

ОПТИМІЗАЦІЯ АГРОТЕХНІЧНИХ ЗАХОДІВ ВИРОЩУВАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР В ЗОНІ ДІЇ ІНГУЛЕЦЬКОЇ ЗРОШУВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ

Біднина Ірина Олександрівна

кандидат сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник
Інститут зрошувального землеробства Національної академії аграрних наук, м. Херсон, Україна

ORCID: 0000-0001-8351-2519

irinabidnina@ukr.net

Узагальнено результати багаторічних досліджень щодо вмісту гумусу на поливних землях Інгулецької зрошувальної системи за використання води з підвищеною мінералізацією. Доведено прояв дегуміфікації темно-каштанових ґрунтів за недостатнього надходження в орний шар поживних залишків і органічних добрив, збільшення частки просапних культур тощо, що потребує впровадження комплексу еколого-меліоративних заходів для попередження процесів деградації та ерозії ґрунту. Аналіз даних урожайності культур сівозміни в середньому роки досліджень показує, що найкращі умови для формування врожаю сільськогосподарських культур у досліді створювалися за диференційованої системи обробітку ґрунту з одним щільюванням за ротацію сівозміни, та з внесенням збільшених доз добрив, що на 1 га сівозміної площі забезпечило найвищу урожайність, яка становила для кукурудзи 15,61 т/га, сорго – 8,71, пшениці озимої – 6,88, та лише для сої найкращі умови у створювалися за полицевого обробітку – 3,79 т/га. Проведення дискового обробітку на глибину 12–14 см у системі мілкового безполіцевого обробітку ґрунту в сівозміні призвело до зниження врожаю на 33,7 %, а без внесення добрив – до найменшої врожайності у досліді (3,07 т/га). Застосування добрив дозами N120 та N180 збільшувало врожайність у середньому по фактору В («доза внесення добрив») на 166,4 та 233,3 %. Оцінка продуктивності культур сівозміни в середньому за 2016-2020 рр. показує, що найкращі умови для її формування створюються за диференційованої системи обробітку ґрунту з одним щільюванням за ротацію сівозміни та з внесенням збільшених доз добрив, що на 1 га сівозміної площі забезпечило найвищу продуктивність, 7,96 т/га. Найвищий прибуток з 1 га сівозміної площі (43214,5 грн/га) отримано за диференційованого обробітку ґрунту та фону живлення N120P45. В цьому ж варіанті визначено найвищий рівень рентабельності – 212,5%. Найнижчий рівень рентабельності спостерігався за проведенням дискового обробітку в системі мілкового безполіцевого обробітку ґрунту в сівозміні на неудобреному фоні – 14,7%. Вихід валової енергії культур на 1 га сівозміної площі у неудобреному варіанті та за фону живлення N82,5P45 був найвищим у системі диференційованого обробітку ґрунту і складав відповідно 76,0 і 167,9 ГДж/га.

Ключові слова: меліорація, зрошення, обробіток ґрунту, удобрення, врожайність, моделювання, економічна ефективність, енергетична оцінка.

DOI <https://doi.org/10.32845/agrobio.2022.1.3>

Вступ. Дефіцит води, що виникає в природному середовищі, є результатом прогресуючих змін клімату, в тому числі зменшення кількості атмосферних опадів. Наприклад, у переважній більшості європейських країн у період вегетації трапляються посухи один раз на 3–5 років та завдають економічних збитків у рослинництві та в лісових угрупованнях (Morozov et al., 2018). На меліорованих об'єктах є меліоративні пристрої, що дозволяють регулювати вологість, у тому числі зрошувати ґрунти у період посухи та дефіциту атмосферних опадів (Vozhehova et al., 2018; Mahmoodi-Eshkaftakia et al., 2020).

Дослідження показали, що волокнисто-глинисті ґрунти, які, наприклад, виникають на цьому об'єкті через відсутність опадів та зрошення, зменшують здатність утримувати воду приблизно на 30 %. Модернізація та реконструкція дренажних пристроїв на долинних об'єктах дозволяє збільшувати утримання води в межах окремих водозборів (Kiryluk, 2019).

Зрошення – один із найбільш вагомих антропогенних факторів підвищення продуктивності земель посушливої зони України. Але додаткове надходження вологи в умовах зрошення приводить до зміни характеру і спрямованості ґрунтових процесів. Визначення цих процесів, їх

закономірностей є актуальною проблемою для розвитку сучасного зрошувального землеробства (Vozhehova et al., 2018; DalCorso et al., 2019). Особливе місце в системах ведення землеробства на поливних землях за умов довготривалого зрошення мінералізованими водами Інгулецького зрошувального масиву (ІЗМ) займають питання формування еколого-меліоративного стану земель, поживного режиму ґрунту та вологозабезпеченості, сприятливих для різних сільськогосподарських культур (Morozov et al., 2018).

У наш час ґрунт більше не залишається єдиним середовищем для росту й розвитку рослин, але він залишається дуже цінним ресурсом для людства, особливо з екологічної точки зору, для формування сталих і високопродуктивних рослинних та тваринних агроєкосистем (Hasan et al., 2019). Враховуючи сучасний рівень деградації земель, забруднення ґрунтів важкими металами, пестицидами, нафтопродуктами, засолення та осолонцювання, є необхідність розробки та впровадження нових підходів до підтримки здоров'я ґрунту за допомогою науково обґрунтованих агрозаходів, що спрямовані на зростання вмісту в ґрунтах гумусу та органічних речовин, підвищення врожайності та якості продукції, економічної та енергетичної ефективності сільського

господарства (Suman et al., 2018; Tadayon et al., 2020). При цьому необхідним компонентом меліорації земель є диверсифікація джерел надходження поживних речовин з акцентом на використання органічних добрив (Fasani et al., 2018; Kireycheva, 2018).

За диверсифікації виробничих систем через запровадження природоохоронного та органічного землеробства варто переглянути роль добрив у оздоровленні ґрунтів (Shahane et al., 2021). Закрита система кругообігу поживних речовин, що досягається за рахунок комплексної системи землеробства, буде самодостатнім фактором управління здоров'ям ґрунту, а також підвищення ефективності використання ресурсів (Tahat et al., 2020). Необхідно приділяти увагу біологічному здоров'ю ґрунту, із залученням спроб збільшення мікробного різноманіття ґрунту і скорочення забруднення ґрунтів, викликаного широким використанням агрохімікатів, наприклад, хімічних добрив (Yan et al., 2020). Доведено, що в умовах недостатнього дренажу ґрунтів, недотримання науково обґрунтованих режимів зрошення та техніки поливу, порушення агротехніки та побудови сівозмін під час тривалого зрошення призводить до погіршення властивостей ґрунтів, їх засолення і підлужування (Gornostal, 2019).

Дослідження чорноземних ґрунтів показують, що запаси лужногідролізованого азоту, рухомого фосфору та обмінного калію знаходяться на середньому та високому рівнях. Вони мають важкий суглинний гранулометричний склад; сприятливі гідрофізичні властивості, оптимальну щільність, високу вологостримуючу здатність, їх водопроникність оцінюється як оптимальна (Suleymanova et al., 2021).

Під час досліджень ефективності застосування агро меліоративних заходів велике значення має моделювання та оцінка економіко-енергетичних показників (Li et al., 2018). Наприклад, є можливість визначення взаємозалежностей між функціями загального вод-

ного потенціалу ґрунту та відносною врожайністю сільськогосподарських культур зрошуваної сівозміни. Спринклерні та краплинні зрошувальні системи показали, що існує високий ступінь зв'язку між експериментальними та прогнозними значеннями (Beltrao et al., 2021).

Невеликі відмінності, що спостерігаються між фактичними та змодельованими даними охарактеризовані у літературних джерелах (Jacob et al., 2018; Javed et al., 2019; Huang et al., 2021), характеризують динамічні моделі як достатньо точні. Розроблені моделі дозволяють встановити розподіл води у ґрунті при поверхневому краплинному зрошенні, враховуючи основні параметри поливного режиму та динаміки вологості ґрунту (Argees et al., 2019). Для економічної та енергетичної оцінки ефективності меліорації запропоновано змодельовані показники, які відображають різницю між радіаційним балансом, вартістю ресурсів, енергією ґрунтоутворення та енергією, акумульованою у гумусі ґрунту та рослинницькій продукції. Такий підхід дозволяє перейти від речової оцінки до уніфікованої енергетичної оцінки (Tadayon et al., 2020; Schmer et al., 2020).

Матеріали і методи досліджень. Дослідження проведені впродовж 2016–2020 рр. на дослідному полі Інституту зрошуваного землеробства Національної академії аграрних наук України у стаціонарному польовому досліді. При розробці схеми досліді дотримувались принципу єдиної різниці, діапазону градацій факторів, який дозволяє визначити оптимальні параметри дії кожного фактору, та рекомендацій науково-дослідних установ України (Morozov et al., 2019). У плодозмінній сівозміні на зрошенні у двофакторному польовому досліді досліджували п'ять систем основного обробітку ґрунту та три фони мінерального живлення (табл. 1–2).

Агротехніка вирощування у зрошуваній сівозміні була загально визнана для умов Південного Степу України.

Таблиця 1

Схема стаціонарного досліді в 2016–2020 рр.

№ вар.	Система основного обробітку ґрунту (фактор А)	Культури сівозміни			
		Кукурудза на зерно	Сорго	Пшениця озима	Соя
1	Полицева	20–22 (о)	23–25 (о)	14–16 (о)	25–27 (о)
2	Безполицева–1	20–22 (ч)	23–25 (ч)	14–16 (ч)	25–27 (ч)
3	Безполицева–2	12–14 (д)	12–14 (д)	12–14 (д)	12–14 (д)
4	Диференційована–1	8–10 (д)	12–14 (ч) + 38–40 (щ)	8–10 (д)	14–16 (д)
5	Диференційована–2	18–20 (о)	16–18 (ч)	10–12 (д)	14–16 (д)

Примітка: о – оранка; ч – чизельне розпушування; д – дисковий обробіток; щ – щілювання.

Таблиця 2

Фон мінерального живлення в стаціонарному досліді в 2016–2020 рр.

Фон мінерального живлення (фактор В)	Культури сівозміни				Усереднена доза сівозміни
	Кукурудза на зерно	Сорго	Пшениця озима	Соя	
Контроль	1. Без добрив	1. Без добрив	1. Без добрив	1. Без добрив	1. Без добрив
Фон-1	2. N ₁₂₀	2. N ₉₀ P ₆₀	2. N ₉₀ P ₆₀	2. N ₃₀ P ₆₀	2. N _{82,5} P ₄₅
Фон-2	3. N ₁₈₀	3. N ₁₂₀ P ₆₀	3. N ₁₂₀ P ₆₀	3. N ₆₀ P ₆₀	3. N ₁₂₀ P ₄₅

Результати. Оцінка продуктивності культур сівозміни в середньому за 2016–2020 рр. показує, що найкращі умови для формування продуктивності створюються за диференційованої-1 системи обробітку ґрунту з одним щільуванням за ротацію сівозміни (варіант 4) та з внесенням збільшених доз добрив (усереднена $N_{120} P_{45}$), що на 1 га сівозмінної площі забезпечило найвищу продуктивність – 7,96 т/га. Заміна глибокого обробітку дисковим на глибину 12–14 см у системі тривалого застосування мілкого безполицевого-2 обробітку ґрунту в сівозміні (варіант 3) призвела до зниження врожаю на 32,1 %, за інших варіантів – на 5,6–10,9 % (табл. 3).

Для оцінки економічної й енергетичної ефективності агроприйомів вирощування с.-г. культур виробничі витрати розраховували за нормами й розцінками 2020 р., діючими в межах степової зони України (табл. 4).

Найвищий прибуток з 1 га сівозмінної площі (43 214,5 грн/га) отримано за фону живлення $N_{120} P_{45}$ за диференційовано-1 обробітку ґрунту (варіант 4). У цьому ж варіанті визначено найвищий рівень рентабельності – 212,5%. За інших систем обробітку ґрунту та доз добрив вона знижувалась до меж 14,7–206,3%. Найнижчий рівень рентабельності спостерігався за проведення дискового обробітку в системі мілкого безполицевого-2 обробітку ґрунту в сівозміні (варіант 3) на неудобреному фоні – 14,7%.

Вихід валової енергії культур на 1 га сівозмінної площі у неудобреному варіанті та за усередненого фону живлення $N_{82,5} P_{45}$ був найвищим за системи диференційовано-1 обробітку ґрунту (варіант 4) і складав 76,0 і 167,9 ГДж/га. Енергетичний коефіцієнт у системі диференційовано-1 обробітку ґрунту (варіант 4) був максимальним і сягав 2,1, 4,5 та 4,4 відповідно до досліджуваних фонів живлення.

За результатами довготривалого зрошення високо-мінералізованими водами у ґрунтах Інгuleцького зрошувального масиву встановлено істотне зниження вмісту гумусу і високу просторову неоднорідність за період 2003-2018 рр. (табл. 5, рис. 1).

За період з 2003 по 2018 рр. середньозважений показник вмісту гумусу по ІЗМ знизився на 0,73 %. Так, якщо за період проведення 8-го туру агрохімічного обстеження середньозважений показник вмісту гумусу в ґрунтах Інгuleцького зрошувального масиву складав 2,43%, то вже в 11-му турі відсоток органічної речовини у зрошуваних ґрунтах становив 1,70 %. За довготривалого зрошення високо-мінералізованими водами в ґрунтах ІЗМ відзначається тенденція зменшення площ із підвищеним і середнім вмістом гумусу та їх перерозподіл до категорії середньо- та низькозабезпечених ґрунтів.

Просторова варіабельність ґрунтових властивостей переважно відрізняється нестационарним (нетиповим)

Таблиця 3

Продуктивність сівозміни, т/га (середнє за 2016–2020 рр.)

№	Спосіб та глибина основного обробітку ґрунту (фактор А)	Удобрєння (фактор В)			Середнє по фактору А
		без добрив	$N_{82,5} P_{45}$	$N_{120} P_{45}$	
1	Полицева	3,21	6,20	7,85	5,75
2	Безполицева-1	2,94	5,89	7,58	5,47
3	Безполицева-2	2,44	4,89	6,13	4,49
4	Диференційована-1	3,32	6,34	7,96	5,87
5	Диференційована-2	2,89	5,98	7,44	5,44
Середнє по фактору В		2,96	5,86	7,39	–

Таблиця 4

Оцінка енергетичної та економічної ефективності вирощування сільськогосподарських культур під впливом різних елементів технології (середнє за 2016–2020 рр.)

№ варіанту	Економічні показники на 1 га					
	Прибуток, грн.			Рівень рентабельності, %		
	без добрив	$N_{82,5} P_{45}$	$N_{120} P_{45}$	без добрив	$N_{82,5} P_{45}$	$N_{120} P_{45}$
1	8709,3	32072,1	39951,8	66,7	174,7	195,7
2	6741,2	29113,4	37341,2	48,3	159,5	181,6
3	1983,9	17724,2	22548,1	14,7	95,2	108,9
4	10772,5	36576,9	43214,5	81,6	206,3	212,5
5	6075,8	29797,9	36990,1	45,4	165,5	174,4
№ варіанту	Енергетичні показники на 1 га					
	Вихід валової енергії, ГДж			Коефіцієнт енергетичної ефективності		
	без добрив	$N_{82,5} P_{45}$	$N_{120} P_{45}$	без добрив	$N_{82,5} P_{45}$	$N_{120} P_{45}$
1	72,8	152,9	175,7	1,9	3,9	4,4
2	63,4	143,6	166,0	1,8	3,8	4,4
3	55,0	109,7	126,5	1,6	3,0	3,4
4	76,0	166,6	167,9	2,1	4,5	4,4
5	62,6	146,2	158,3	1,7	3,9	4,2

Середньозважені показники вмісту гумусу в зрошуваних ґрунтах Білозерського району Херсонської області (Інгулецький зрошуваний масив, 2003–2018 рр.)

Тур агрохімічного обстеження*	Рік обстеження	Вміст гумусу, %	Рівень вмісту гумусу	± %, до попереднього туру
8	2003	2,43	середній	–
9	2008	2,34	середній	–0,09
10	2013	2,16	середній	–0,18
11	2018	1,70	низький	–0,46

Примітка: * використані дані агрохімічних обстежень, які були проведені Херсонською філією ДУ «Інститут охорони ґрунтів України».

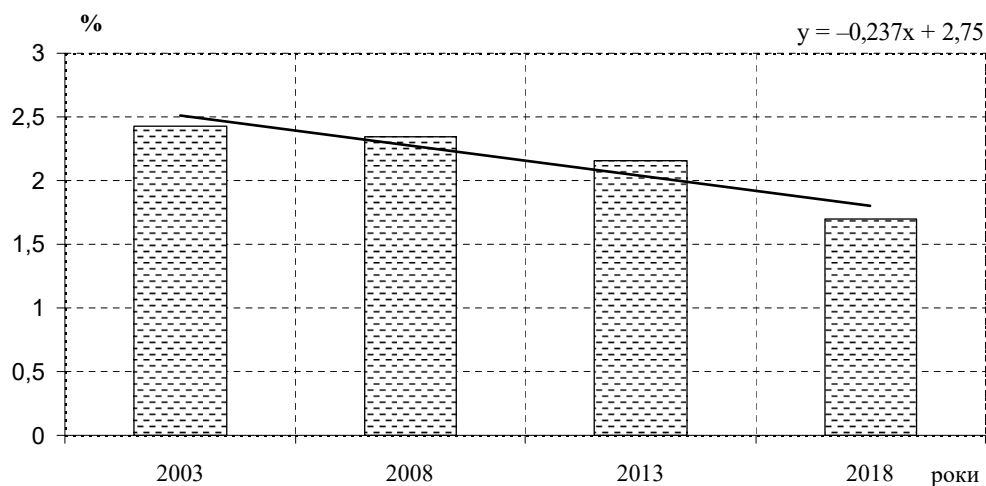


Рис. 1. Динаміка вмісту гумусу в зрошуваних ґрунтах Білозерського району Херсонської області (Інгулецький зрошуваний масив, 2003–2018 рр.)

характером їх розподілу в зрошуваних агроландшафтах, що в значній мірі визначено культурою землеробства і ґрунтовою різноманітністю.

Обговорення. Інтенсифікація використання поливних земель за умов довготривалого зрошення водами підвищеної мінералізації без наукового обґрунтування призводить до погіршення еколого-меліоративного стану і поживного режиму ґрунту, незадовільного фітосанітарного стану посівів, деградації ґрунтів та опустелювання земель, що викликає необхідність підвищення доз внесення мінеральних добрив, меліорантів та засобів захисту рослин (Nosko et al., 1988). В цілому хімічне навантаження на агроценози зростає в 2–3 рази, що негативно впливає на довкілля (Kozlenko et al., 2020).

Гумус належить до складних динамічних комплексів органічних сполук, що утворюється внаслідок розкладення і гуміфікації решток рослинного і тваринного походження (Morozov et al., 2018). При здійсненні зрошувальних меліорацій змінюються умови формування, що визначають спрямованість та інтенсивність ґрунтових процесів. Результати цих змін можуть бути як позитивними (поліпшення водозабезпечення, підвищення родючості ґрунтів тощо), так і негативними (Гатайпов, 1997). Кількісний вміст гумусу підпорядкований певній зональності і зумовлений особливостями генезису ґрунтів (тип ґрунтоутворення, гранулометричний склад, вид рослинності тощо). Така закономірність спостерігається і в темно-каштанових ґрунтах ІЗМ та підтверджується

результатами еколого-агрохімічного обстеження зрошуваних ґрунтів сільськогосподарського призначення (Morozov et al., 2019).

Закономірності розвитку ґрунтоутворних процесів залежать від багатьох факторів: тривалості зрошення, способу поливу, якості зрошувальної води, агротехніки вирощування сільськогосподарських культур, застосування добрив і меліорантів. Тобто сучасні ґрунтові процеси та режими залежать від конкретних умов зони, регіону, меліоративного стану ґрунту та історії його використання (Hnatenko et al., 2005).

Численні дослідження з використання поливних земель в сучасній науковій літературі недостатньо мірою аналізують формування еколого-меліоративного стану земель за умов довготривалого зрошення мінералізованими водами (Кругинов, 1993; Натайпнова et al., 2008; Лисецький et al., 2017). Вивчення напряму формування еколого-меліоративного стану зрошуваних та прилеглих до них земель під впливом антропогенних факторів та змін клімату дає можливість запропонувати заходи щодо раціонального використання зрошуваних земель та нормування меліоративних навантажень, що й визначає актуальність даних досліджень (Morozov et al., 2019). Таким чином, наші експериментальні дані узгоджені з результатами досліджень інших вчених, й свідчать, що застосування диференційованих систем основного обробітку та удобрення мають як економічно-енергетичні, так і еколого-меліоративні переваги.

Висновки. У багаторічних польових дослідах установлено, що довготривале використання поливних вод Інгулецької зрошувальної системи обумовлює суттєве зменшення вмісту гумусу – до 0,46% за останній тур обстеження. Тому необхідно з всебічним обґрунтуванням планувати структуру посівних площ і оптимізувати сівозміни з нормованим застосуванням мінеральних добрив, використовувати диференційовані системи основного обробітку ґрунту тощо. Оцінка продуктивності культур сівозміни в середньому за 2016–2020 рр. показує, що найкращі умови для формування продуктивності створюються за диференційованої системи обробітку ґрунту з одним

щільюванням за ротацію сівозміни (варіант 4) та з внесенням збільшених доз добрив, що на 1 га сівозміної площі забезпечило найвищу урожайність – 7,96 т/га. Визначено, що найбільший прибуток з 1 га сівозміної площі (43214,5 грн/га) отримано за диференційованого обробітку ґрунту (варіант 4) та фону живлення $N_{120}P_{45}$. У цьому ж варіанті визначено найвищий рівень рентабельності – 212,5%. За інших систем обробітку ґрунту та доз добрив вона знижувалась до меж 14,7–206,3%. Енергетичний коефіцієнт у системі диференційованого обробітку ґрунту (варіант 4) був максимальним і сягав 2,1, 4,5 та 4,4 відповідно до досліджуваних фонів живлення.

Бібліографічні посилання:

1. Arraes, F. D. D., Miranda, J. H., & Duarte, S. N. (2019) Modelling soil water redistribution under surface drip irrigation. *Engenharia Agrícola, Jaboticabal*, 39 (1), 55–64, jan./feb. doi: 10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v39n1p55-64/2019
2. Beltrao, J., Bekmirzaev, G., & Asher, J. B. (2021). Linear Relationship of a Soil Total Water Potential Function and Relative Yield – A Technique to Control Salinity and Water Stress on Golf Courses and Other Irrigated Fields. *Agronomy*, 11(10), 1–16; doi: 10.3390/agronomy11101916
3. DalCorso, G., Fasani, E., Manara, A., Visioli, G., & Furini, A. (2019). Heavy metal pollutions: state of the art and innovation in phytoremediation. *Int. J. Mol. Sci.*, 20, 12–16. doi: 10.3390/ijms20143412
4. Fasani, E., Manara, A., Martini, F., Furini, A., & DalCorso, G. (2018). The potential of genetic engineering of plants for theremediation of soils contaminated with heavy metals. *Plant, Cell and Environment*, 41, 1201–1232. doi: 10.1111/pce.1296
5. Gamajunov, V. E. (1997). *Pochvovedenie [Soil science]*. Herson. Kolos.
6. Gornostal, R. (2019). The Effect of Prolonged Irrigation on Soil-amelioration State of the Aley River Steppe. *KnE Life Sciences*, 347–361. doi: 10.18502/kls.v4i14.5621.
7. Hamaiunova, V. V., Sydorenko, O. I., & Babanin, V. V. (2008). *Laboratornyi praktykum z ahrokhimii [Laboratory workshop on agrochemistry]*. Kherson (in Ukrainian).
8. Hasan, M. M., Uddin, M. N., Ara-Sharmeen, F. I., Alharby, H., Alzahrani, Y., & Hakeem, K. R. (2019). Assisting phytoremediation of heavy metals using chemical amendments. *Plants*, 8, 295. doi: 10.3390/ijms20143412
9. Hnatenko, O. F., Kapshtyk, M. V., Petrenko, L. R., & Vitvytskyi, S. V. (2005). *Gruntoznavstvo z osnovamy heolohii [Soil science with the basics of geology]*. Oranta, Kyiv. (in Ukrainian).
10. Huang P., Kang Y., Wan Sh., Li X. (2021). Amelioration of takyric solonetz using drip irrigation with soil-water-redistribution medium. *Irrigation and Drainage*, 78. doi: 10.1002/ird.2644
11. Jacob, J. M., Karthik, C., Saratale, R. G., Kumar, S. S., Prabakar, D., & Kadirvelu, K. (2018). Biological approaches to tackle heavy metal pollution: a survey of literature. *Jorn. Environ. Manage*, 217, 56–70. doi: 10.1016/j.jenvman.2018.03.077
12. Javed, M. T., Tanwir, K., Akram, M. S., Shahid, M., Niazi, N. K., & Lindberg, S. (2019). Chapter 20 – Phytoremediation of cadmium-polluted water/sediment by aquatic macrophytes: role of plant-induced pH changes. *Cadmium Toxicity and Tolerance in Plants*, 495–529. doi: 10.1016/B978-0-12-814864-8.00020-6
13. Kireycheva, L.V. (2018). Evaluation of efficiency of land reclamation in Russia. *Journal of Agriculture and Environment*, 3 (7). doi: 10.23649/jae.2018.3.7.1
14. Kirylyuk, A. (2019). The Influence of Drainage Devices and Post-Bog Soil Changes on Water Retention in Drained Lower Supraśl River. *Journal of Ecological Engineering Received*, 20 (8), 120–128. doi: 10.12911/22998993/110788
15. Kozlenko, Ye. V., Morozov, O. V., & Morozov, V. V. (2020). *Inhuletska zroshuvalna systema: stan, problemy ta perspektyvy rozvytku [Ingulets irrigation system: state, problems and prospects of development]*. Ailant. Kherson. 204 (in Ukrainian).
16. Krykunov, V. H. (1993). *Grunty i yikh rodiuchist [Soils and their fertility]*. Kyiv : Vyshcha shkola (in Ukrainian).
17. Li, F. Z., Huang, Z. B., Ma, Y., & Sun, Z. J. (2018). Improvement Effects of Different Environmental Materials on Coastal Saline-Alkali Soil in Yellow River Delta. *Materials Science Forum*, 913, 879–886. doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.913.879
18. Liseckij, F. N., Pichura, V. I., & Breus, D. S. (2017). Ocenka i prognoz izmenenij soderzhaniya gumusa v stepnyh pochvah s ispol'zovaniem geoinformacionnyh i nejrotehnologij [Assessment and forecast of changes in the humus content in steppe soils using geoinformation and neurotechnologies]. *Rossijskaja sel'skohozjajstvennaja nauka*, 1, 24–29 (in Russian).
19. Mahmoodi-Eshkaftakia, M., & Rafie Rafieeb M. (2020). Optimization of irrigation management: A multi-objective approach based on crop yield, growth, evapotranspiration, water use efficiency and soil salinity. *Journal of Cleaner Production*, 252, 11–19. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.119901
20. Morozov, O. V., Morozov, V. V., Pichura, V. I., & Beznitska, N. V. (2018) Formuvannia pokaznykiv rodiuchosti meliorovanykh gruntiv v umovakh rehionalnykh zmin klimatu v Pivdenному rehioni [Formation of indicators of fertility of reclaimed soils in the conditions of regional climate changes in the Southern region]. *Tavriyskiy naukovy visnyk. Silskohospodarski nauky*, 100, 2, 236–244 (in Ukrainian).
21. Morozov, A., Morozov, V., Lazer, P., & Beznitska, N. (2018). Formation of fertility and productivity indices of reclaimed soils under conditions of regional climate change of the south of Ukraine. *Book of Proceedings. Green Room*

and University of Montenegro. Green Room Sessions 2018 International GEA (Geo Eco-Eco Agro) Conference. Podgorica, Montenegro, 152–163.

22. Morozov, O. V., Morozov, V. V., Kabachenko, A. I., & Kozlenko, Ye. V. (2019). Metodichni pidkhody shchodo otsinky yakosti poverkhnevyykh ta gruntovykh vod u systemi ekoloho-melioratyvnoho monitorynhu (na prykladi Inhuletskoho zroshuvanoho masyvu) [Methodical approaches to assessing the quality of surface and groundwater in the system of ecological and reclamation monitoring (on the example of Ingulets irrigated area)]. *Vodni bioresursy ta akvakultura*. Kherson : OLDI-PLluS, 2, 107–120 (in Ukrainian).

23. Morozov, V. V., Morozov, O. V., Chenina, N. O., & Kozlenko, Ye. V. (2018). Obgruntuvannia kryteriiv yakosti polyvnoi vody dlia gruntiv Inhuletskoho zroshuvanoho masyvu [Substantiation of irrigation water quality criteria for soils of Ingulets irrigated array]. *Tavriiskyi naukovyi visnyk*, 99, 88–93 (in Ukrainian).

24. Nosko B. S., Medvedev V. V., Truskaveckij R. S., Chesnjak G. Ja. (1988). Pochvy Ukrainy i povyshenie ih plodorodija [Soils of Ukraine and increasing their fertility]. T. 2: Produktivnost' pochv, puti ee povyshenija, melioracija, zashhita pochv ot jerozii i upravlenie plodorodiem. Kiev : Urozhaj (in Russian).

25. Schmer, M. R., Jin, V. L., Ferguson, R. B., & Wienhold, B. J. (2020). Irrigation, carbon amelioration, nitrogen, and stover removal effects on continuous crop. *Agronomy Journal*, 6, 2506–2518. doi: 10.1002/agj2.20192.

26. Shahane, A. A., & Shivay, Y. S. (2021). Soil Health and Its Improvement Through Novel Agronomic and Innovative Approaches. *Frontiers Agronomy*, 3, 1–3. doi: 10.3389/fagro.2021.680456

27. Suleymanova, R. R., Gizatshinab, G. M., & Gabbasovaa, I. M. (2021). Suitability of Agrochernozem Soils for Irrigation Amelioration in the Southern Forest–Steppe Zone of the Republic of Bashkortostan. *Arid Ecosystems*, 11(2), 186–192. doi: 10.1134/S2079096121020141

28. Suman, J., Uhlik, O., Viktorova, J., and Macek, T. (2018). Phytoextraction of heavy metals: a promising tool for clean-up of polluted environment? *Front Plant Sci*. 9:1476. doi: 10.3389/fpls.2018.01476

29. Tadayon, M.S., & Hosseini, S.M. (2020). Effect of spread and shallow irrigation wetted area and application of organic mulch on citrus decline amelioration. *Advances in Horticultural Science*, 34 (2), 213221. doi: 10.13128/ahsc7770

30. Tahat, M. M., Alananbeh, K. M., Othman, Y. A., & Lescovar, D. I. (2020). Soil health and sustainable agriculture. *Sustainability*, 12, 48–59. doi: 10.3390/su12124859

31. Vozhehova R. A., Maliarchuk M. P., Morozov O. V., Bidnyna I. O. (2018). Adaptatsiia ahrotekhnolohii do zmin klimatu: hruntovo – ahrokhimichni aspekty [Adaptation of agrotechnologies to climate change: soil – agrochemical aspects]. Kharkiv: Stylna typohrafiia (in Ukrainian).

32. Yan, A., Wang, Y., Tan, S. N., Mohd Yusof, M. L., Ghosh, F., & Chen, Z. (2020). Phytoremediation: a promising approach for revegetation of heavy metal-polluted land. *Front. Plant Sci.*, 11, 1–15. doi: 10.3389/fpls.2020.00359

Bidnyna I. O., PhD (Agricultural Sciences), Senior Researcher, Institute of Irrigated Agriculture of the National Academy of Agrarian Sciences, Kherson, Ukraine

Optimization of agrotechnical measures for growing crops in the area of the Ingulets irrigation system

The results of many years of research on the humus content on irrigated lands of the Ingulets irrigation system with the use of water with high mineralization are summarized. The manifestation of dehumidification of dark chestnut soils due to insufficient receipt of crop residues and organic fertilizers, increasing the share of waste crops, etc., which requires the introduction of a set of ecological and reclamation measures to prevent soil degradation and erosion. Analysis of crop yield data on average for 2016–2020 shows that the best conditions for crop formation in the experiment were created with a differentiated tillage system with one gap for crop rotation (option 4), and with increased doses of fertilizers that per 1 ha of crop rotation area provided the highest productivity, which was 15.61 t/ha for corn, sorghum – 8.71, winter wheat – 6.88, and only for soybeans the best conditions this year were created for option 1 – 3.79 t/ha. Disc tillage to a depth of 12–14 cm in the system of shallow single-depth tillage in crop rotation (option 3) led to a decrease in yield by 33.7 %, and without fertilizers to the lowest yield in the experiment of 3.07 t/ha. Fertilization with doses of N_{120} and N_{180} increased the yield on average by factor B («dose of fertilizer») by 166.4 and 233.3 %. Estimation of crop rotation productivity on average for 2016–2020 shows that the best conditions for productivity formation are created by a differentiated tillage system with one gap for crop rotation (option 4) and with increased doses of fertilizers per 1 ha of crop rotation area provided the highest productivity, 7.96 t/ha. The highest profit from 1 ha of crop rotation area (43214.5 UAH/ha) was obtained against the background of $N_{120}P_{60}$ feeding with differentiated tillage (option 4). In the same case, the highest level of profitability was determined – 212.5 %. The lowest level of profitability was observed for disk cultivation in the system of shallow single-depth tillage in crop rotation (option 3) on an unfertilized background – 14.7%. The yield of gross energy of crops per 1 ha of crop rotation area, depending on the methods of basic tillage and fertilizer doses in the unfertilized version and against the nutrient background $N_{82.5}P_{60}$, on gross energy yield was the highest in the system of differentiated tillage (option 4) and amounted to 76.0 and 167.9 GJ/ha.

Key words: reclamation, irrigation, tillage, fertilizers, yield, modelling, economic efficiency, energy assessment.