

ЛАНДШАФТНО-ЕКОЛОГІЧНИЙ СТАН ТА ШЛЯХИ ВІДТВОРЕННЯ РОДЮЧОСТІ ДЕГРАДОВАНИХ ЗЕМЕЛЬ ПІВДЕННОГО СТЕПУ УКРАЇНИ

ВОЖЕГОВА Р.А. – доктор сільськогосподарських наук, професор, академік

Національної академії аграрних наук України

orcid.org/0000-0002-3895-5633

Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства Національної академії аграрних наук України

ГОЛОБОРОДЬКО С.П. – доктор сільськогосподарських наук, професор

orcid.org/0000-0002-6968-985X

Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства Національної академії аграрних наук України

ІУТИНСЬКА Г.О. – доктор біологічних наук, член-кореспондент Національної академії

наук України

orcid.org/0000-0001-6692-1946

Інститут мікробіології і вірусології імені Д. К. Заболотного Національної академії наук України

ТИТОВА Л.В. – кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник

orcid.org/0000-0003-3131-4355

Інститут мікробіології і вірусології імені Д. К. Заболотного Національної академії наук України

ДУБИНСЬКА О.Д. – доктор філософії, старший науковий співробітник

orcid.org/0000-0002-5572-0094

Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства Національної академії аграрних наук України

Актуальність досліджень. Південний Степ України є однією з найбільш сприятливих зон для стійкого й ефективного розвитку сільського господарства, у тому числі виробництва зернових колосових, технічних, овоче-баштанних та кормових культур за наявності галузі тваринництва. Протягом XVIII–XX століть структура землекористування південного регіону України зазнавала ряду істотних змін і визначалася розвитком продуктивних сил, правових та виробничих відносин того часу. З середини XIX століття на формування структури землекористування Південного Степу став впливати великий попит розвинутих країн Європи на зернові культури, який існує й до теперішнього часу.

За даними державного земельного обліку, проведеного у 1990 році, в Україні нараховувалося 60,3 млн. га земель усіх категорій, у тому числі сільськогосподарських угідь – 41,8 млн. га, ріллі – 33,4; сінокосів та пасовищ – 7,5; лісів – 10,4 млн. га. За інтенсивного ведення сільськогосподарського виробництва зернові й зернобобові культури займали 45,26%, соняшник – 5,08; картопля та овоче-баштанні – 5,85; кормові культури – 37,24 й інші технічні – 1,01% до загальної посівної площі сільськогосподарських культур (табл. 1).

Згідно даних Департаменту статистики сільського господарства та навколишнього середовища України посівні площі кормових культур у 2020 р., в порівнянні з 1990 р., суттєво зменшилися. Якщо загальна площа кормових культур в 1990 році у всіх категоріях господарств становила 11999,0 тис. га, то в 2020 році посівні площі їх знизилися до 1638,5 тис. га, або скоротилися на 10360,5 тис.га (86,3%) [3, 11]. При цьому, якщо посівна площа багаторічних трав у 1990 році в Україні складала

3986,6 тис. га, то в 2020 році вона не перевищувала 318,1 тис. га, тобто зменшилася на 92,0%.

У 2020 р. загальна посівна площа сільськогосподарських культур в Україні, без урахування тимчасово окупованої РФ території, складала 27973,2 тис. га. Посівна площа зернових та зернобобових культур досягала 15364,7 тис. га (54,92%), із них пшениця озима та яра – 6571,3 (23,49%); ячмінь ярий та озимий – 2384,9 (8,52%); кукурудза – 5451,3 тис. га (19,49%), інші зернові та зернобобові – 957,2 (3,42%). Із технічних культур найбільшу посівну площу стали займати соняшник – 6383,3 тис. га (22,82%) і соя – 1340,5 тис.га (4,79%).

Систематичне розширення площі орних земель в зоні Степу призвело до нестійкого стану створених агроландшафтів, розораність яких у кінці XIX століття досягала найвищих показників у світі: Херсонська область – 90,2%, Кіровоградська – 86,4; Миколаївська – 84,5; Запорізька – 84,8; Дніпропетровська – 84,5; Донецька – 81,0; Одеська – 79,7 та Луганська область – 66,4% [7, 12]. За рахунок скорочення посівних площ багаторічних трав та буряків цукрових протягом останніх років в Україні відбувалося істотне розширення посівних площ пшениці озимої, кукурудзи, соняшнику й ріпаку озимого.

Перетворення в кінці XIX століття природних степових ландшафтів Південного Степу на стабільну зону з виробництва зернових культур, а на початку XXI століття – й технічних, за значного скорочення посівних площ кормових культур, спричинило глобальні негативні явища існуючих агроландшафтів, наслідки яких неможливо було передбачити у минулому і надзвичайно складно ліквідувати сьогодні. Під впливом антропогенного навантаження на сільськогосподарські

Таблиця 1

Структура посівних площ сільськогосподарських культур в Україні
(за даними Державної служби статистики України)

Сільськогосподарські культури	Посівна площа сільськогосподарських культур			
	1990 р.		2020 р.*	
	тис. га	%	тис. га	%
Загальна посівна площа сільськогосподарських культур, у т.ч.:	32218,0	100,0	27973,2	100,00
Зернові та зернобобові культури	14583,0	45,26	15364,7	54,92
у т.ч.: пшениця озима та яра	5480,0	17,01	6571,3	23,49
кукурудза	1200,0	3,72	5451,3	19,49
ячмінь ярий та озимий	3003,0	9,32	2384,9	8,52
інші зернові та зернобобові	4900,0	15,21	957,2	3,42
Технічні культури	3751,0	11,65	9127,6	32,63
у т.ч.: соняшник	1636,0	5,08	6383,3	22,82
буряк цукровий	1607,0	4,99	218,9	0,78
соя	93,0	0,29	1340,5	4,79
ріпак озимий та ярий	90,0	0,28	1115,2	3,99
інші технічні	325,0	1,01	69,7	0,25
Картопля та овоче-баштанні культури	1885,0	5,85	1842,4	6,59
Кормові культури	11999,0	37,24	1638,5	5,86

* Примітка: Без урахування тимчасово окупованої території АР Крим, м. Севастополя та частини земель у зоні проведення антитерористичної операції.

угіддя та тривалого розширення площі орних земель, придатних для використання у сільськогосподарському виробництві, почався інтенсивний розвиток деградаційних процесів і, як наслідок, істотне зниження родючості ґрунтів. Тому боротьба з деградацією земель та опустелюванням є однією з найбільш актуальних задач сьогодення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Основною причиною деградації земель та опустелювання в південній частині зони Степу на початку XXI століття, на наш погляд, є вкрай необґрунтований високий рівень сільськогосподарського освоєння території, який призвів до порушення екологічно допустимого співвідношення між площею орних земель, природними кормовими угіддями та лісовими й водними ресурсами, що негативно вплинуло на стійкість існуючих агроландшафтів і стало основною причиною

значної техногенної їх ураженості. Тривале й недостатньо обґрунтоване використання земельних ресурсів за надмірної розораності ґрунтового покриву в зоні Степу викликало катастрофічне посилення ґрунтової ерозії. За даними ННЦ "Інститут ґрунтознавства та агрохімії ім. О.Н. Соколовського" НААН України, за загальної площі орних земель у степовій зоні, рівній 15528,7 тис. га, ерозійні процеси на ріллі протягом останніх років відбуваються на 8362,0 тис. га, або 53,8% до загальної площі ріллі зони Степу (табл. 2) [1, 2].

Особливу небезпеку викликає величезна площа еродованих орних земель в Одеській, Луганській, Донецькій, Дніпропетровській областях та АР Крим, яка досягає 5233,5 тис. га, або 33,7% до загальної площі ріллі зони Степу, що призводить до інтенсивного розвитку деградаційних процесів та істотного зниження родючості ґрунтів.

Таблиця 2

Площі сільськогосподарських угідь й еродованих земель в зоні Степу, тис. га (Балюк С.А., 2011 р.)

Область	С.-г. угіддя	у т.ч. рілля	Еродовані землі			
			с.-г. угіддя		рілля	
			всього, га	%	всього, га	%
АР Крим	1798,4	1265,6	999,3	55,6	919,3	72,6
Дніпропетровська	2514,3	2125,0	1104,8	43,9	914,7	43,0
Донецька	2045,2	1656,0	1757,4	85,9	1080,0	65,2
Запорізька	2247,7	1906,7	1212,5	53,9	640,8	33,6
Кіровоградська	2039,9	1762,4	1102,4	54,0	886,7	50,3
Луганська	1911,1	1269,7	1372,3	71,8	1237,9	97,5
Миколаївська	2010,0	1698,1	964,5	48,0	914,8	53,9
Одеська	2593,4	2067,6	1214,0	46,8	1081,6	52,3
Херсонська	1971,1	1777,6	961,0	48,7	686,2	38,6
Всього	19131,1	15528,7	10688,2	55,9	8362,0	53,8
Всього в Україні	41595,1	32461,4	15953,9	38,4	12940,3	39,9

При цьому за вирощування більшості сільськогосподарських культур останніми роками застосовувалися лише мінеральні добрива, а органічні добрива майже не використовувалися. Пов'язано останнє з істотним скороченням поголів'я великої рогатої худоби (ВРХ) в усіх областях України. За чисельності поголів'я ВРХ в Україні у 1990 р. 25,2 млн. голів (у т.ч. 8,5 млн. корів) вироблялося 257,1 млн. тонн органічних добрив й на 1 га посівної площі вносилося 8,6 тонн гною. В цілому за період 1990–2020 рр. чисельність молочного стада в Україні скоротилася на 6,4 млн. голів, або на 74,6%. У великих сільськогосподарських підприємствах поголів'я корів зменшилося з 6,2 млн. до 0,88 млн. голів, тобто на 87,7%. Внаслідок цього виробництво органічних добрив протягом останніх років зменшилося до 9,8 млн. тонн, через що на 1 га посівної площі вносилося лише 0,5 тонн органічних та 41 кг/га д.р. мінеральних добрив.

Незадовільний екологічний стан сільськогосподарських угідь південної частини зони Степу, за сучасних умов господарювання, зумовлений інтенсивним розорюванням земельних ресурсів, що призвело до зниження водообміну між поверхневими й ґрунтовими водами, через що різко змінилося співвідношення між прихідною й витратною частинами водного балансу. Внаслідок вказаних природних змін протягом останнього десятиліття у ряді областей Південного Степу став спостерігатися гострий дефіцит мінерального азоту й продуктивної вологи в ґрунті, що стало суттєво впливати на стабільне отримання високих урожаїв сільськогосподарських культур [5, 8, 10].

Поряд з високою деградацією орних земель, істотний вплив на ефективність сільськогосподарського виробництва протягом останніх років у південній частині зони Степу стала спричиняти регіональна зміна клі-

мату. Аналіз погодних умов за тривалий період часу дозволив встановити основні гідротермічні показники вегетаційного періоду сільськогосподарських культур у різні за забезпеченістю опадами роки. У вологі (5%) за забезпеченістю опадами роки випаровуваність не перевищувала 608,6 мм і за кількості атмосферних опадів 365,0 мм протягом вегетаційного періоду (квітень-вересень) дефіцит вологозабезпечення складав 243,6 мм. У середньовологі (25%) та середні (50%) за забезпеченістю опадами роки випаровуваність зростала до 645,7–746,3 мм, а дефіцит вологозабезпечення досягав 406,7–507,7 мм. У середньосухі (75%) та сухі (95%) за забезпеченістю опадами роки випаровуваність підвищувалася до 769,8–934,5 мм, а дефіцит вологозабезпечення – зростав до 580,9–791,0 мм (рис. 1).

Підвищення середньої температури повітря за одночасного зменшення кількості атмосферних опадів призводило до істотного зростання випаровуваності. Тому сприятливими для вирощування сільськогосподарських культур у Південному Степу були лише вологі (5%) та середньовологі (25%) за забезпеченістю опадами роки, протягом яких дефіцит вологозабезпеченості не перевищував 148,0–486,0 мм і, відповідно, 304,7–519,0 мм (табл. 3).

За наведеної кількості атмосферних опадів і дефіциту вологозабезпеченості в умовах природного зволоження Південного Степу у вологі (5%) та середньовологі (25%) за забезпеченістю опадами роки формувалися достатньо високі урожаї сільськогосподарських культур, що вирощувалися.

У середні (50%) за забезпеченістю опадами роки, коли протягом вегетаційного періоду випадало 213,1–299,1 мм і дефіцит вологозабезпеченості зростав до 419,8–560,4 мм, урожаї вирощуваних сільськогосподарських культур суттєво знижувалися.

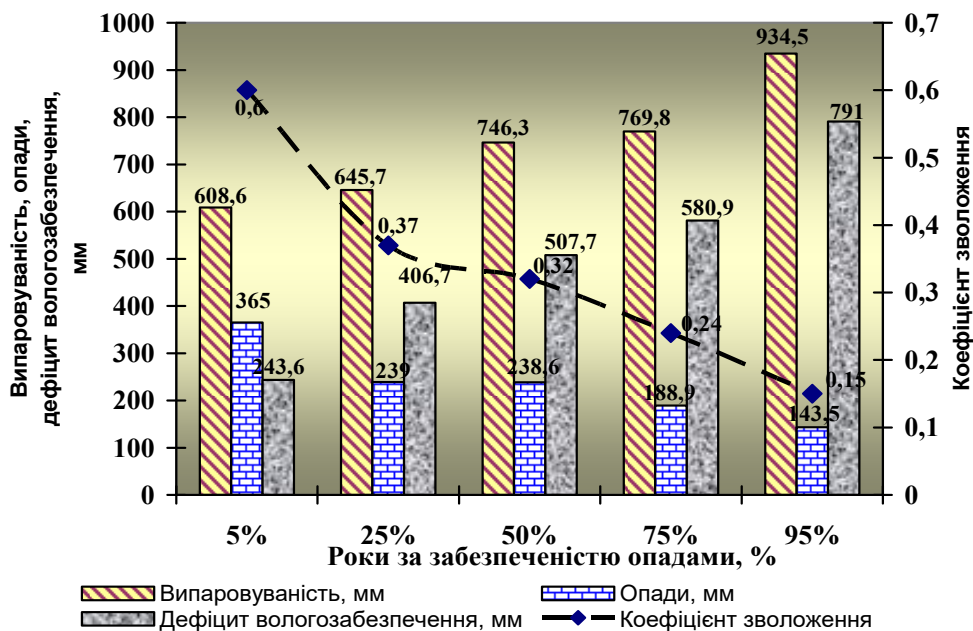


Рис. 1. Середні значення гідротермічних показників в умовах Південного Степу України у різні за забезпеченістю опадами роки (за даними Херсонської метеорологічної станції)

Таблиця 3

Атмосферні опади й дефіцит вологозабезпечення в південній частині зони Степу у різні за забезпеченістю опадами роки

Роки														
вологі (5%)			середньовологі (25%)			середні (50%)			середньосухі (75%)			сухі (95%)		
рік	опади, мм	дефіцит вологозабезпечення, мм	рік	опади, мм	дефіцит вологозабезпечення, мм	рік	опади, мм	дефіцит вологозабезпечення, мм	рік	опади, мм	дефіцит вологозабезпечення, мм	рік	опади, мм	дефіцит вологозабезпечення, мм
1985	361,0	231,5	1980	275,4	304,7	1979	273,1	480,4	1986	163,7	620,9	2002	177,4	645,1
1988	319,1	299,3	1982	286,3	365,9	1981	221,4	501,7	1992	145,9	588,2	2007	143,5	791,0
1997	426,6	148,0	1987	221,2	342,3	1983	268,8	475,4	1993	212,0	455,5	2012	186,6	757,4
2000	371,3	343,1	1989	196,2	465,1	1984	204,8	480,5	2003	226,8	586,5	2013	154,2	700,7
2004	407,2	230,9	1990	271,9	367,5	1994	227,9	559,6	2006	182,2	572,9	2014	218,5	683,1
2015	315,3	439,1	1991	230,1	455,4	1995	275,3	419,8	2009	205,6	644,9	2017	169,1	690,0
2016	278,5	486,0	2008	350,7	359,7	1996	213,1	571,1	2011	185,5	614,9			
			2010	285,9	472,4	1998	299,1	494,6	2018	194,1	811,5			
			2019	304,3	519,0	1999	216,4	560,4	2020	163,6	783,9			
						2001	244,2	523,4						
						2005	216,8	545,3						
\bar{x}	354,1	311,1	\bar{x}	269,1	405,8	\bar{x}	241,9	510,2	\bar{x}	186,6	631,0	$\frac{x}{xxx}$	174,9	711,2

Середньосухі (75%) та сухі (95%) за забезпеченістю опадами роки були вкрай несприятливими для росту й розвитку більшості сільськогосподарських культур, оскільки за вегетаційний період (квітень-вересень) у середньосухі роки в середньому випало 145,9–226,8 мм, а в сухі лише 143,5–218,5 мм опадів.

Поряд з використанням науково необґрунтованих систем землеробства, істотний вплив на ефективність ведення сільськогосподарського виробництва в південній частині зони Степу в сучасних умовах господарювання стала спричиняти й регіональна зміна клімату. Якщо посухи протягом 400 років у XI–XIV століттях виникали лише 8 разів, відповідно, у XVII–XVIII – 17, у XIX – 20, то в XX столітті їх кількість зросла до 30. Тому в даний час водні ресурси степової зони України характеризуються як вкрай недостатні, оскільки дефіцит вологозабезпеченості сільськогосподарських культур протягом останніх років (2018–2020 рр.), особливо у сухі (95%) за забезпеченістю опадами роки, на прикладі Херсонської області, досягав 783,9–811,5 мм проти 493,8 мм у середньому за 65 років (1945–2010 рр.) (рис. 2).

Поряд з високою розораністю земель сільськогосподарського призначення, характерною особливістю агроландшафтів південної частини зони Степу є вкрай обмежений видовий склад високопродуктивних лучних трав на природних кормових угіддях. Загальна кількість лучних однорічних та багаторічних трав на різних

типах кормових угідь у підзоні Південного Степу становить лише 35 видів, у тому числі 23 види однорічних, 7 – багаторічних та 5 – дворічних видів трав. В умовах природного зволоження (без зрошення) вже в кінці травня – на початку червня більшість злакових ефемерних та ефемероїдних видів трав у літні посушливі місяці припиняють свій ріст і розвиток або й повністю відмирають. Тому значного впливу на формування високих урожаїв ефемерні та ефемероїдні види лучних трав як для підвищення родючості орних земель, так і для забезпечення існуючого тваринництва кормами, особливо в сухі (95%) за забезпеченістю опадами роки, не мають.

У зв'язку з цим в Інституті кліматично орієнтованого сільськогосподарства НААН протягом останніх років проведені польові дослідження з добору бобових та злакових багаторічних трав та бобово-злакових травосумішок і встановленню їх продуктивності.

Мета досліджень. Метою досліджень було агробіологічне обґрунтування оптимізації сучасного ландшафтно-екологічного стану сільськогосподарських угідь Південного Степу та розробка в умовах природного зволоження (без зрошення) ресурсозберігаючих технологій вирощування високопродуктивних багаторічних трав на кормові цілі за тимчасової та постійної консервації орних земель, вилучених з обробки.

Матеріали і методи. Польові дослідження із залуження орних земель, вилучених з обробки, проводили в ДП ДГ

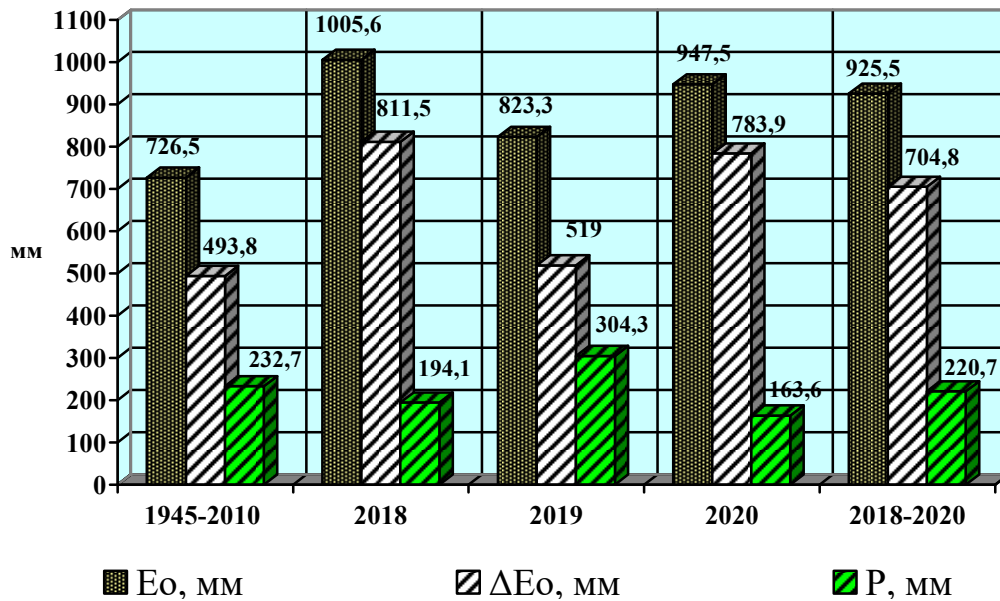


Рис. 2. Випаровуваність (E_o), дефіцит вологозабезпечення (ΔE_o) та кількість опадів (P) протягом вегетаційного періоду (квітень-вересень) в Південному Степу України (за даними метеорологічної станції м. Херсон)

«Копані» Інституту зрошувального землеробства НААНУ в 2010–2019 рр. Ґрунт дослідних ділянок – темно-каштановий, з вмістом в орному шарі: гумусу (за Тюрнімом) – 2,02–2,34%, нітратного азоту ($N-NO_3$) – 8,0–12,3 мг/кг; рухомого фосфору (за Мачигінім) – 24,2–36,3 й обмінного калію – 330–413 мг/кг ґрунту. Найменша вологоємність 0–100 см шару становить 21,3%, вологість в'янення – 9,5% від маси абсолютно сухого ґрунту, щільність складення – 1,42 г/см³.

Залуження орних земель проводили злаковими й бобовими багаторічними травами, біологічні особливості яких найбільшою мірою адаптовані до природно-кліматичних умов підзони південного Степу. За короткострокового (не більше 1–2 років) використання одновидових посівів злакових і бобових багаторічних трав у травосумішки включали пажитницю багатоквіткову (*Lolium multiflorum* Lam.) сорту Ярослав та еспарцет піщаний (*Onobrychis arenaria* Kit.) сорту Інгальський. За тимчасового середньострокового терміну використання (2–3 роки) – кострицю східну (*Festuca orientalis* (Hack.) V. Krecz.) сорту Доменіка й люцерну мінливу (*Medicago varia* T. Martyn.) сорту Веселка. За тривалого використання агрофітоценозів, відповідно – люцерну мінливу (*Medicago varia* T. Martyn) сорту Веселка й стоколос безостий (*Bromopsis inermis* (Loyss.) Holub) сорту Таврійський і за довгострокового – пирій середній (*Elytrigia intermedia* (Host) Nevski) сорту Вітас та люцерну мінливу (*Medicago varia* T. Martyn) сорту Унітро.

Сівбу злакових і бобових багаторічних трав в одновидових посівах та бінарних травосумішках проводили ранньою весною в 2009–2011 рр. Норма висіву насіння за тимчасової консервації орних земель, за 100% господарської його придатності в моновидових посівах становила: пажитниці багатоквіткової – 24,0 кг/га, костриці

східної – 24,0; еспарцету піщаного – 80,0; в складі травосумішок, відповідно – 12, 12 та 60 кг/га.

За постійної консервації норма висіву насіння люцерни в одновидових посівах становила 24,0 кг/га, стоколосу безостого – 28,0 й пирію середнього – 32,0 кг/га.

Інокуляцію насіння люцерни мінливої проводили новим комплексним бактеріальним препаратом Ековітал, створеним на основі симбіотичних азотфіксуювальних та фосфатмобілізувальних бактерій в Інституті мікробіології і вірусології ім. Д. К. Заболотного НАН України. Насіння еспарцету піщаного інокулювали Ризобіфітом (розробник – Інститут сільськогосподарської мікробіології НААН України).

У складі бінарних травосумішок норма висіву насіння становила: люцерна + стоколос безостий – 12,0 + 14,0 кг/га і люцерна + пирій середній – 12,0 + 16,0 кг/га. Площа посівної ділянки – 60 м², облікової – 20 м². Облік урожаю проводили укісним методом.

Вміст сухої речовини, густоту травостоїв, зміну видового ботанічного складу, вихід кормових одиниць, валової та обмінної енергії визначали за загальноприйнятими методиками [4]. Потенційне випаровування, або випаровуваність (E_o) й дефіцит вологозабезпечення (ΔE_o) за роками досліджень визначали за В.А. Романенко [9]. Визначення кількості фіксованого симбіотичного азоту бобовими багаторічними травами проводили методом порівняння вносу азоту бобовими і злаковими травами. Внос азоту еспарцетом піщаним порівнювали з аналогічним показником пажитниці багатоквіткової, а люцерною мінливою – з показником стоколосу безостого. Різницю між виносом азоту з урожаєм бобовими і злаковими травами, з поправкою на азот насіння, відносили до фіксованого симбіотичного азоту. Коефіцієнт біологічної азотфіксації розраховували як відношення

величини фіксованого біологічного азоту до загального його виносу.

Статистичний аналіз врожаю багаторічних трав проводили методом дисперсійного аналізу за В.А. Ушкаренком [13], енергетичний аналіз – за О.К. Медведовським [6].

Результати досліджень і їх обговорення. Збір абсолютно сухої речовини одновидових посівів пажитниці багатоквіткової за короткострокової консервації орних земель, вилучених з обробітку, становив 4,95 т/га, відповідно, кормових одиниць – 3,22; перетравного протеїну – 0,67 т/га; валової енергії – 87,9 ГДж/га й обмінної енергії – 50,8 ГДж/га. Вихід абсолютно сухої речовини одновидових посівів еспарцету піщаного й пажитничево-еспарцетових травосумішок перевищував одновидові посіви пажитниці багатоквіткової на 13,5–13,7%; відповідно, кормових одиниць – на 22,4–22,7; перетравного протеїну – на 25,4–35,8; валової енергії – на 6,7–14,3 й обмінної енергії – на 6,5–14,4%.

Збір абсолютно сухої речовини одновидових посівів костриці східної за тимчасової та середньострокової консервації орних земель не перевищував 4,16 т/га, відповідно, кормових одиниць – 2,79 т/га; перетравного протеїну – 0,41 т/га; валової енергії – 75,5 ГДж/га та обмінної енергії – 43,0 ГДж/га.

Урожайність абсолютно сухої речовини одновидових посівів люцерни мінливої та кострицево-люцернових травосумішок перевищувала моновидові посіви костриці східної на 33,6–34,8%; відповідно, збір кормових одиниць – на 47,3–56,9; перетравного протеїну – на

92,7–107,3; валової енергії – на 35,6–36,7 й обмінної енергії – на 36,0–37,2%.

Збір кормових одиниць з одновидових посівів пірію середнього, незалежно від тривалості використання травостоїв, досягав 1,18–2,14 т/га, перетравного протеїну – 0,18–0,41 т/га й обмінної енергії – 19,0–33,8 ГДж/га. Максимальний збір перетравного протеїну протягом усіх років використання багаторічних трав отримано з одновидових посівів люцерни – 0,30–0,62 т/га, а також з бінарних люцерно-злакових травосумішок – 0,30–0,59 т/га, що істотно залежало від участі у видовому ботанічному складі люцерни мінливої (табл. 4).

Істотне зниження збору абсолютно сухої речовини третього року використання пов'язано зі зміною видового ботанічного складу як одновидових посівів люцерни мінливої й еспарцету піщаного, так і люцерно- та еспарцето-злакових травосумішок. Збереження високої продуктивності сіяних травостоїв бобових і злакових багаторічних трав та їх травосумішок було можливе лише за тривалої участі в посівах високопродуктивних лукопасовищних рослин.

Накопичення симбіотичного азоту люцерною й еспарцетом піщаним залежало від урожаю абсолютно сухої речовини, вмісту азоту в рослинах і травосумішках та року використання травостоїв.

На першому році використання накопичення симбіотичного азоту в моновидових посівах люцерни мінливої досягало 60 кг/га і 68 кг/га – у травосумішці люцерна мінлива+стokolос безостий, при коефіцієнті азотфіксації відповідно 33,5% і 36,4%. Фіксація атмосферного

Таблиця 4

Продуктивність багаторічних трав та їх травосумішок за тимчасової і постійної консервації орних земель, вилучених з обробітку, в південному Степу України (в середньому за 3 роки досліджень)

Види трав і травосумішки (А)	Збір з 1 га				
	абсолютно сухої речовини, т	корм. од, т	перетравного протеїну, т	валової енергії ГДж	обмінної енергії, ГДж
Тривалість консервації (В)					
Тимчасова короткострокова (1–2 роки)					
Пажитниця багатоквіткова	4,95	3,22	0,67	87,9	50,8
Еспарцет піщаний	5,63	3,94	0,84	100,5	58,1
Пажитниця багатоквіткова + Еспарцет піщаний	5,62	3,95	0,91	93,8	54,1
Тимчасова середньострокова (2-3 роки)					
Костриця східна	4,16	2,79	0,41	75,5	43,0
Люцерна мінлива	5,61	4,38	0,85	103,2	59,0
Костриця східна+люцерна мінлива	5,56	4,11	0,79	102,4	58,5
Постійна довгострокова (4–5 років)					
Стоколос безостий	4,47	3,13	0,46	81,8	47,2
Люцерна мінлива	5,36	3,86	0,97	100,6	57,8
Стоколос безостий+ люцерна мінлива	5,52	4,14	0,90	103,0	59,2
Постійна тривалодовгострокова (6–8 років)					
Пірій середній	3,24	2,14	0,41	59,0	33,8
Люцерна мінлива	3,30	2,67	0,62	61,6	35,2
Пірій середній + люцерна мінлива	3,33	2,44	0,59	61,7	35,0

Оцінка істотності часткових відмінностей:

НІР05, т/га – (А) 0,81

0,25

НІР05, т/га – (В) 0,62

0,19

Таблиця 5

Накопичення симбіотичного азоту люцерною мінливою й еспарцетом піщаним залежно від року використання травостоїв (у середньому за три роки досліджень)

Показники	Люцерна мінлива			Еспарцет піщаний		
	Л	Сб	Л+Сб	Е	Сб	Е+Сб
Перший рік використання						
Винос азоту урожаєм: кг/га	179	119	187	237	119	224
%	150	100	157	199	100	188
в т.ч. біологічного, кг/га	60	-	68	118	-	105
Коефіцієнт азотфіксації, %	33,5	-	36,4	49,8	-	46,9
Еквівалентно: мінеральному азоту в формі аміачної селітри, кг/га	174	-	198	343	-	305
ГДж/га	15,1	-	17,2	29,7	-	26,5
Другий рік використання						
Винос азоту урожаєм: кг/га	174	119	156	203	123	175
%	146	100	131	165	100	142
в т.ч. біологічного, кг/га	55	-	37	80	-	52
Коефіцієнт азотфіксації, %	31,6	-	23,7	39,4	-	29,7
Еквівалентно: мінеральному азоту в формі аміачної селітри, кг/га	160	-	107	233	-	151
ГДж/га	13,9	-	9,3	20,2	-	13,1
Третій рік використання						
Винос азоту урожаєм: кг/га	150	114	151	125	110	132
%	132	100	132	114	100	120
в т.ч. біологічного, кг/га	36	-	37	15	-	22
Коефіцієнт азотфіксації, %	24,0	-	24,5	12,0	-	16,7
Еквівалентно: мінеральному азоту в формі аміачної селітри, кг/га	105	-	108	44	-	64
ГДж/га	9,1	-	9,3	3,8	-	5,5

Примітка: Л – люцерна мінлива; Сб – стоколос безостий; Л+Сб – люцерна мінлива + стоколос безостий; Е – еспарцет піщаний; Е + Сб – еспарцет піщаний + стоколос безостий

азоту одновидовими посівами люцерни мінливої та у складі травосумішок у наведених вище розмірах досягала 174–198 кг/га мінерального азоту, еквівалентного формі аміачної селітри, або 15,1–17,2 ГДж/га сукупної енергії. Еспарцет піщаний при коефіцієнті азотфіксації 46,9–49,8% накопичував до 105–118 кг/га біологічного азоту, що еквівалентно 305–343 кг/га мінерального азоту, або 26,5–29,7 ГДж/га сукупної енергії (табл. 5).

На другому році використання накопичення симбіотичного азоту люцерною мінливою та еспарцетом піщаним також було високим, – 37–55 кг/га у люцерни мінливої і 52–80 кг/га у еспарцету піщаного, при коефіцієнті азотфіксації, відповідно, – 23,7–31,6% і 29,7–39,4%. Фіксація атмосферного азоту люцерною мінливою у наведених розмірах була еквівалентною мінеральному – до 107–160 кг/га, або 9,3–13,9 ГДж/га сукупної енергії, проти 151–233 кг/га у еспарцету піщаного, або 13,1–20,2 ГДж/га сукупної енергії.

На третьому році використання травостоїв багаторічних бобових трав накопичення біологічного азоту культурами знижувалося до 36–37 кг/га у люцерни та до 15–22 кг/га у еспарцету піщаного, що пов'язано зі зміною видового ботанічного складу сіяних травостоїв, насамперед, з істотним зменшенням вмісту люцерни та еспарцету піщаного у складі травостоїв.

Через значне зниження участі у видовому ботанічному складі як у одновидових посівах, так

і у складі травосумішок еспарцету піщаного, накопичення симбіотичного азоту, еквівалентного мінеральному в формі аміачної селітри, у еспарцету складало лише 44–64 кг/га, або 3,8–5,5 ГДж/га, проти 105–108 кг/га або 9,1–9,3 ГДж/га сукупної енергії у люцерни. Вирощування одновидових посівів люцерни мінливої й еспарцету піщаного та їх травосумішок зі стоколосом безостим за трирічного використання дозволяло отримувати зелені корми, збалансовані за перетравним протеїном, без внесення мінеральних добрив та мати кращі попередники для зернових колосових культур протягом всіх років вирощування.

Визначений фракційний склад азоту в 0–20 см та 20–40 см шарах темно-каштанового ґрунту дослідного поля ДП “ДГ “Копані” після трирічного використання люцерни за інокуляції насіння Ековіталом свідчить, що, порівняно з іншими ланками сівозміни, він був найвищим і, залежно від шару ґрунту, складав: загального – 1006,3–1428,8 мг/кг, відповідно, мінерального – 24,9–46,3; лужногідролізованого – 113,8–186,0; важкогідролізованого – 155,5–214,4 й негідролізованого – 712,1–982,1 мг/кг ґрунту (табл. 6).

Достатньо велике накопичення усіх форм азоту в ґрунті обумовлено інокуляцією насіння люцерни комплексним біопрепаратом Ековітал.

Високий вміст в темно-каштановому ґрунті мінерального та лужногідролізованого азоту, при вирощуванні люцерни на кормові цілі й насіння, дозволяє без засто-

Таблиця 6

Фракційний склад азоту в різних ланках сівозміни ДП ДГ «Копані» Інституту зрошуваного землеробства НААН (2018 р.)

Ланка сівозміни	Глибина шару ґрунту, см	Фракційний склад азоту, мг/кг				
		загальний	мінеральний*	лужно-гідролізований	важко-гідролізований	негідролізований
Люцерна	0-20	1428,8	46,3	186,0	214,4	982,1
	20-40	1006,3	24,9	113,8	155,5	712,1
Пшениця озима	0-20	1176,0	19,2	121,2	179,7	855,9
	20-40	892,0	21,1	95,1	132,6	643,2
Соняшник	0-20	1123,0	22,3	110,7	168,4	821,6
	20-40	834,0	12,6	81,6	127,1	612,7
Пар чорний	0-20	1231,0	39,4	146,4	170,8	874,4
	20-40	917,0	25,1	99,5	134,3	658,1
НІР 05 (0-20 см), мг/кг		152,90	15,03	38,34	24,36	79,32
НІР 05 (20-40 см), мг/кг		82,04	6,69	15,19	14,28	47,62

*Примітка: мінеральний азот – (N –NO₃+N–NH₄).

сування мінеральних азотних добрив отримувати в умовах природного вологозабезпечення (без зрошення) достатньо високі урожаї зернових колосових культур, ріпаку озимого та соняшнику. Тому розширення посівних площ люцерни у поєднанні з комплексною інокуляцією в сучасних умовах господарювання є одним із найбільш ефективних заходів для виходу із того складного становища, що склалося протягом останніх років у дрібно-товарних фермерських господарствах та приватних господарствах населення Південного Степу України. Відтворення родючості деградованого темно-каштанового ґрунту досягалось за тривалострочового використання посухостійких видів бобових багаторічних трав, які в найбільшій мірі адаптовані до природно-кліматичних умов підзони Південного Степу – люцерни та еспарцету піщаного. При цьому висока продуктивність моновидових посівів люцерни, у межах 1,33–2,67 т/га корм. од. та 0,30–0,62 т/га перетравного протеїну, в південній частині зони Степу отримана в умовах природного зволоження (без зрошення).

Висновки. Основним напрямом, який забезпечує зменшення прояву фізичної та хімічної деградації ґрунтів, є створення високопродуктивних симбіотичних систем одновидових агрофітоценозів багаторічних бобових трав та бінарних бобово-злакових травосумішок, стійких до екстремальних погодних умов, що відмічаються останніми роками в зоні Степу. Збільшення посівної площі моновидових посівів люцерни та люцерно-злакових травосумішок у поєднанні з впровадженням новітніх біопрепаратів уже в найближчі роки дозволить усунути катастрофічне зниження родючості й деградацію різних типів ґрунтів, знизити екологічне навантаження на сільськогосподарські угіддя, мати кращі попередники для зернових, технічних та овочевих культур.

Використання представлених заходів сприятиме зменшенню впливу природних явищ, пов'язаних із глобальною й регіональною зміною клімату, істотному поліпшенню кормової бази для галузі тваринництва, зниженню мінералізації гумусу в ґрунтах, покращенню їх фізичних та фізико-хімічних властивостей й, насамперед, суттєвому збільшенню вмісту в них мінерального (N-NO₃+N-NH₄) та лужногідролізованого азоту.

Створення високопродуктивних одновидових агрофітоценозів люцерни й еспарцету піщаного й бінарних люцерно-злакових та еспарцето-злакових травосумішок на основі передових біотехнологій сприятиме також зменшенню катастрофічного впливу природних явищ, пов'язаних з глобальною та регіональною зміною клімату.

Динаміка природних ресурсів, безпека та сталий їх розвиток на неполивних землях та ґрунтах, порушених внаслідок екологічних катастроф, потребують впровадження комплексних методів вирішення ключових проблем захисту ґрунтових екосистем і сільськогосподарського виробництва на основі відновлювальних біотехнологій.

Подальше ігнорування впровадження зазначеного напрямку наукових досліджень й практичного їх використання у Південному Степу України призведе до ще більш критичного стану родючості ґрунтів і повної їх деградації. Як свідчить історія минулого та реалії сьогодення, у всіх державах, в яких домінувала фізична й хімічна деградація ґрунтів, завжди відбувався істотний занепад їх економіки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Балюк С.А., Тимченко Д.О., Гичка М.М. Концепція охорони ґрунтів від ерозії в Україні. *Вісник аграрної науки*. 2009. № 2. С. 5–10.
2. Балюк С.А., Медведєв В.В., Тараріко О.Г. Про стан родючості ґрунтів України. *Посібник українського хлібороба*. Київ, 2011. Том 1. С. 41–69.
3. Збір урожаю сільськогосподарських культур, плодів, ягід та винограду в регіонах України за 2015 рік. Київ: Державна служба статистики України, 2016. 93 с.
4. Ібатуллін І.І., Жукорський О.М. Довідник з повноцінної годівлі сільськогосподарських тварин; за ред. Ібатулліна І.І. Київ: ІТ НААН, 2016. 300 с.
5. Медведєв В.В. Стан родючості ґрунтів України та прогноз його змін за умов сучасного землеробства. Харків: Штрих, 2001. 98 с.
6. Медведєвський О.К., Іваненко П.І. Енергетичний аналіз інтенсивних технологій в сільськогосподарському виробництві. Київ: Урожай, 1988. 206 с.

7. Основні економічні показники виробництва продукції сільського господарства в сільгоспідприємствах за 1990–2016 рр. URL : www.ukrstat.gov.ua (дата звернення 14.03.2023).
8. Рижук С.М., Сорока В.І., Жилкін В.А. Вилучення з інтенсивного обробітку малопродуктивних земель та їхнє раціональне використання. Київ: Аграрна наука, 2000. 39 с.
9. Романенко В.А. Розрахунок осінньої вологості ґрунту за універсальним співвідношенням для великої площі. *Наукові праці Українського науково-дослідного гідрометеорологічного інституту*. 1961. Вип. 3. С. 12–25.
10. Сайко В.Ф., Бойко П. І. Сівозміни у землеробстві України. К.: Аграрна наука, 2002. 146 с.
11. Статистичний щорічник за 2020 рік. Київ : Державна служба статистики України, 2021.
12. Тараріко О.Г. Теорія і практика удосконалення структури землекористування в контексті консервації еродованих орних земель і збільшення площі кормових угідь. *Корми і кормовиробництво*. 1999. Вип. 46. С. 72–78.
13. Ушкаренко В.О. та ін. Статистичний аналіз результатів польових дослідів у землеробстві. Херсон: Айлант, 2013. 381 с.

REFERENCES:

1. Baliuk, S.A., Tymchenko, D.O., & Hychka, M.M. (2009). Kontseptsii okhorony gruntiv vid erozii v Ukraini [The concept of soil protection against in Ukraine]. *Visnyk ahrarnoi nauky – Bulletin of agricultural science*, 2, 5–10 [in Ukrainian].
2. Baliuk, S.A., Medvediev, V.V., & Tarariko, O.H. (2011). Pro stan rodiuchosti gruntiv Ukrainy [About the state of soil fertility of Ukraine]. *Posibnyk ukraïnskoho khliboroba – Ukrainian farmer's guide*, 1, 41–69 [in Ukrainian].
3. *Zbir urozhaiu silskohospodarskykh kultur, plodiv, yahid ta vynohradu v rehionakh Ukrainy za 2015 rik [Harvest of agricultural crops, fruits, grapes and grapes in the regions of Ukraine for 2015]*. (2016). Kyiv: Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy [in Ukrainian].
4. Ibatullin, I.I., & Zhukorskyi, O.M. (2016). *Dovidnyk z povnotsinnoi hodivli silskohospodarskykh tvaryn [Handbook of complete feeding of farm animals]*. Kyiv: IT NAAN [in Ukrainian].
5. Medvediev, V.V. (2001). Stan rodiuchosti gruntiv Ukrainy ta prohnoz yoho zmin za umov suchasnoho zemlerobstva [The state of soil fertility of Ukraine and the forecast of its changes under the conditions of modern agriculture]. Kharkiv: Shtrykh [in Ukrainian].
6. Medvedovskyi, O.K., & Ivanenko, P.I. (1988). Enerhetychnyi analiz intensyvykh tekhnolohii v silskohospodarskomu vyrobnytstvi [Energy analysis of intensive technologies in agricultural production]. Kyiv: Urozhai [in Ukrainian].
7. Osnovni ekonomichni pokaznyky vyrobnytstva produktii silskoho gospodarstva v silhospidpriemstvakh za 1990–2016 [The main economic indicators of the production of agricultural products in agricultural enterprises for 1990–2016]. URL: www.ukrstat.gov.ua [in Ukrainian].
8. Ryzhuk, S.M., Soroka, V.I., & Zhylykin, V.A. (2000). Vyluchennia z intensyvnogo obrobittku maloproduktyvnykh zemel ta yikhnie ratsionalne vykorystannia

- [Removal of unproductive lands from intensive cultivation and their rational use]. Kyiv: Ahrarna nauka [in Ukrainian].
9. Romanenko, V.A. (1961). Rozrakhunok osinnoi volohosti gruntu za universalnym spivvidnoshenniam dla velykoi ploshchi [Computation of the autumn soil moisture using a universal relationship for a large area]. *Naukovi pratsi Ukraïnskoho naukovo-doslidnoho hidrometeorolohichnoho instytutu*, 3, 12–25 [in Ukrainian].
 10. Saiko, V.F., & Boiko, P.I. (2002). *Sivozminy u zemlerobstvi Ukrainy* [Crop rotations in the agriculture of Ukraine]. Kyiv: Ahrarna nauka, 146 [in Ukrainian].
 11. Statystychnyi shchorichnyk za 2020 rik [Statistical yearbook for 2020]. (2021). Kyiv: Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy [in Ukrainian].
 12. Tarariko, O.H. (1999). Teoriia i praktyka udoskonalennia struktury zemlekorystuvannia v konteksti konservatsii erodovanykh ornnykh zemel i zbilshennia ploshchi kormovykh uhid [Theory and practice of improving the structure of land use in the context of conservation of eroded arable land and increasing the area of fodder land]. *Kormy i kormovyrobnytstvo – Fodder and fodder production*, 46, 72–78 [in Ukrainian].
 13. Ushkarenko, V.O., Vozhehova, R.A., Holoborodko, S.P., & Kokovichin, S.V. (2013). Statystychnyi analiz rezultativ polovykh doslidiv u zemlerobstvi [Statistical analysis of the results of field experiments in agriculture]. Kherson: Ailant [in Ukrainian].

Вожегова Р.А., Голобородько С.П., Іутинська Г.О., Титова Л.В., Дубинська О.Д. Ландшафтно-екологічний стан та шляхи відтворення родючості деградованих земель Південного Степу України

Розширення площ орних земель у степовій зоні України призвело до дестабілізації агроландшафтів, роззораність яких на сьогодні досягає найвищих показників у світі. За рахунок скорочення посівів багаторічних трав та цукрових буряків протягом останніх років відбулося істотне збільшення посівних площ пшениці озимої, кукурудзи, соняшнику, ріпаку озимого, – культур, які користуються підвищеним попитом на ринку. Перетворення природних степових ландшафтів Південного Степу на зону з виробництва зернових і технічних культур за суттєвого скорочення посівних площ кормових культур спричинило глобальні негативні явища в існуючих агроландшафтах й, насамперед деградацію й істотне зниження родючості ґрунтів, що призвело до виникнення значних екологічних та соціально-економічних проблем.

Метою досліджень було агробіологічне обґрунтування сучасного ландшафтно-екологічного стану сільськогосподарських угідь Південного Степу України та розробка ресурсозберігаючих технологій вирощування високопродуктивних багаторічних трав на кормові цілі за тимчасової або постійної консервації орних земель, вилучених з обробітку, в умовах природного зволоження. **Методи.** Польові досліді проводили в Державному підприємстві «Дослідне господарство «Копані»» Інституту зрошуваного землеробства НААН України (Херсон). Залуження орних земель проводили багаторічними бобовими й злаковими травами, найбільш адаптованими до природно-кліматичних умов підзони Південного Степу України. В залежності від термінів використання, у травосумішці включали пажитницю багатоквіткову (*Lolium multiflorum* Lam.) сорту Ярослав

та еспарцет піщаний (*Onobrychis arenaria* Kit.) сорту Інгульський, кострицю східну (*Festuca orientalis* (Hack.) V. Krecz.) сорту Доменіка й люцерну мінливу (*Medicago varia* T. Martyn.) сорту Веселка, стоколос безостий (*Bromopsis inermis* (Loyss.) Holub) сорту Таврійський та люцерну мінливу сорту Веселка, пирій середній (*Elytrigia intermedia* (Host) Nevski) сорту Вітас та люцерну мінливу сорту Унітро. Визначали показники потенційного випаровування і дефіциту вологозабезпечення за роками досліджень, густоту травостоїв, зміну видового ботанічного складу, вміст сухої речовини, вихід кормових одиниць, валової та обмінної енергії, кількість фіксованого біологічного азоту і фракційний склад азоту в ґрунті.

Результати. Максимальний збір перетравного протеїну протягом усіх років використання багаторічних трав отримано у моновидових посівах люцерни мінливої – 0,30–0,62 т/га, а також у посівах бінарних люцерно-злакових травосумішок – 0,30–0,59 т/га, що істотно залежало від участі у видовому ботанічному складі люцерни мінливої. Вирощування одновидових посівів люцерни мінливої й еспарцету піщаного та їх травосумішок зі злаковими травами за трирічного використання дозволяло отримувати зелені корми, збалансовані за перетравним протеїном, без внесення мінеральних добрив та мати кращі попередники для зернових колосових культур протягом усіх років вирощування. Після трирічного використання люцерни мінливої за інокуляції насіння комплексним мікробним біопрепаратом Ековітал відбувалось найбільше накопичення всіх фракцій азоту в 0–20 см та 20–40 см шарах ґрунту порівняно з іншими ланками сівозміни. **Висновок.** Створення високопродуктивних одновидових агрофітоценозів люцерни й еспарцету піщаного і бінарних люцерно-злакових та еспарцето-злакових травосумішок у поєднанні з впровадженням новітніх біопрепаратів сприятиме відновленню родючості деградованих земель та стабілізації сільськогосподарського виробництва.

Ключові слова: деградація ґрунтів, відновлення родючості, багаторічні трави, біопрепарати, водний баланс, фракційний склад азоту.

Vozhehova R.A., Goloborodko S.P., Iutynska H.O., Tytova L.V., Dubynska O.D. Landscape and environmental condition and ways of recovering the fertility of degraded lands of the Southern Steppe of Ukraine

The expansion of arable land areas in the steppe zone of Ukraine has led to the destabilization of agrolandscapes, the arableness of which currently reaches the highest indicators in the world. Due to the reduction of crops of perennial grasses and sugar beets in recent years, there has been a significant increase in the sown areas of winter wheat, corn, sunflower, winter rapeseed – crops that are in high demand on the market. The transformation of the natural steppe landscapes of the Southern Steppe into a zone for the production of grain and industrial crops with a significant reduction in the sown areas of fodder crops caused global negative phenomena in the existing agrolandscapes and,

above all, degradation and a significant decrease in soil fertility, which led to the emergence of significant ecological and socio-economic problems. **The aim** of the research was the agrobiological substantiation of the modern landscape-ecological state of the agricultural lands of the Southern Steppe of Ukraine and the development of resource-saving technologies for the cultivation of highly productive perennial grasses for fodder purposes with the temporary or permanent conservation of arable land removed from cultivation under conditions of natural moisture. **Methods.** The field experiments were carried out at the State Research Farm «Kopani» of the Institute of Irrigated Agriculture of the NAAS of Ukraine (Kherson). Cultivation of arable land was carried out with perennial leguminous and cereal grasses, the most adapted to the natural and climatic conditions of the subzone of the southern Steppe of Ukraine. Depending on the terms of use, the herbal mixture included multi-flowered fenugreek (*Lolium multiflorum* Lam.) of the Yaroslav cultivar and sand safflower (*Onobrychis arenaria* Kit.) of the Ingulsky cultivar, eastern sedge (*Festuca orientalis* (Hack.) V. Krecz.) of the Domenica cultivar and variable alfalfa (*Medicago varia* T. Martyn.) of the Veselka cultivar, thornless cornflower (*Bromopsis inermis* (Loyss.) Holub) of the Tavriyskyi cultivar and variable alfalfa of the Veselka cultivar, medium heather (*Elytrigia intermedia* (Host) Nevski) of the Vitas cultivar and variable alfalfa of the Unitro cultivar. We determined the indicators of potential evaporation and moisture deficit over the years of research, the content of dry matter, the density of grass stands, the change in species botanical composition, the output of feed units, gross and exchangeable energy, the amount of fixed biological nitrogen, as well as the fractional composition of nitrogen in the soil. **The results.** It was established that the maximum of the digestible protein yield during all years of using perennial grasses was facilitated by single-species crops of variable alfalfa – 0.30–0.62 t/ha, as well as by crops of binary alfalfa-cereal grass mixtures – 0.30–0.59 t/ha, which significantly depended on participation in the species botanical composition of variable alfalfa. Cultivation of single-species crops of variable alfalfa and sandy safflower and their grass mixtures with cereal grasses for three years of use made it possible to obtain green fodder balanced in terms of digestible protein, without applying mineral fertilizers and to have better predecessors for grain ear crops during all years of cultivation. After the three-year use of variable alfalfa after seed inoculation with the complex biopreparation Ecovital, the greatest accumulation of all nitrogen fractions occurred in the 0–20 cm and 20–40 cm soil layers compared to other sections of the crop rotation. **Conclusion.** The creation of highly productive single-species agrophytocenoses of alfalfa and sandy safflower and binary alfalfa-cereal and safflower-cereal grass mixtures in combination with the introduction of the novel biotechnologies will contribute to restoring the fertility of degraded lands and stabilizing agricultural production.

Key words: soil degradation, restoration of fertility, perennial grasses, biological preparations, water balance, fractional composition of nitrogen.