1,041X_2^{0,0457}$.

За цим рівнянням для кожного із значень чинника X_2 визначаються розрахункові (теоретичні) значення коефіцієнта $K_{ф/р1}$, позначені як Y_{p2} (колонка 7):

$Y_{p2i} = 1,041X_{2i}^{0,0457}$. Визначаються коефіцієнти $K_{ф/р2i} = K_{ф/р1i}/Y_{p2i}$ (колонка 9).



а



б

Рис. 1. Зв'язок еродованості земель районів Луганської обл. (%) з розораністю угідь (а); частка орних земель на схилах крутизною $>1-3^\circ$ з розораністю угідь (б)

Таблиця 4

Порядок розрахунку багатфакторної математичної моделі еродованості орних земель в програмі Excel

Пор. № району	Розрахункові чинники, проміжні та фінальні результати розрахунку																			
	Еродованість ґрунтів (V)	X ₁ – орні землі на схилах > 1°	Y ^p ₁ = 0,873X ₁ + 3,6	X ₂ – із солонч. комплексом	K ^{ф/p} ₁ = Y/Y ^p ₁	Y ^p ₂ = 1,041K ₂ ^{0,457}	X ₃ – сума трьох часток середньо-, легкоуглинистих та суглинних ґрунтів	K ^{ф/p} ₂ = K ^{ф/p} ₁ /Y ^p ₂	Y ^p ₃ = 0,911K ₃ ^{0,474}	X ₄ – кам'яністі ґрунти	K ^{ф/p} ₃ = K ^{ф/p} ₂ /Y ^p ₃	Y ^p ₄ = 1,016-0,0167X ₄	X ₅ – важкосуглинисті	K ^{ф/p} ₄ = K ^{ф/p} ₃ /Y ^p ₄	Y ^p ₅ = 1,060-0,00015X ₅	Y ^{pe3} ₁ = Y ^p ₁	Y ^{pe3} ₂ = Y ^{pe3} ₁ ·Y ^p ₂	Y ^{pe3} ₃ = Y ^{pe3} ₂ ·Y ^p ₃	Y ^{pe3} ₄ = Y ^{pe3} ₃ ·Y ^p ₄	Y ^{pe3} ₅ = Y ^{pe3} ₄ ·Y ^p ₅
1	60,3	73,9	68,2	0,05	0,885	0,907	69,1	0,42	1,002	4,575	0,974	0,940	34,1	1,04	1,009	68,2	61,9	62,0	58,2	58,8
2	79,5	81,7	74,9	0,84	1,061	1,032	75,9	3,30	0,952	0,001	1,079	1,016	13,6	1,06	1,040	74,9	77,3	73,6	74,8	77,8
3	72,3	79,7	73,3	1,08	0,986	1,044	74,3	2,80	1,001	0,014	0,943	1,016	38,1	0,93	1,003	73,3	76,5	76,6	77,8	78,1
4	76,6	77,8	71,6	1,78	1,071	1,069	72,7	1,72	1,039	0,001	0,965	1,016	48,1	0,95	0,988	71,6	76,5	79,5	80,8	79,9
5	52,9	67,5	62,6	0,22	0,845	0,972	63,6	2,19	1,024	0,001	0,85	1,016	71,9	0,84	0,953	62,6	60,8	62,3	63,3	60,3
6	83,8	84,6	77,5	0,54	1,082	1,012	78,5	2,70	1,058	0,001	1,011	1,016	55,9	1,00	0,977	77,5	78,4	83,0	84,3	82,3
7	76,7	80,0	73,5	1,02	1,044	1,042	74,5	3,32	0,985	0,390	1,017	1,010	23,1	1,01	1,026	73,5	76,6	75,4	76,2	78,1
8	77,0	78,4	72,0	2,23	1,069	1,079	73,1	7,03	0,987	0,001	1,003	1,016	22,1	0,99	1,027	72,0	77,7	76,7	77,9	80,0
9	66,4	64,1	59,6	0,08	1,114	0,926	60,5	1,71	1,029	0,175	1,169	1,013	47,0	1,15	0,990	59,6	55,2	56,8	57,5	57,0
10	66,2	70,6	65,2	0,33	1,015	0,989	66,2	4,28	1,001	0,012	1,026	1,016	35,5	1,01	1,007	65,2	64,5	64,5	65,6	66,0
11	63,5	84,9	77,8	0,11	0,816	0,939	78,7	2,22	0,954	4,430	0,911	0,942	51,3	0,97	0,984	77,8	73,1	69,7	65,7	64,6
12	76,8	76,8	70,6	0,63	1,087	1,019	71,6	6,69	1,061	1,374	1,006	0,993	33,2	1,01	1,011	70,6	71,9	76,3	75,8	76,6
13	59,6	74,3	68,5	0,15	0,869	0,953	69,5	2,84	0,962	0,001	0,947	1,016	46,7	0,93	0,990	68,5	65,3	62,8	63,8	63,2
14	53,7	59,9	55,9	0,51	0,962	1,009	56,9	1,39	0,979	1,514	0,973	0,991	21,9	0,98	1,028	55,9	56,4	55,2	54,7	56,2
15	68,2	72,5	66,9	0,59	1,019	1,015	67,9	6,11	1,032	3,453	0,973	0,958	48,3	1,02	0,988	66,9	67,9	70,1	67,2	66,4
16	65,3	66,1	61,3	0,17	1,066	0,958	62,3	2,78	1,006	0,667	1,105	1,005	35,7	1,10	1,007	61,3	58,7	59,1	59,4	59,8
17	62,7	66,8	62	0,33	1,011	0,989	63,0	3,70	0,973	0,001	1,05	1,016	67,1	1,03	0,960	62	61,3	59,7	60,6	58,2
18	67,2	72,8	67,2	0,38	1,000	0,995	68,2	1,69	0,963	0,014	1,044	1,016	16,6	1,03	1,035	68,2	61,9	62,0	58,2	67,7

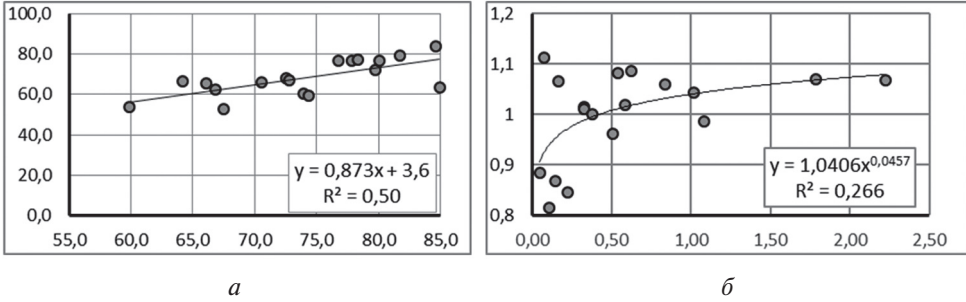


Рис. 2. Графіки залежності чинника $У$ від частки орних земель на схилах $>1^\circ$ (а) та коефіцієнта $K_{\phi/p1}$ (б) від чинника X_1

Далі виконується розрахунок парних залежностей – наразі коефіцієнта $K_{\phi/p2}$ від усіх чинників, крім X_1 та X_2 . Результатом є графік (рис. 3-а) та рівняння залежності $K_{\phi/p2}$ від третього за ступенем впливу чинника X_3 (сума часток середньо- і легкосуглинкових та супіщаних ґрунтів: $K_{\phi/p2} = f_3(X_{3i}) = 0,911X_3^{0,0474}$).

Потім розраховуються значення $У_p3$ (колонка 10). Аналогічно розраховуються рівняння та значення $У_p4_i$ як функції від чинника X_4 (частка кам'янистих ґрунтів): $У_p4_i = f_4(X_4) = 1,016 - 0,0167X_4$ (рис. 3-б) та значення $У_p5_i$ як функції від чинника X_5 (частка важкосуглинкових ґрунтів): $У_p5_i = f_5(X_5) = 1,06 - 0,0015X_5$ (рис. 4).

Перемножуючи рівняння $f_1(X_1), f_2(X_2), f_3(X_3), f_4(X_4), f_5(X_5)$, отримуємо мультиплікативну 5-факторну модель: $У_{PE3} = f_1(X_1) \cdot f_2(X_2) \cdot f_3(X_3) \cdot f_4(X_4) \cdot f_5(X_5)$, або: $У_{PE3} = (0,873X_1 + 3,6) \times (1,041X_2^{0,0457}) \times (0,911X_3^{0,0474}) \times (1,016 - 0,0167X_4) \times (1,06 - 0,0015X_5)$.

А перемножуючи послідовно значення $У_p1_i, У_p2_i, У_p3_i, У_p4_i, У_p5_i$, отримуємо результуючі (прогнозні) значення $У_{PE31}, У_{PE32}, У_{PE33}, У_{PE34}, У_{PE35}$ відповідно за 1-, 2-, 3-, 4-, та 5-факторними моделями еродованості ґрунтів.

За значеннями $У_{PE31} - У_{PE35}$ побудовано графіки відповідності прогнозних значень до фактичної еродованості орних земель (рис. 5), з яких видно, як поступово їх лінії наближаються до прямої лінії виду $У_{PE3} = a + bUx$, де $a = 1, b = 0$ ($r = 1$).

Для наочності вигляд отриманих рівнянь $У_{PE31} - 5$ та зміну показників достовірності апроксимації R^2 і r зведено у табл. 5. Так, з ускладненням моделі змінюються показники лінійного рівняння відповідності: кутовий коефіцієнт a при $У$ поступово наближається до теоретичного (при $r = 1$) значення $a = 1$, вільний член рівняння b – до нуля, а коефіцієнти R_2 і r послідовно збільшуються з 0,50 та 0,70 до 0,80 та 0,90 відповідно.

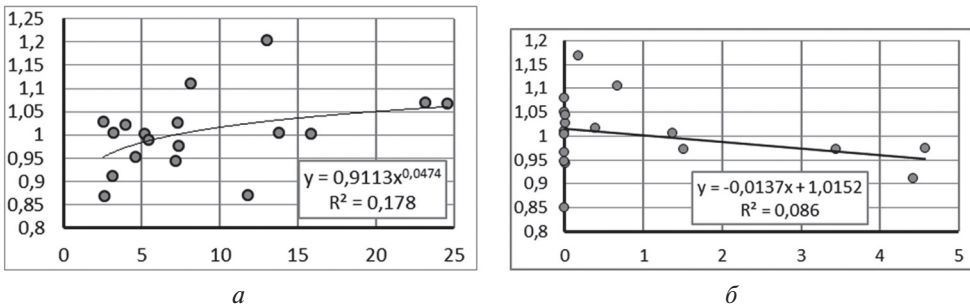


Рис. 3. Графіки залежності коефіцієнта $K_{\phi/p2}$ від чинника X_3 (а) та коефіцієнта $K_{\phi/p3}$ від чинника X_4 (б)

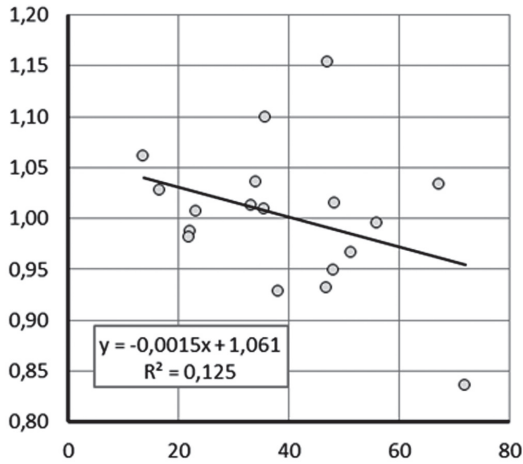


Рис. 4. Графік залежності $K_{ф/p}^4$ від чинника X_5

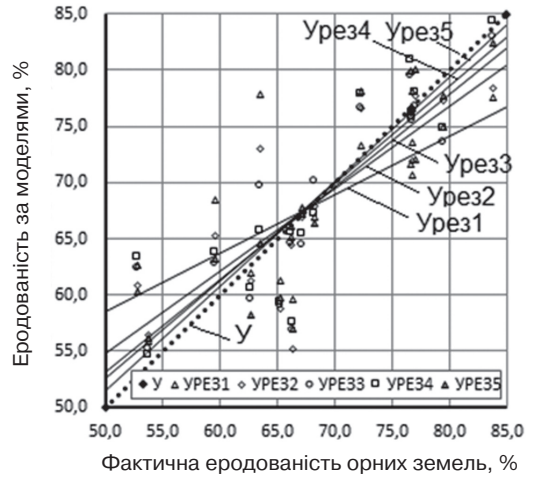


Рис. 5. Відповідність прогнозованої еродованості орних земель ($Y_{РЕЗ1-5}$) фактичній (Y)

Таблиця 5

Рівняння відповідності значень прогнозованої еродованості орних земель фактичним з урахуванням різної кількості чинників

Кількість чинників у моделі	Показники достовірності апроксимації за порядком нарощування кількості чинників у моделі				
	Рівняння регресії	R^2	r	S/σ	Якість моделі
1	$Y_{РЕЗ1} = 0,496U + 34,4$	0,50	$0,60 < 0,70 < 0,87$	$0,475 < 0,693 < 0,76$	задовільна
2	$Y_{РЕЗ2} = 0,739U + 17,7$	0,67	$0,60 < 0,82 < 0,87$	$0,475 < 0,592 < 0,76$	задовільна
3	$Y_{РЕЗ3} = 0,824U + 12,0$	0,74	$0,60 < 0,86 < 0,87$	$0,475 < 0,531 < 0,76$	задовільна
4	$Y_{РЕЗ4} = 0,886U + 7,8$	0,77	$0,88 > 0,87$	$0,475 < 0,508 < 0,76$	задовільна
5	$Y_{РЕЗ5} = 0,931U + 4,9$	0,80	$0,90 > 0,87$	$0,468 < 0,475$	добра

Відхилення прогнозних значень від фактичних, що розраховані за моделлю зі збільшенням кількості чинників та виражені у відсотках, наведено на рис. 6. Якщо спочатку, за використання лише чинника X_1 , тільки сім районів мали відхилення у межах $\pm 5\%$, то за введення у модель всіх п'яти чинників кількість таких районів збільшилася до дванадцяти. Найбільшим було відхилення в Перевальському (з 22,5 до 1,7%), Сватівському (з 14,9 до 6), Попаснянському районах (з -8,1 до -0,3%). Але в деяких, навпаки, збільшилося.

Так, кожна прогнозна методика (математична модель) має відповідати умовам точності та якості [17]. Критерієм якості є відношення середнього квадратичного відхилення (S) змодельованих значень величини від фактичних значень до квадратичного відхилення (σ) фактичних значень від їх середньої арифметичної, тобто S/σ . У програмі Faktor він означений як K_{rk} .

Використання моделі є виправданим у разі: а) якщо $n \leq 15$ – при $S/\sigma \leq 0,70$; б) якщо $15 < n < 25$ – при $S/\sigma \leq 0,75$; в) якщо $n \geq 25$ – при $S/\sigma \leq 0,80$.

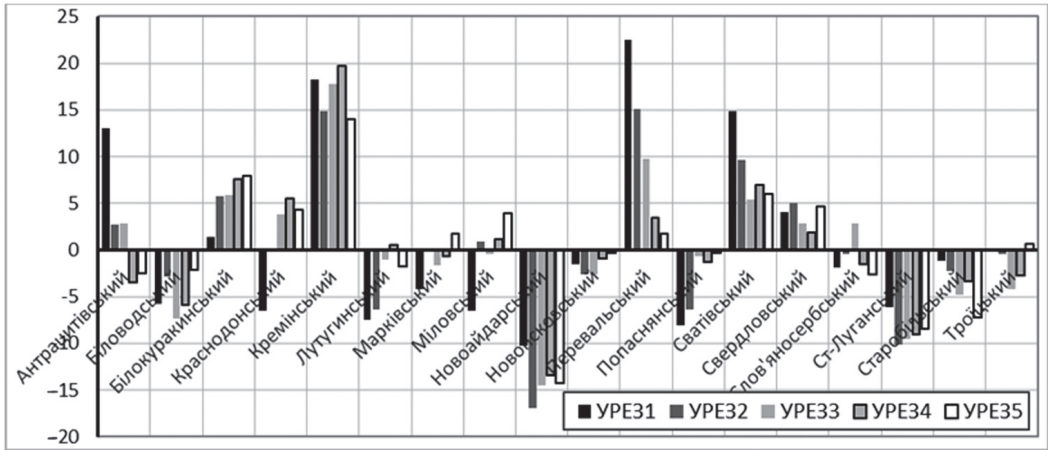


Рис. 6. Відхилення прогнозних значень еродованості орних земель за районами від фактичних за кількістю врахованих чинників від одного до п'яти (%)

Якість моделі оцінюється як добра, якщо коефіцієнт кореляції $r \geq 0,87$, а $S/\sigma \leq 0,50$ (при $n \geq 25$), або якщо $S/\sigma \leq 0,475$ ($15 < n < 25$) [17]. Якість моделі оцінюється як задовільна, якщо $r = 0,86-0,60$, а $S/\sigma = 0,51-0,80$ (при $n \geq 25$), або $0,485-0,76$ (при $15 < n < 25$). Елементи критерію якості S/σ були обчислені за формулами:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - Y_0)^2}{n-1}},$$

де Y_i — значення фактичної еродованості; Y_0 — її норма (середня арифметична); $n = 18$ — число членів ряду (районів);

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_{PE3i} - Y'_i)^2}{n-1}},$$

де Y_{PE3i} и Y'_j — еродованість за моделлю та фактична.

Результати розрахунку критерію наведено в табл. 5. Отже, лише 5-факторна мо-

дель є доброю, всі інші характеризуються задовільною якістю.

ВИСНОВКИ

Під час прогнозування просторового розподілу еродованості орних земель тієї чи іншої території необхідно щонайменше зважати на такі чинники або їх групи, як: частка схилових земель у складі орних земель, ознаки засолення та солонцюватості, показники механічного складу ґрунтів, їх кам'янистість. Інструментом оцінки сумарної ролі розглянутих вище або інших чинників є розрахунок математичних моделей еродованості з використанням програми Faktor та Excel за методикою, наведеною у статті.

Напрямами удосконалення розробленої моделі для використання в інших областях є врахування додаткових чинників, як-от: довжина схилів, вид материнської породи, кліматичні відмінності, більш ретельне врахування взаємної кореляції. Важливим є прогнозування не тільки частки еродованих ґрунтів, але й ступеня їх еродованості.

ЛІТЕРАТУРА

1. Сайко В.Ф. Наукові основи стійкого землеробства в Україні / В.Ф. Сайко // Збірн. наук. праць ННЦ «Інститут землеробства НААН». — 2010. — № 3. — С. 3–17.
2. Медведєв Н.В. Нормативы для определения экономической эффективности защиты почв от эрозии: методические рекомендации / Н.В. Медведєв, В.Л. Дмитренко, А.В. Филимонов. — Ворошиловград: УНИИЗПЭ, 1985. — 206 с.
3. Формування збалансованих агроландшафтів на принципах ґрунтозахисної контурно-меліоративної системи землекористування / [О.Г. Тараріко,

- Т.В. Ільєнко, О.В. Сиротенко, Т.Л. Кучма] // Землеробство. — 2015. — № 1. — С. 13–18.
4. *Камінський В.Ф.* Екологічно збалансоване використання земель сільськогосподарського призначення в контексті децентралізації влади в Україні / В.Ф. Камінський, І.П. Шевченко, Л.П. Коломієць // Збірник наукових праць ННЦ «Інститут землеробства НААН». — 2015. — Вип. 4. — С. 3–12.
 5. Наукові та прикладні основи захисту ґрунтів від ерозії в Україні: монограф. / за ред. С.А. Балюка та Л.Л. ТОВАЖНЯНСЬКОГО. — Х.: НТУ «ХПІ», 2010. — 460 с.
 6. *Лисецький Ф.Н.* Современные проблемы эрозии оледнения / Ф.Н. Лисецкий, А.А. Светличного, С.Г. Черный / под ред. А.А. Светличного. — Белгород: Константа, 2012. — 456 с.
 7. *Медведев В.В.* Критерії і нормативи фізичної деградації орних ґрунтів (пропозиції до вдосконалення нормативної бази) / В.В. Медведев, І.В. Пліско // Вісник аграрної науки. — 2017. — № 3. — С. 11–17.
 8. *Балюк С.А.* Сучасні проблеми деградації ґрунтів і заходи щодо досягнення нейтрального її рівня / С.А. Балюк, В.В. Медведев // Вісник аграрної науки. — 2017. — № 8. — С. 5–11.
 9. *Тарасов В.І.* Розвиток ґрунтової ерозії в Степу Північному України / В.І. Тарасов // Вісник аграрної науки. — 2016. — № 5. — С. 60–63.
 10. *Булигін С.Ю.* Використання геоінформаційних технологій для ґрунтового картографування / С.Ю. Булигін, А.Б. Ачасов // Вісник аграрної науки. — 2012. — № 10. — С. 52–56.
 11. До проблеми картографування ерозійних процесів / [П.Г. Назарок, О.В. Круглов, М.В. Куценко та ін.] // Вісник аграрної науки. — 2015. — № 9. — С. 63–68.
 12. Методология изучения эрозионных процессов в лесоаграрных и техногенных ландшафтах: монограф. / [К.Н. Кулик, А.Р. Зубов, И.Г. Зыков, А.А. Зубов]. — Волгоград: ФНЦ агроэкологии РАН, 2018. — 252 с.
 13. *Зубова Л. Г.* Основы математической обработки экспериментальных данных: уч. пособ. [Электронный ресурс] / Л.Г. Зубова. — Луганск: Изд-во «Ноулидж», 2013. — 60 с. — Режим доступу: <https://www.twirpx.com/file/2271215/>
 14. Атлас почв Украинской ССР / под ред. Н.К. Кружского и Н.И. Полупана. — К.: Урожай, 1979. — 160 с.
 15. *Вернадер Н.Б.* Природа Украинской ССР. Почвы / Н.Б. Вернадер, И.Н. Гоголев, Д.И. Ковалишин. — К.: Наукова думка, 1986. — 216 с.
 16. *Белолитский В.А.* О методах изучения эрозионных процессов / В.А. Белолитский, Н.М. Шелякин, А.Ф. Игуменцев // Почвоведение. — 1985. — № 12. — С. 98–105.
 17. *Бефани Н.Ф.* Упражнения и методические разработки по гидрологическим прогнозам: учеб. пособ. / Н.Ф. Бефани, Г.П. Калинин. — Л.: Гидрометеоздат, 1965. — 440 с.

REFERENCES

1. Saiko, V.F. (2010). Naukovi osnovy stiikoho zemlerobstva v Ukraini [The scientific basis of sustainable agriculture in Ukraine]. *Zbirnyk naukovykh prats NNTS «Instytut zemlerobstva UAAN» — Collection of scientific works of the NSC «Institute of Agriculture»*, 3, 3–17 [in Ukrainian].
2. Medvedev, N.V., Dmitrenko, V.L., Filimonov, A.V. (1985). *Normativy dlya opredeleniya ekonomicheskoy effektivnosti zashchity pocho ot erozii: metodicheskiye rekomendatsii [Standards for determining of the economic efficiency of soil protection from erosion: methodical recommendations]*. Voroshilovgrad: UNIIZPE [in Russian].
3. Tarariko, O.H., Ilienکو, T.V., Syrotenko, O.V. & Kuchma, T.L. (2015). Formuvannya zbalansovanykh ahrolandshaftiv na pryntsyapkakh gruntozakhysnoyi konturno-melioratyvnoi systemy zemlekorystuvannya [Formation of balanced agrolandscapes on the principles of soil-protective contour-land-reclamation land-use system]. *Zemlerobstvo — Agriculture*, 1, 13–18 [in Ukrainian].
4. Kaminskyi, V.F., Shevchenko, I.P. & Kolomyiets, L.P. (2015). Ekolohichno zbalansovane vykorystannya zemel silskohospodarskoho pryznachennia v konteksti detsentralizatsii vlady v Ukraini [Environmentally balanced use of agricultural land in the context of the decentralization of power in Ukraine]. *Zbirnyk naukovykh prats NNTS «Instytut zemlerobstva NAAN» — Collection of scientific works of the NSC «Institute of Agriculture NAAS»*, 4, 3–12 [in Ukrainian].
5. Baliuk, S.A. & Tovazhnianskii, L.L. (Eds.). (2010). *Naukovi ta prykladni osnovy zakhystu gruntiv vid erozii v Ukraini: monografiia [Scientific and applied fundamentals of soil protection from erosion in Ukraine: monograph]*. Kharkiv: NTU «KHPI» [in Ukrainian].
6. Lisetskiy, F.N., Svetlichnyy, A.A. & Chernyy, S.G. (2012). *Sovremennyye problemy eroziyovedeniya: Monografiya [Modern problems of erosion: Monograph]*. A.A. Svetlichnyy (Eds). Belgorod: Konstanta [in Russian].
7. Medvediev, V.V. & Plisko, I.V. (2017). Kryterii i normatyvy fizychnoi dehradatsii ornnykh gruntiv (propozytzii do vdoskonalennia normatyvnoi bazy) [Criteria and standards for physical degradation of arable soil (suggestions for improving the regulatory framework)]. *Visnyk ahrarynoi nauky — Bulletin of Agrarian Science*, 3, 11–17 [in Ukrainian].
8. Baliuk, S.A. & Medvediev, V.V. (2017). Suchasni problemy dehradatsii gruntiv i zakhody shchodo dosiahnennyi neitralnoho yii rinvnia [Modern problems of soil degradation and measures to achieve its neutral level]. *Visnyk ahrarynoi nauky — Bulletin of Agrarian Science*, 8, 5–11 [in Ukrainian].

9. Tarasov, V.I. (2016). Rozvytok yaruzhnoyi erozii v Stepu Pivnichnomu Ukrainy [Development of gully erosion in the Northern Steppe of Ukraine]. *Visnyk ahrarnoi nauky – Bulletin of agrarian science*, 5, 60–63 [in Ukrainian].
10. Bulyhin, S.Yu. & Achasov, A.B. (2012). Vykorystannia heinformatsiinykh tekhnolohii dlia gruntovoho kartohrafuvannia [The use of geo-information technologies for soil mapping]. *Visnyk ahrarnoi nauky – Bulletin of agrarian science*, 10, 52–56 [in Ukrainian].
11. Nazarov, P.H., Kruhlov, O.V., Kutsenko, M.V., Menshov, O.I., Sukhorukova, A.V. (2015). Do problemy kartohrafuvannia eroziynykh protsesiv [To the problem of mapping erosion processes]. *Visnyk ahrarnoi nauky – Bulletin of agrarian science*, 9, 63–68 [in Ukrainian].
12. Kulik, K.N., Zubov, A.R., Zykov, I.G. & Zubov, A.A. (2018). *Metodologiya izucheniya eroziionnykh protsesov v lesoahramnykh i tekhnogenykh landshtakh: monohrafiya* [Methodology of studying erosion processes in forest and technogenic landscapes: monograph]. Volgograd: FNTs agroekologii RAN [in Russian].
13. Zubova, L.G. (2013). *Osnovy matematicheskoy obrabotki eksperimentalnykh dannykh: uchebnoye posobiye* [Fundamentals of mathematical processing of experimental data: tutorial]. Lugansk: Noulidzh [in Russian].
14. Kruzshkiy, N.K. & Polupan, N.I. (Eds.). (1979). *Atlas pochv Ukrainy SSR* [Atlas of Soils of the Ukrainian SSR]. Kyiv: Urozhay [in Russian].
15. Vernader, N.B., Gogolev, I.N., Kovalishin, D.I. (1986). *Priroda Ukrainy SSR. Pochvy* [Nature of the Ukrainian SSR. Soils]. Kyiv: Naukova dumka [in Ukrainian].
16. Belolipskiy, V.A., Shelyakin, N.M. & Igumentsev, A.F. (1985). *O metodakh izucheniya eroziionnykh protsesov* [On the methods of studying erosion processes]. *Pochvovedeniye – Soil Science*, 12, 98–105 [in Russian].
17. Befani, N.F. & Kalinin G.P. (1965). *Uprazhneniya i metodicheskiye razrabotki po gidrologicheskim prorochnam: uchebnoye posobiye* [Exercises and methodological development of hydrological forecasts: a tutorial]. Leningrad: Gidrometeoizdat [in Russian].

Стаття надійшла до редакції журналу 12.04.2019

UDC 631.95 (477.64)

DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.3.2019.183472>

PROBLEMS OF SOIL BONING IN ZAPORIZHZHIA REGION IN MODERN LAND RESOURCES ASSESSMENT

L. Datcenko¹, S. Hryshko², M. Ganchuk¹, N. Tarusova¹, Y. Chebanova¹,
V. Scherbina¹, V. Skyba¹, A. Anhelovska¹

¹Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

²Мелітопольський державний педагогічний університет імені Богдана Хмельницького

Наведено короткий огляд робіт щодо бонітувального стану ґрунтів у незалежній Україні. Охарактеризовано методики Л.Я. Новаковського, А.І. Сірого, В.В. Медведєва та І.В. Плїско. Апробовано чинну методику бонітування ґрунтів, що була запропонована фахівцями науково-дослідних установ НААН та Національного аграрного університету, в умовах Запорізької обл. На основі власних польових досліджень, даних лабораторії моніторингу ґрунтів і якості продукції рослинництва Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного, матеріалів Запорізької філії ДУ «Інститут охорони ґрунтів України», а також аналізу ґрунтових карт, картограм агропромислових груп ґрунтів, даних фізико-хімічних властивостей і морфологічних ознак ґрунтів представлено якісну оцінку ґрунтів області за районами та здійснено класифікацію їх угруповань за вмістом гумусу, що дало можливість скласти відповідні карти.

Ключові слова: бонітування ґрунтів, методика бонітування ґрунтів, родючість ґрунту, гумус, Запорізька обл.

The most alarming situation in the agricultural sphere of the state nowadays is a

steady decline of soil fertility. The state of land resources and soil quality of Ukraine worsen. The areas of technogenic pollution are growing, and the soils of Zaporizhzhia Re-

© L. Datcenko, S. Hryshko, M. Ganchuk, N. Tarusova, Y. Chebanova, V. Scherbina, V. Skyba, A. Anhelovska, 2019