

## ПРОДУКТИВНІСТЬ ПРОСАПНОЇ СІВОЗМІНИ ЗА РІЗНИХ СИСТЕМ УДОБРЕННЯ ТА ОСНОВНОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ НА ЗРОШЕННІ ПІВДНЯ УКРАЇНИ

**ВОЖЕГОВА Р.А.** – доктор сільськогосподарських наук, професор, академік Національної академії аграрних наук України  
*orcid.org/0000-0002-3895-5633*

Інститут зрошуваного землеробства Національної академії аграрних наук України  
**МАЛЯРЧУК А.С.** – кандидат сільськогосподарських наук  
*orcid.org/0000-0001-5845-269X*

Інститут зрошуваного землеробства Національної академії аграрних наук України  
**КОТЕЛЬНИКОВ Д.І.** – кандидат сільськогосподарських наук  
*orcid.org/0000-0002-8889-8841*

Фермерське господарство «ЮКОС і К»

**РЕЗНІЧЕНКО Н.Д.** – учений секретар  
*orcid.org/0000-0002-5741-6379*

Асканійська державна сільськогосподарська дослідна станція Інституту зрошуваного землеробства Національної академії аграрних наук України

**Постановка проблеми.** Високопродуктивне функціонування агропромислового комплексу України в умовах підвищення посушливості клімату можливе лише за інтенсивної системи землеробства, що базується на застосуванні зрошення, органо-мінеральних систем удобрення з використанням післяжнивних решток і сидеральних культур та диференційованих систем основного обробітку з використанням комбінованих багатоопераційних ґрунтобробних знарядь полицевого і безполицевого типу, сівалок для сівби в попередньо необроблений ґрунт [1].

Крім необхідності вирішення проблеми ресурсозбереження на тлі отримання стабільно високих урожаїв сільськогосподарських культур, науково обґрунтовані системи обробітку ґрунту й удобрення повинні забезпечувати збереження родючості ґрунтів, захист їх від ерозійних та деградаційних процесів [2].

За економічною, енергетичною й екологічною оцінкою частка систем удобрення й основного обробітку у формуванні врожаю досягає 60–70% [3].

Зважаючи на високу вартість мінеральних добрив, високу питому вагу основного обробітку в сумарних витратах на технології вирощування, підхід до вибору оптимального способу і глибини розпушування ґрунту, доз внесення мінеральних добрив визначає рівень прибутковості та рентабельності виробництва [4].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Урожайність сільськогосподарських культур та продуктивність сівозмін на поливних землях формується не тільки під впливом зрошення, але й завдяки застосуванню науково обґрунтованих систем удобрення й основного обробітку ґрунту [1; 2; 3].

Основний обробіток ґрунту завжди був і поки що залишається основою, на якій базуються всі системи землеробства, і є одним із найважливіших агротехнічних заходів у технологіях вирощування сільськогосподарських культур, який істотно впливає на агрофізичні властивості, водний і поживний режими ґрунту, формує напрями перебігу ґрунтотворних процесів [4; 5].

На відміну від органічних і мінеральних добрив, механічний обробіток не додає у ґрунт речовину чи енергію,

а спричиняє істотні зміни у співвідношенні твердої, рідкої та газоподібної фаз ґрунтової системи [6; 7].

Способи і глибина основного обробітку під сільськогосподарські культури та системи обробітку в сівозмінах на зрошуваних землях, що формуються відповідно до спеціалізації господарств, повинні бути спрямовані на зменшення витрат антропогенної енергії, зниження темпів мінералізації органічної речовини та запобігання деградаційним процесам [8].

Інтенсифікація промислового виробництва спричинює зміну багатьох завдань обробітку ґрунту, основними з яких стають: посилення протиерозійного використання післяжнивних решток, забезпечення екологізації систем землеробства [9].

Ефективним напрямом ресурсозбереження під час вирощування сільськогосподарських культур є впровадження технології “No-till” – застосування «прямої сівби», тобто сівби в попередньо не оброблений ґрунт. Систему землеробства “No-till” широко використовують в Аргентині, Канаді, США, низці європейських країн із високорозвиненим сільськогосподарським виробництвом, на загальній площі понад 100 млн га. У світовому землеробстві «пряма сівба» асоціюється з технологією вирощування високих і якісних урожаїв конкурентоспроможної продукції на основі ресурсозбереження, бездефіцитного балансу гумусу у ґрунті та мінімальної шкоди для навколишнього середовища [10].

В умовах зрошення внаслідок надходження великої кількості вологи спостерігається трансформація еколого-меліоративних показників ґрунтів із проявом негативних тенденцій ерозії, осолонцювання, ущільнення, кіркоутворення, а також зниження вмісту гумусу й органічної речовини.

Також необхідно зазначити, що великого значення набуває облік витрат ресурсів на одиницю отриманої продукції кожної культури сівозміни. Насамперед позитивно впливає на рослини комплекс агротехнічних чинників – зрошення, добрива й обробіток ґрунту, що зумовлено підвищенням інтенсивності продукційних процесів,

як результат – отримання максимального рівня врожайності та якості продукції.

**Мета статті.** Дослідити вплив основного обробітку ґрунту на агрофізичні показники, подальший його вплив на продуктивність сівозміни. Обґрунтувати еколого-економічну ефективність застосування різних систем основного обробітку й органо-мінеральних систем удобрення у зрошуваній сівозміні. Завдання дослідження полягало у визначенні впливу різних систем основного обробітку на продуктивність короткоротаційної сівозміни, еколого-економічних параметрів використання мінімізованого та нульового обробітку ґрунту, різних систем удобрення та сидерації.

**Матеріали та методика досліджень.** Дослідження проводились протягом 2009–2019 рр. на дослідних полях Асканійської державної сільськогосподарської дослідної станції Інституту зрошуваного землеробства Національної аграрної академії наук (далі – НААН) України, яка розташована в зоні дії Каховської зрошувальної системи, у чотирипільній сівозміні з наступним чергуванням культур: кукурудза на зерно, пшениця озима, кукурудза, ячмінь озимий та соя. Дослідження проводились відповідно до вимог загальноприйнятих методик проведення досліджень.

Фактор А (система основного обробітку ґрунту):

Диференційована система основного обробітку ґрунту (контроль), яка передбачає оранку на глибину 28–30 см під просапні культури та дискове розпушування на 12–14 см під озимі зернові.

Безполицева мілка одноглибинна система основного обробітку ґрунту, яка передбачає дискове розпушування на 12–14 см під всі культури сівозміни.

Система безполицевого різноглибинного обробітку, яка передбачає чизельний обробіток на 28–30 см під просапні культури та на 23–25 см під озимі зернові культури.

Нульова система основного обробітку із сівбою спеціальними сівалками в попередньо необроблений ґрунт.

Дослідження проводились на тлі органо-мінеральних систем удобрення з різними дозами внесення азоту (фактор В):

1.  $N_{90}P_{40}$  + післяжнивні рештки.
2.  $N_{105}P_{40}$  + післяжнивні рештки.
3.  $N_{120}P_{40}$  + післяжнивні рештки.

ґрунт дослідного поля темно-каштановий середньо-суглинковий, з низькою забезпеченістю нітратами та середньою – рухомим фосфором і обмінним калієм. Режим зрошення забезпечував підтримання передпольного порога зволоження під посівами культур сівозміни на рівні 70% найменшої вологоємності (далі – НВ) у шарі ґрунту 0–50 см.

Під час експерименту використовували польовий, кількісно-ваговий, візуальний, лабораторний, розрахунково-порівняльний, математично-статистичний методи, загально визнані в Україні методики і методичні рекомендації [11].

Розрахунок балансу гумусу проводили за допомогою рівнянь лінійної регресії для визначення маси рослинних решток за врожайністю основної продукції, розроблених ученими Навчально-наукового центру «Інститут ґрунтознавства та агрохімії НААН» [12].

**Результати досліджень.** Результати досліджень щільності складення шару ґрунту 0–40 см на початку вегетації сільськогосподарських культур свідчать, що зменшення глибини розпушування та застосування нульового обробітку приводить до підвищення щільності складення. Найбільш високою щільність складення в шарі ґрунту 0–40 см, на початку вегетації, формувалась за безполицевої одноглибинної мілкої та нульової систем основного обробітку ґрунту з показниками 1,27 та 1,29 г/см<sup>3</sup>, що вище, ніж на контролі, на 5,7 та 4,0% (табл. 1).

**Таблиця 1 – Щільність складення темно-каштанового ґрунту за різних систем основного обробітку, початку вегетації в середньому за 2009–2016 рр., г/см<sup>3</sup>**

Система обробітку ґрунту (А)	Шар ґрунту, см	Культура сівозміни				
		кукурудза	ячмінь озимий	соя	пшениця озима	середнє
1	2	3	4	5	6	7
Диференційована	0–10	1,03	1,05	1,04	1,10	
	10–20	1,15	1,28	1,29	1,34	
	20–30	1,20	1,34	1,28	1,35	
	30–40	1,25	1,24	1,21	1,30	
	<b>0–40</b>	<b>1,16</b>	<b>1,23</b>	<b>1,21</b>	<b>1,27</b>	<b>1,22</b>
Безполицева мілка	0–10	1,14	1,14	1,15	1,14	
	10–20	1,32	1,33	1,31	1,35	
	20–30	1,31	1,32	1,30	1,33	
	30–40	1,28	1,29	1,29	1,28	
	<b>0–40</b>	<b>1,26</b>	<b>1,27</b>	<b>1,26</b>	<b>1,28</b>	<b>1,27</b>
Безполицева різноглибинна	0–10	0,94	1,17	1,12	1,08	
	10–20	1,16	1,17	1,19	1,18	
	20–30	1,19	1,31	1,26	1,31	
	30–40	1,25	1,35	1,20	1,33	
	<b>0–40</b>	<b>1,14</b>	<b>1,25</b>	<b>1,19</b>	<b>1,23</b>	<b>1,20</b>

Закінчення таблиці 1

1	2	3	4	5	6	7
Нульовий обробіток	0–10	1,25	1,24	1,29	1,29	
	10–20	1,28	1,28	1,28	1,28	
	20–30	1,32	1,33	1,31	1,30	
	30–40	1,28	1,09	1,35	1,48	
	<b>0–40</b>	<b>1,28</b>	<b>1,24</b>	<b>1,31</b>	<b>1,34</b>	<b>1,29</b>
$\text{HIP}_{05}, \text{ г/см}^3$						0,01

Використання системи диференційованого обробітку ґрунту зменшило щільність складання до  $1,22 \text{ г/см}^3$ , а найрозпушеніший сформувався за різноглибинного безполицевого обробітку  $1,20 \text{ г/см}^3$ , що менше за контроль на 4%, за мінімізований – на 5,8%, за нульовий – на 7,5%. Зміни в щільності складання залежно від системи удобрення були несуттєвими.

Так, і в кінці вегетації в шарі ґрунту 0–40 см найменшими показниками щільності відзначилась система безполицевого різноглибинного обробітку ґрунту  $1,26 \text{ г/см}^3$ . Використання нульового обробітку приводило до збільшення щільності на 3,8% порівняно з контролем, що фактично сформувало найвищі показники в досліді. Такі ж показники ( $1,36 \text{ г/см}^3$ ) спостерігались і за безполицевого мілкого обробітку, що більше за контроль у середньому на 3%, або  $0,05 \text{ г/см}^3$ .

Результати розрахунків пористості на початку вегетації в шарі ґрунту 0–40 см показали, що використання безполицевого різноглибинного обробітку сформувало максимальні показники 53,9%, але в середньому за роки дослідження вони були на рівні контролю 53,4% (рис. 1).

Довготривале застосування мілкого безполицевого обробітку в сівозміні привело до зниження пористості

в середньому на 2% порівняно з контролем. Водночас застосування нульового обробітку привело до найменших показників пористості в досліді – 50,5%, що менше за контроль на 2,9%.

Збільшення щільності складання та зменшення пористості негативно позначились і на водопроникності темно-каштанового ґрунту. Так, найбільшими показниками відзначилась система безполицевого різноглибинного та мілкого одноглибинного обробітку ґрунту – 3,73 та 3,83 мм/хв, що фактично більше контрольного варіанта на 16%.

Також варто зазначити, що використання нульового обробітку ґрунту в сівозміні привело до найменших показників пористості в досліді ( $2,33 \text{ мм/хв}$ ) у середньому по сівозміні, або менше порівняно з контролем на 41,6%.

Облік урожайності сільськогосподарських культур та визначення продуктивності короткоротаційної сівозміни дали можливість встановити, що за системи мілкого безполицевого розпушування продуктивність була на рівні контролю 7,86–8,78 з. о., залежно від системи удобрення, а застосування сіви в попередньо необроблений ґрунт привело до зниження продуктивності на 14,3%. Найбільша продуктивність в досліді була отри-

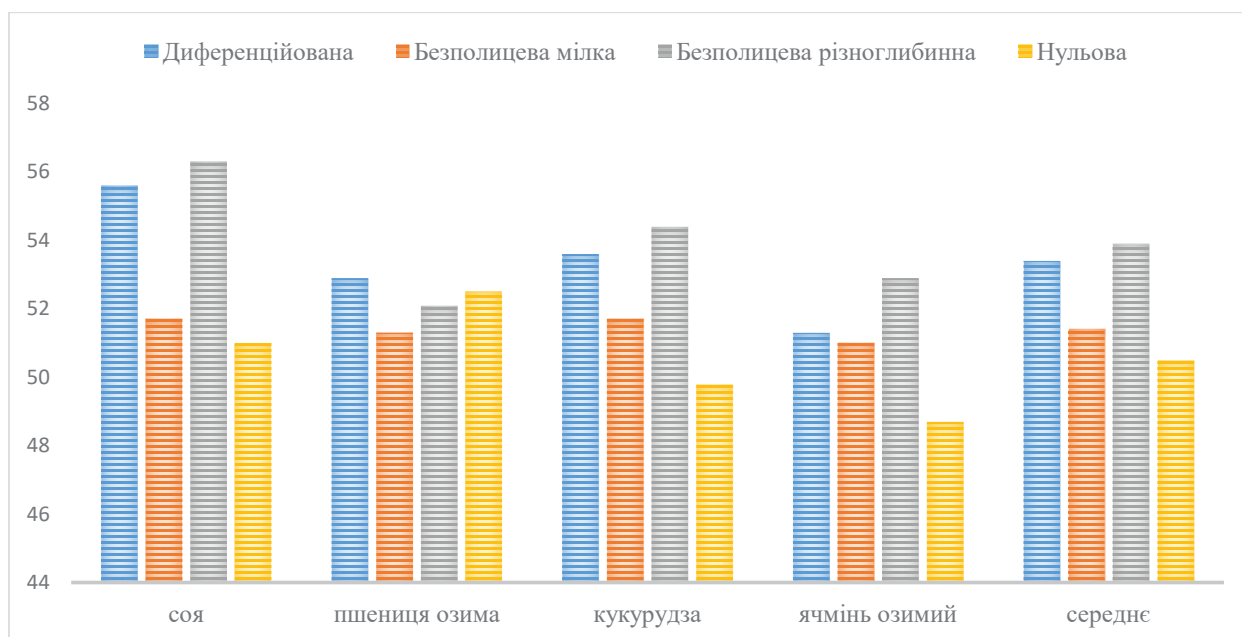


Рис. 1. Пористість у шарі ґрунту 0–40 см на початку вегетації залежно від основного обробітку на початку вегетації в середньому за 2009–2016 рр., %

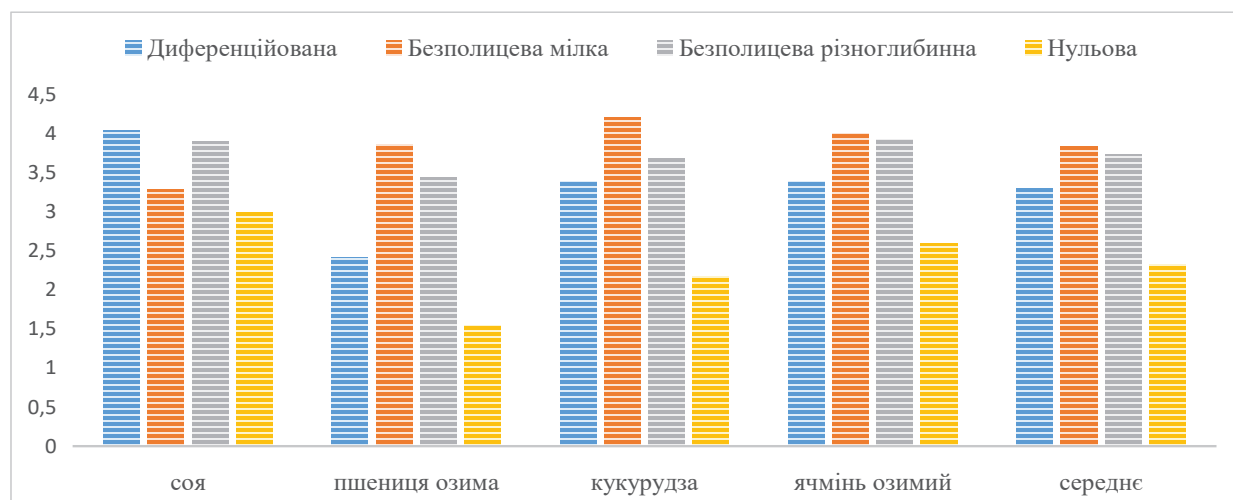


Рис. 2. Водопроникність у шарі ґрунту 0–40 см за різних способів і глибини обробітку ґрунту на початку вегетації за 2009–2016 рр., мм/хв

мана за безполицевої різноглибинної системи основного обробітку, яка залежно від доз внесення азотних добрив коливалась в межах 7,87–8,99 з. о. т/га.

Водночас варто відзначити вплив системи удобрення на продуктивність сівозміни. Так, за варіанта внесення  $N_{90}P_{40}$  залежно від системи основного обробітку ґрунту вона коливалась в межах 6,97–8,06 з. о. т/га, залежно від системи основного обробітку ґрунту. Підвищення норми добрив до  $N_{105}P_{40}$  привело до збільшення продуктивності – 7,18–8,45 з. о. т/га, залежно від системи основного обробітку ґрунту в сівозміні, або в середньому на 4,4% (табл. 2).

Максимальні показники в досліді – 7,54–8,99 з. о. т/га, залежно від основного обробітку ґрунту, були отримані за системи удобрення  $N_{120}P_{40}$ , що фактично збільшило продуктивність сівозміни в середньому на 10,1% порівняно з контрольним варіантом у досліді.

**Висновки.** Унаслідок проведених досліджень встановлено, що застосування системи безполицевого різноглибинного обробітку в сівозміні формує найменшу щільність складення в досліді на рівні 1,20 г/см<sup>3</sup> на початку та 1,26 г/см<sup>3</sup> в кінці вегетації культур сівозміни, що в середньому на 4% менше порівняно з контролем. Також варто зазначити, що за безполицевого різногли-

Таблиця 2 – Продуктивність короткоротаційної сівозміни на зрошенні за різних систем основного обробітку ґрунту й удобрення, т/га

Система основного обробітку ґрунту	Продуктивність культур з. о. т/га				Продуктивність сівозміни (з. о.)
	Соя	Озима пшениця	Кукурудза	Озимий ячмінь	
$N_{90}P_{40}$					
Диференційована	4,79	7,94	11,97	7,00	7,93
Безполицева мілка	4,92	7,63	11,68	7,20	7,86
Безполицева різноглибинна	4,80	7,80	12,37	7,28	8,06
Нульова	4,28	6,72	10,70	6,18	6,97
$N_{105}P_{40}$					
Диференційована	5,07	8,13	12,63	7,09	8,23
Безполицева мілка	5,48	7,96	12,45	7,38	8,32
Безполицева різноглибинна	5,39	8,01	13,00	7,41	8,45
Нульова	4,58	6,72	11,06	6,34	7,18
$N_{120}P_{40}$					
Диференційована	5,16	8,66	13,15	7,58	8,64
Безполицева мілка	5,29	8,72	13,01	8,11	8,78
Безполицева різноглибинна	5,31	8,97	13,84	7,82	8,99
Нульова	4,76	7,33	11,30	6,76	7,54

бинного обробітку збільшилась пористість на 2% та водопроникність на 16%, що і сформувало в подальшому найбільшу продуктивність в сівозміні 7,87–8,99 з. о. т/га, залежно від системи удобрення. Водночас застосування нульового обробітку ґрунту привело до зменшення пористості на 2,9% та водопроникності на 41,6%, що в подальшому відображається на продуктивності культури сівозміни, яка знизилась у середньому на 14,3%.

#### **СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:**

1. Сайко В.Ф., Малієнко А.М. Системи обробітку ґрунту в Україні. Київ : ЕКМО, 2007. 44 с.
2. Сви́динюк І.М. Особливості переходу на технологію no-till. *Посібник українського хлібороба* : науково-практичний щорічник. 2010. С. 98–100.
3. Системи землеробства на зрошуваних землях України / за наук. ред. Р.А. Вожегової. Київ : Аграрна наука, 2014. 360 с.
4. Рациональне використання ґрунтових ресурсів і відтворення родючості ґрунтів : організаційно-економічні, екологічні й нормативно-правові аспекти : колективна монографія / за ред. С.А. Балюка, А.В. Кучера. Харків : Смуґаста типографія, 2015. 432 с.
5. Ромащенко М.І. Наукові засади розвитку зрошення земель в Україні. Київ : Аграрна наука, 2012. 28 с.
6. Мінімізація обробітку ґрунтів України / В.В. Медведєв та ін. Харків, 2004. 86 с.
7. Еколого-агрономеліоративний моніторинг зрошуваних земель із застосуванням ГІС : практикум / В.В. Морозов та ін. Херсон : ХДАУ, 2004. 163 с.
8. Собко А.А. Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. Киев, 1985. 16 с.
9. Сівозміни у землеробстві України / за ред. В.Ф. Сайка, П.І. Бойка. Київ : Аграрна наука, 2002. 146 с.
10. Лебідь Є.М., Андрусенко І.І., Пабат І.А. Сівозміни в інтенсивному землеробстві. Київ : Урожай, 1992. 224 с.
11. Статистичний аналіз результатів польових дослідів у землеробстві : монографія / В.О. Ушкаренко та ін. Херсон : Айлант, 2013. 403 с.

#### **REFERENCES:**

1. Saiko, V.F., & Malienko, A.M. (2007). *Systemy obrobittu gruntu v Ukraini* [Soil cultivation systems in Ukraine]. Kyiv: EKMO [in Ukrainian]
2. Svydyniuk I.M. (2010). *Osoblyvosti perekhodu na tekhnolohiiu no-till* [Peculiarities of the transition to no-till technology]. *Posibnyk ukrainskoho khliboroba: nauk.-prakt. shchorichnyk – Manual of Ukrainian farmers: scientific practice yearbook*, 98–100 [in Ukrainian].
3. Vozhehova R.A. (Ed.). (2014). *Systems of agriculture on irrigated lands of Ukraine*. Kyiv: Ahrar. nauka.
4. Baliuk, S.A. & Kucher, A.V. (Eds.). (2015). *Rational use of soil resources and reproduction of soil fertility: organizational-economic, ecological and normative-legal aspects: collective monograph*. Kharkiv: Smuhasta typhrafiia.
5. Romashchenko M.I. (2012). *Naukovi zasady rozvytku zroshennia zemel v Ukraini* [Scientific principles of land irrigation development in Ukraine]. Kyiv: Ahrarna nauka [in Ukrainian].
6. Medviediev, V.V., Hrabak, N.Kh. (2004). *Minimizatsiia obrobittu gruntiv Ukrainy* [Minimization of tillage of Ukraine]. Kharkiv [in Ukrainian].

7. Morozov, V.V., Hamaiunova, V.V., & Morozov O.V. ta in.]. *Ekoloho-ahromelioryatyvnyi monitorynh zroshuvanykh zemel iz zastosuvanniam HIS : praktykum* [Ecological and agro-ameliorative monitoring of irrigated lands with the use of GIS: workshop]. Kherson: KhDAU [in Ukrainian]

8. Sobko, A.A. (1985). *Puty povishenyia efektyvnosti oroshayemoho zemledelyia* [Ways to improve the efficiency of irrigated agriculture]. Kiev: Znannia [in Ukrainian]

9. Saiko, V.F., Boiko, P.I. (Eds.) (2002). *Crop rotation in agriculture of Ukraine*. Kiyiv: Ahrarna nauka.

10. Lebid Ye.M., Andrusenko, I.I., & Pabat, I.A. (1992) *Sivozminy v intensyvnomu zemlerobstvi* [Crop rotation in intensive agriculture]. Kyiv: Urozhai [in Ukrainian]

11. Ushkarenko, V.O., Vozhehova, R.A., & Holoborod'ko, S.P., Kokovikhin, S.V. (2013). *Statystychnyy analiz rezul'tativ pol'ovykh doslidiv u zemlerobstvi* [Statistical analysis of the results of field experiments in agriculture]. Kherson: Aylant [in Ukrainian].

#### **Вожегова Р.А., Малярчук А.С., Котельников Д.І., Резніченко Н.Д. Продуктивність просапної сівозміни за різних систем удобрення і основного обробітку ґрунту на зрошенні Півдня України**

У статті відображено результати досліджень із вивчення щільності складення на початку та в кінці вегетації залежно від систем основного обробітку ґрунту, подальший вплив на показники пористості та водопроникності ґрунту. Водночас отримана інформація щодо впливу різних систем на показники продуктивності сівозміни. **Мета** досліджень – визначення впливу основного обробітку ґрунту на фізико-механічні показники темно-каштанового ґрунту, подальшого його впливу на продуктивність культур сівозміни. **Методи**. Під час експерименту використовували польовий, кількісно-ваговий, візуальний, лабораторний, розрахунково-порівняльний, математично-статистичний методи та загально визнані в Україні методики і методичні рекомендації. **Результати**. Дослідження проводились протягом 2009–2019 років на дослідних полях Асканійської державної сільськогосподарської дослідної станції Інституту зрошуваного землеробства Національної аграрної академії наук. У результаті проведених досліджень встановлено, що застосування системи безполицевого різноглибинного обробітку в сівозміні формує найменшу щільність складення в досліді на рівні 1,20 грама на кубічний сантиметр на початку та 1,26 грама на кубічний сантиметр у кінці вегетації культур сівозміни, що в середньому на 4% менше порівняно з контролем. Також варто зазначити, що за системи безполицевого різноглибинного обробітку збільшились пористість на 2% та водопроникність на 16%. **Висновки**. Облік урожайності сільськогосподарських культур та визначення продуктивності короткочасної сівозміни дали можливість встановити, що за системи мілкового безполицевого розпушування продуктивність була на рівні контролю 7,86–8,78 з. о., залежно від системи удобрення, а застосування сівби в попередньо необроблений ґрунт привело до зниження продуктивності на 14,3%. Найбільша продуктивність в досліді була отримана за безполицевою різноглибинною системою основного



обробітку, яка залежно від доз внесення азотних добрив коливалась в межах 7,87–8,99 з. о. тонн на гектар, залежно від системи удобрення. Водночас застосування нульового обробітку ґрунту привело до зменшення пористості на 2,9% та водопроникності на 41,6%, що в подальшому відображається на продуктивності культур сівозміни, яка знизилась в середньому на 14,3%.

**Ключові слова:** сівозміна, продуктивність сівозміни, щільність складення, пористість, водопроникність.

**Vozhegova R.A. Malyarchuk A.S., Kotelnikov D.I., Reznichenko N.D. Productivity of row crop rotation under different systems of fertilizers and basic tillage at irrigation of the south of Ukraine**

The article reflects the results of research on the density of formation at the beginning and end of the growing season depending on the systems of the main tillage and the subsequent impact on the porosity and water permeability of the soil. At the same time, information was obtained on the impact of different systems on crop rotation productivity indicators. Ukraine methods and guidelines. The research was conducted during 2009–2019 in the research fields of the Askaniya DSDS IZZ NAAS of Ukraine. As a result of research, it was found that

the use of a system of shelfless multi-depth tillage in crop rotation forms the lowest density of folding in the experiment at 1,20 g/cm<sup>3</sup> at the beginning and 1,26 g/cm<sup>3</sup> at the end of crop rotation vegetation, which is on average 4% less than with control. It should also be noted that porosity systems of different depths increased porosity by 2% and water permeability by 16%. Accounting for crop yields and determining the productivity of short-rotation crop rotation made it possible to establish that under the system of shallow tillage productivity was at the level of control 7,86-8,78 e. u., depending on the fertilizer system, and the use of sowing in previously untreated soil, led to decrease in productivity by 14,3%. The highest productivity in the experiment was obtained with a shelfless different depth of the main tillage system, which, depending on the doses of nitrogen fertilizers ranged from 7,87 to 8,99 e. u. t/ha, depending on the fertilizer system. At the same time, the application of zero tillage led to a decrease in porosity by 2,9% and water permeability by 41,6%, which further affects the productivity of crop rotations, which decreased by an average of 14,3%.

**Key words:** crop rotation, crop rotation productivity, folding density, porosity, water permeability.