

**НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ АГРАРНИХ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ВОДНИХ ПРОБЛЕМ І МЕЛІОРАЦІЇ**

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

КНИШ ВЛАДИСЛАВ ВОЛОДИМИРОВИЧ

УДК 631.111.2: 631.671.1:631.675.2:631.1.332

**ОБГРУНТУВАННЯ БІОЕНЕРГЕТИЧНИХ АГРОЕКОСИСТЕМ
В ЗРОШУВАНИХ УМОВАХ ПІВДНЯ ОДЕСЬКОЇ ОБЛАСТІ**
201 Агрономія
20 Аграрні науки та продовольство

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

Книш Владислав Володимирович

Наукові керівники:

Тара́ріко Ю́рій Олекса́ндрович,
доктор сільськогосподарських наук,
академік НААН, професор

Сайдак Роман Васильович,
кандидат сільськогосподарських наук

Київ – 2025

АНОТАЦІЯ

Книш В.В. Обґрунтування біоенергетичних агроекосистем в зрошеніх умовах півдня Одеської області.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 201 Агрономія. – Інститут водних проблем і меліорації НААН України. – Київ. 2025.

У дисертаційній роботі обґрунтовано моделі біоенергетичного аграрного виробництва, орієнтовані на ефективне використання агроресурсного потенціалу півдня Одеської області. Запропоновані підходи враховують роль зрошення як ключового чинника підвищення продуктивності агроекосистем та досягнення їх екологічної стійкості в умовах змін клімату. Обґрунтовано доцільність впровадження біоенергетичних агроекосистем, що інтегрують рослинництво, тваринництво та локальні відновлювані джерела енергії як адаптивної стратегії, спрямованої на підвищення ефективності агровиробництва в умовах зростання дефіциту вологи, підвищення температур, збільшення випаровування та зниження біопродуктивності екосистем. Тематика дослідження узгоджується з сучасними стратегічними пріоритетами державної політики у сфері сталого розвитку, раціонального використання водних ресурсів, розвитку зрошення та адаптації сільського господарства до зміни клімату.

У роботі проведено аналіз багаторічної динаміки агрометеорологічних умов регіону дослідження, оцінено особливості трансформації посівних площ основних сільськогосподарських культур, структуру їх використання, а також закономірності формування врожайності. Здійснена кількісна оцінка впливу кліматичних факторів на продуктивність агровиробництва дозволила виявити критичні ризики та визначити перспективні напрями адаптації сільського господарства до зміни клімату.

Експериментальну частину дисертаційної роботи виконано на дослідних ділянках (поля №4/1 та №5/1) базового господарства ДП ДГ «Андріївське» ІВПіМ та ІКОЗ (з 2023 р.), розташованого у Білгород-Дністровському районі Одеської області. Для комплексного визначення водно-фізичних характеристик ґрунтів проводилися лабораторні гідрофізичні випробування монолітів ґрунту непорушеної структури, відібраних із трьох горизонтів двох ґрутових профілів. Дослідження виконувалися у гідрофізичній лабораторії Інституту водних проблем і меліорації НАН за методологією, підвердженою патентами на корисні моделі. Визначалися основні параметри водоутримувальної здатності - максимальна гігрокопічність, вологість в'янення, найменша та повна вологомісткість, а також гідрофізичні функції водоутримування і вологопровідності, які є базою для моделювання водного режиму ґрунтів. Крім того, досліджувалися структурні характеристики порового простору ґрунтів, що дозволило детально описати їхню будову й врахувати при проєктуванні зрошувальних систем і обґрунтуванні способів поливу.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у створенні теоретичних зasad функціонування біоенергетичних зрошуваних агроекосистем шляхом інтеграції рослинництва, тваринництва та відновлюваних джерел енергії для адаптації до кліматичних змін; встановлені залежності урожайності зернових і зернобобових культур від стандартизованого індексу опадів (SPI) для умов півдня України. Зокрема вперше запропоновано використання цього індексу для підвищення адаптивності агропромислового виробництва до зміни клімату шляхом впровадження оптимальних режимів вологозабезпечення та систем біоенергетичного виробництва. Вперше для умов півдня України обґрунтовано вихідні вимоги до систем і режимів зрошення з урахуванням гідрофізичних характеристик ґрунтів. Вперше удосконалено моделі аграрного виробництва в частині включення у виробничий цикл безвідходної технології отримання біопалива методом етерифікування соняшникового соапстоку бутанолом із повною утилізацією побічних продуктів — макухи та гліцерину.

Практичне значення дисертаційної роботи полягає у розробці науково обґрунтованих рекомендацій щодо впровадження сценаріїв комплексного виробництва продовольства та біоенергії, адаптованих до специфічних агрокліматичних та соціально-економічних умов півдня Одеської області, що забезпечить підвищення ефективності використання сільськогосподарських ресурсів, зниження екологічного навантаження та покращення енергетичної безпеки регіону. Запропоновані сценарії враховують сукупність регіональних факторів: агрокліматичний потенціал, структуру земельного фонду, забезпеченість водними ресурсами, технічний стан зрошувальної мережі та можливості її модернізації, а також потенціал вирощування й переробки біомаси як відновлюваного джерела енергії.

Практична реалізація результатів досліджень передбачає:

- необхідність врахування гідрофізичних характеристик ґрунтів півдня Одеської області при проектуванні енергоефективних систем зрошення переважно низьконапірного та низькоінтенсивного дощування та краплинного зрошення з компенсаційними режимами водоподачі. Такі системи, за однакової пропускної здатності зрошувальних мереж, здатні забезпечити можливість поливу більшої площини з одночасним зменшенням витрат електроенергії, води та матеріалів.
- оцінку агроресурсного потенціалу регіону з науково обґрунтованою доцільністю відновлення й технологічної модернізації зрошувальних систем, що забезпечує стало виробництво сільськогосподарської продукції в умовах дефіциту кліматичного водного балансу та сприяє раціональному використанню природних ресурсів.

Результати досліджень стали основою формування рекомендацій агропідприємствам Одеської області щодо впровадження біоенергетичних агроекосистем, адаптованих до зміни клімату. Ці рекомендації були використані Департаментом аграрної політики, продовольства та земельних відносин Одеської обласної військової адміністрації у 2024–2025 роках при розробці стратегічних та нормативних документів для розвитку

агропромислового комплексу регіону. Цей факт підтверджено відповідним актом впровадження від 23 квітня 2025 року. Крім того, вони застосовувалися і продовжують застосовуватися територіальними громадами для впровадження водо- та енергоощадних технологій в проекти землекористування.

Результати дисертаційного дослідження, зокрема в частині врахування гідрофізичних властивостей ґрунтів, були використані при виконанні договору №12.1.09-24 від 12.08.2024 р. з Науково-виробничим фермерським господарством «Компанія Маїс» на тему: «Встановити вплив різних режимів поверхневого та підгрунтового краплинного зрошення на врожайність гібридів кукурудзи селекції Замовника».

Ключові слова: біоенергетичні агроекосистеми, зрошення, зміна клімату, водокористування, агроресурсний потенціал, гідрофізика, Одеська область, стале землеробство.

SUMMARY

Knysh V.V. Substantiation of bioenergy agroecosystems in irrigated conditions of the south of Odesa region.

Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in the speciality 201 Agronomy - Institute of Water Problems and Land Reclamation of the National Academy of Sciences of Ukraine - Kyiv. 2025.

The dissertation substantiates models of bioenergy-based agricultural production aimed at the efficient use of the agro-resource potential of the southern part of Odesa region. The proposed approaches take into account the role of irrigation as a key factor in enhancing the productivity of agroecosystems and achieving their ecological resilience under climate change conditions. The feasibility of implementing bioenergy agroecosystems that integrate crop production, livestock farming, and local renewable energy sources is substantiated as an adaptive strategy to improve the efficiency of agricultural production under increasing water scarcity, rising temperatures, greater evaporation, and declining ecosystem bioproduction.

The research aligns with current strategic priorities of national policy in the areas of sustainable development, rational water use, irrigation development, and adaptation of agriculture to climate change. The study analyzes the long-term dynamics of agrometeorological conditions in the research region, assesses the transformation of sown areas of major crops, their usage structure, and the patterns of yield formation. A quantitative assessment of the impact of climatic factors on agricultural productivity made it possible to identify critical risks and define promising directions for adapting agriculture to changing environmental conditions.

The experimental part of the dissertation was carried out on experimental plots (fields No. 4/1 and No. 5/1) of the base farm SE "Andriivske", located in the Bilhorod-Dnistrovskyi district of Odesa region. To comprehensively determine the water-physical properties of soils, laboratory hydro-physical tests were conducted on undisturbed soil monoliths sampled from three horizons of two soil profiles. The

research was conducted in the hydro-physical laboratory of the Institute of Water Problems and Land Reclamation of NAAS using a methodology supported by utility model patents. Key parameters of soil water-holding capacity were determined — maximum hygroscopicity, wilting point, field capacity, and full water capacity — along with hydro-physical functions of water retention and conductivity, which serve as a basis for modeling soil water regimes. Additionally, structural characteristics of soil pore space were studied, enabling detailed description of soil structure for irrigation system design and substantiation of irrigation methods.

The scientific novelty of the obtained results lies in the development of theoretical foundations for the functioning of irrigated bioenergy agroecosystems through the integration of crop production, livestock, and renewable energy sources as a means of adapting to climate change. Relationships were established between the yield of cereals and legumes and the standardized precipitation index (SPI) for southern Ukraine. For the first time, the use of this index is proposed to increase the adaptability of agricultural production to climate change through the implementation of optimal irrigation regimes and bioenergy production systems. For the first time in southern Ukraine, baseline requirements for irrigation systems and regimes were substantiated, taking into account the hydro-physical properties of soils. Additionally, agricultural production models were improved to include a zero-waste technology for producing biofuel via esterification of sunflower soapstock with butanol, enabling full utilization of by-products — oilcake and glycerin.

The practical significance of the dissertation lies in the development of scientifically grounded recommendations for implementing scenarios of integrated food and bioenergy production adapted to the specific agro-climatic and socio-economic conditions of southern Odesa region. This ensures more efficient use of agricultural resources, reduces environmental pressures, and improves regional energy security. The proposed scenarios consider a set of regional factors: agro-climatic potential, land fund structure, water resource availability, the technical

condition of irrigation infrastructure and its modernization potential, as well as the potential for biomass cultivation and processing as a renewable energy source.

Specific practical outcomes include:

- The necessity to consider the hydro-physical properties of soils in southern Odesa when designing energy-efficient low-pressure irrigation systems, including low-intensity sprinkling and drip irrigation with compensation regimes. These systems, with equal network throughput, can irrigate larger areas while reducing electricity, water, and material inputs.
- The evaluation of the region's agro-resource potential with scientifically justified recommendations for the restoration and modernization of irrigation systems, ensuring stable agricultural production under adverse climatic water balances and promoting rational natural resource use.

The research results formed the basis for developing recommendations to agricultural enterprises in Odesa region for implementing climate-adapted bioenergy agroecosystems. These recommendations were used in the development of strategic and regulatory documents for agro-industrial complex development in the region and are being applied in cooperation with local communities to introduce water- and energy-saving technologies. The developments were adopted by the Department of Agrarian Policy, Food and Land Relations of the Odesa Regional Military Administration in 2024–2025, as confirmed by the implementation certificate dated April 23, 2025.

The dissertation findings, particularly concerning soil hydro-physical properties, were used in contract No. 12.1.09-24 of August 12, 2024, with the research-and-production farm “Mais Company” on the topic: “To determine the effect of various surface and subsoil drip irrigation regimes on the yield of maize hybrids developed by the Client.”

Keywords: bioenergy agroecosystems, irrigation, climate change, water use, agro-resource potential, hydro-physics, Odesa region, sustainable agriculture.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Статті у наукових виданнях, включених до переліку наукових фахових видань України:

1. Ромашенко М.І., Жовтоног О.І., Крученюк В.Д., Сайдак Р.В., **Книш В.В.**

Управління процесом відновлення та сталого використання зрошення. Меліорація і водне господарство. 2014. Вип. 101. С. 137-147. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Mivg_2014_101_18 (*Особистий внесок здобувача: участь у розробці інвестиційних моделей відновлення зрошення, підготовка матеріалів до публікації*)

2. Ромашенко М.І., Матяш Т.В., Богаєнко В.О., Ковалчук В.П., Войтович О.П., Крученюк А.В., **Книш В.В.**, Шліхта В.В. Досвід розробки та шляхи удосконалення систем управління зрошенням. Меліорація і водне господарство. 2019. № 2. С. 17-30. DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg201902-207> (*Особистий внесок здобувача: вдосконалення технічної та інструментальної бази системи управління зрошенням, підготовка матеріалів до публікації*)

3. Тарапіко Ю.О., Величко В.А., Сайдак Р.В., **Книш В.В.** Сучасна практика та перспективи розвитку аграрного виробництва в Одеському регіоні. Вісник аграрної науки. 2020. Т. 98. № 3. С. 61-70. DOI: [10.31073/agrovisnyk202003-09](https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202003-09) (*Особистий внесок здобувача: аналіз сучасного стану аграрного виробництва регіону, оцінка перспектив його розвитку, підготовка матеріалів до публікації*)

4. Ромашенко М.І., Яцюк М.В., Сайдак Р.В., Строкон Д.Я., Матяш Т.В., Попов В.М., Войтович I.В., **Книш В.В.** Реконструкція та модернізація міжгосподарських зрошувальних систем - основа підвищення енергоефективності водоподачі на зрошення. Меліорація і водне господарство. 2022. Вип. 1. С. 122-130. DOI: [10.31073/mivg202201-325](https://doi.org/10.31073/mivg202201-325) (*Особистий внесок здобувача: аналіз даних щодо модернізації зрошувальних систем, підготовка графічних матеріалів до публікації*)

5. Майданович Н.І., Сайдак Р.В., **Книш В.В.** Comparative analysis of the drought events frequency in Southern Ukraine according to SPI and HTC indicators.

Technical and Technological Aspects of Development and Testing of New Machinery and Technologies for Agriculture of Ukraine. 2022. Вип. 2 (31(45)). С. 137-144. DOI: [10.31473/2305-5987-2022-2-31\(45\)-13](https://doi.org/10.31473/2305-5987-2022-2-31(45)-13) (*Особистий внесок здобувача: обробка даних про частоту посушливих явищ на півдні України, підготовка аналітичних матеріалів для публікації*)

6. Книш В.В., Сайдак Р.В., Сорока Ю.В., Тарапіко Ю.О. Формування зрошуваної біоенергетичної агроекосистеми у сухому Степу України. Аграрні інновації. 2023. № 17. С. 69–80. DOI: [10.32848/agrar.innov.2023.17.9](https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2023.17.9) (*Особистий внесок здобувача: імітаційне моделювання зрошуваної біоенергетичної агроекосистеми, обробка даних, підготовка матеріалів до друку*)

7. Ромашенко М.І., Сайдак Р.В., Яцюк М.В., Матяш Т.В., Строкон Д.Я., Попов В.М., Книш В.В. Обґрунтування напрямів модернізації систем зрошення в Україні на основі оцінки їх енергоефективності. Вісник аграрної науки. 2023. Т. 101. № 1. С. 60–67. DOI: [10.31073/agrovisnyk202301-07](https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202301-07) (*Особистий внесок здобувача: оцінка енергоефективності водоподачі, дослідження впливу гідроприводних дощувальних машин на енергоспоживання*)

8. Сайдак Р.В., Писаренко П.В., Книш В.В., Тарапіко Ю.О., Сорока Ю.В., Щербина З.В. Особливості формування водозабезпечення озимої пшениці на півдні України. Меліорація і водне господарство. 2024. Вип. 1 (117). С. 85–90. DOI: [10.31073/mivg202401-384](https://doi.org/10.31073/mivg202401-384) (*Особистий внесок здобувача: аналіз запасів вологи та гідротермічних умов у регресійному моделюванні, обробка даних метеостанцій, підготовка матеріалів до друку*)

9. Тарапіко Ю. О., Яцюк М. В., Сайдак Р. В., Книш В. В. Меліоровані агроекосистеми у Західному Поліссі. Аграрні інновації. 2024. № 26. С. 120–130. DOI: <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2024.26.16>. (*Особистий внесок здобувача: адаптація програмного комплексу «Агроекосистема» для моделювання результатів дисертаційної роботи в інших ґрунтово-кліматичних умовах України*)

10. Бірта, Г.О., Левошко, Н. В., Книш, В.В., Усенко, С.О., Шостя, А.М., Овсяннікова, Т.О., Фалалєєва, Т.В., Марушко, Л. П., Семенко, Є.Ю., & Зигін,

C.Є. (2025). Визначення раціональних умов етерифікування жирних кислот соняшникового соапстоку. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2(6(134), 6–13. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.326031> (Особистий внесок здобувача: аналіз доцільності використання жирних кислот соняшникового соапстоку, оцінка потенціалу інтеграції отриманих ефірів у енергетичний баланс агропромисловництва, підготовка матеріалів до публікації).

Статті у виданнях інших держав (Scopus):

11. Yuriii Tarariko, **Vladyslav Knysh** and Ibrokhim Sapaev. Bioenergy agroecosystems as a basis for food sustainability. *BIO Web Conf.*, 151 (2025) 01001 <https://doi.org/10.1051/bioconf/202515101001> <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85217265765&origin=recordpage> (Особистий внесок здобувача: моделювання біоенергетичних агроекосистем для обґрунтування ефективного управління зрошенням, підготовці матеріалів для публікації)

Статті у виданнях інших держав:

12. Tarariko Y., Saydak R., **Knysh V.**, Soroka Y. Creation of an irrigated bioenergy agroecosystem in the dry steppe of Ukraine. International scientific and technical conference “Modern problems of water management, environmental protection, architecture and construction”. Ts. Mirtskhulava Water management institute; Ecocenter for environmental protection. 16.07.2024. <https://doi.org/10.36073/1512-2344> (Особистий внесок здобувача: розробка моделей біоенергетичних агроекосистем та підготовці матеріалів для публікації)

Наукові праці, які засвідчують апробацію результатів дисертаційної роботи:

13. **В.В. Книш**, Ю.О. Тарапіко, Л.Д. Глущенко Обґрунтування системи обробітку чорнозему типового в сівозміні з цільовим вирощуванням сої// Наукові читання до 85-річчя від дня народження В.Г. Михайлова – видатного

вченого у галузі селекції та насінництва сільськогосподарських культур. 2021/5/10. С. 81-85.

14. Ю.О. Тарапіко, В.В Книш. Формування низьковуглецевих агроекосистем. Журнал Екологічна безпека та збалансоване природокористування в агропромисловому виробництві. Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Екологічна безпека та збалансоване природокористування в агропромисловому виробництві». 2022. С 350-354 https://www.agroeco.org.ua/wp-content/uploads/zbirnyk_2022.06_part1.pdf#page=350

15. Сайдак Р.В., Книш В.В. Використання показників SPI та ГТК для порівняння частоти прояву посушливих явищ на півдні України. Матеріали V міжнародної науково-практичної конференції молодих учених “Роль меліорації та водного господарства у забезпеченні сталого розвитку землеробства”, 8 грудня 2022 року, Київ, Україна.

16. Книш В.В. Сайдак Р.В. Вплив кліматичних змін на гідротермічні умови в Південному регіоні України. Міжнародна науково-практична конференція «Підземні води як стратегічний ресурс економічного розвитку держави» присвячена Всесвітньому дню водних ресурсів. 2022/3/22. С. 102-104.

17. Тарапіко Ю.О., Писаренко П.В., Сайдак Р.В., Сорока Ю.В., Книш В.В. Оцінка водопотреби для зрошення в Східному лісостепу України з урахуванням природних умов. «Науково-інноваційний розвиток агроприродництва як запорука продовольчої безпеки України: вчора, сьогодні, завтра». Матеріали конференції. С 64-66.

18. Книш В. В. Доцільність і перспективи виробництва пелет у ДП ДГ «Андріївське» з аграрної біомаси. Збірник тез XI Міжнародної науково-практичної онлайн-конференції «Прискорення змін для подолання водної кризи в Україні», присвяченої Всесвітньому дню водних ресурсів, 22 березня 2023 р. - С 24-26. <https://mivg.iwpim.com.ua/files/tezy2023.pdf> (дата звернення: 05.03.2025).

19. Майданович Н., Сайдак Р., **Книш В.** Аналіз частоти посух на Півдні України за показниками SPI та ГТК. ХХІІІ Міжнародна наукова конференція «Науково-технічні засади розроблення, випробування та прогнозування сільськогосподарської техніки і технологій» УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого. 2023 р. С. 127-134.
20. Тарапіко Ю.О., Писаренко П.В., Сорока Ю.В., **Книш В.В.** Агроресурсний потенціал меліорованих територій сухого степу Одещини. XII міжнародна науково-практична конференція «Вода для миру», Інститут водних проблем і меліорації НААН, м. Київ, 21.03.2024 р. URL: https://waterday.iwpim.com.ua/Water_day_tezy2024.pdf (дата звернення: 05.03.2025).
21. Сайдак Р.В., Писаренко П.В., **Книш В.В.**, Федорченко О.В. Вдовиченко О.П. Моделювання вологозабезпечення пшениці озимої на Півдні України // Матеріали конференції «Кліматичні зміни та сільське господарство. Виклики для аграрної науки та освіти» https://nmc-vfpo.com/wp-content/uploads/2024/04/tezy-malynka-27-03-2024_compressed.pdf. Київ: Олді+, 2024, 27.03.2024. С.130-133.
22. **Книш В.В.** Тарапіко Ю.О. Сталий розвиток аграрного сектору на біоенергетичній основі. Міжнародна науково-практична конференція «Сучасні вектори розвитку аграрної науки», присвячена 150-річчю створення Херсонського державного аграрно-економічного університету. 17-18 вересня 2024 р.
23. Ґрунтовий покрив України в умовах воєнних дій: стан, виклики, заходи з відновлення: монографія; за ред. С.А. Балюка, А.В. Кучера, М.І. Ромашенка. Київ: Аграрна наука, 2024. 340 с. Розділ «Сучасні проблеми водного господарства, охорони навколишнього середовища, архітектури та будівництво» Ромашенко М.І., Файбишенко Б.О., Шевченко А.М., Усата Л.Г., Сайдак Р.В., Стапук В.А., Никитюк О.А., Мацелюк Є.М., Музика О.П., Усатий С.В., **Книш В.В.** С. 279-315 <https://doi.org/10.31073/978-966-540-612-9> <https://agrovisnyk.com/books/978-966-540-612-9.pdf>

24. Тарапіко Ю.О., Сайдак Р.В., Сорока Ю.В., **Книш В.В.** Органічна система удобрення у степу на зрошенні. Науково–практична конференція «*Наукові читання до 100-річчя від дня народження Філіп'єва Івана Давидовича – видатного вченого у галузі агрохімії та ґрунтознавства*». С.230-234. 20 вересня 2024 р.

25. **В. Книш**, Ю. Тарапіко. Перспективи використання агроресурсного потенціалу сухого степу Одещини. Матеріали VI міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених 10 жовтня 2024 року. «*Роль меліорації та водного господарства у забезпеченні сталого розвитку сільського господарства*». с. 75-77. <https://doi.org/10.31073/mivg202403>

26. Тарапіко Ю.О., **Книш В.В.** Формування збалансованої системи природокористування у західному Поліссі. Науково-практична конференція «*Збалансоване природокористування: традиції, перспективи та інновації*». Інститут агроекології і природокористування НААН. 17 жовтня 2024 р.

27. Степанова М.М., **Книш В.В.**, Вдовиченко О.П. «Передумови інтеграції геоінформаційних технологій в систему логістики агропродукції в умовах нестабільності». Міжнародна науково-практична конференція «*Впровадження геоінформаційних технологій на практиці*» 6 березня 2025 року м. Одеса. С. 40-43. <https://icsanaas.com.ua/wp-content/uploads/2025/04/Збірник-матеріалів-конференції-06.03.2025-року.pdf>

28. Тарапіко Ю.О., **Книш В.В.**, «Біоенергетичні рішення для структурної модернізації зрошуваних агроекосистем». XIII Міжнародна науково-практичній конференції «*Вода для майбутнього: управління, збереження, інновації*», присвяченій Всесвітньому дню водних ресурсів. 25-26 березня 2025 року. м. Київ. С. 95-98. https://waterday.iwpim.com.ua/Water_day_tezy2025.pdf

29. Тарапіко Ю.О., **Книш В.В.**, «Моделювання замкненого циклу для виробництва біодизельного палива в зрошуваних агроекосистемах» Міжнародна науково-практична конференція «*Водна та продовольча безпека: світові та регіональні тенденції*». 20 березня 2025 року м. Одеса. С. 75-78 <https://icsanaas.com.ua/wp-content/uploads/>

ЗМІСТ

	С.
АНОТАЦІЯ.....	2
Список опублікованих праць за темою дисертації.....	9
Перелік умовних позначень, символів, одиниць і термінів.....	17
ВСТУП.....	19
Розділ 1 СТАН ВИВЧЕННЯ ТА ОБГРУНТУВАННЯ	
СПРЯМОВАНОСТЬ ДОСЛІДЖЕНЬ (<i>Огляд літературних джерел за тематикою дослідження</i>)	
	27
1.1 Вплив змін клімату на сільськогосподарське виробництво.....	27
1.2 Зрошення в Україні: стан та перспективи	43
1.3 Принципи формування біоенергетичних агроекосистем та особливості їх функціонування в умовах зрошення	52
Висновки до розділу 1.....	60
Список використаних джерел до розділу 1.....	61
Розділ 2 УМОВИ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ 74	
2.1 Ґрунтові умови регіону дослідження.....	74
2.2 Кліматичні умови району проведення дослідження. Погодні умови в роки проведення дослідження	79
2.3 Загальна характеристика базового господарства	84
Висновки до розділу 2.....	93
Список використаних джерел до розділу 2.....	94
Розділ 3 ОЦІНКА СУЧASNІХ КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН В РЕГІОНІ ДОСЛІДЖЕНЬ 97	
3.1 Зміни температурного режиму	97
3.2 Оцінка вологозабезпечення агроекосистем за динамікою опадів та індексом SPI	100
3.3 Оцінка гідротермічних умов	107

3.4 Аналіз кліматичного водного балансу та його впливу на вологозабезпечення агроекосистем	110
Висновки до розділу 3.....	115
Список використаних джерел до розділу 3.....	115
Розділ 4 ОЦІНКА ВОДНО-ФІЗИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ГРУНТІВ БАЗОВОГО ГОСПОДАРСТВА	119
4.1 Водно-фізичні властивості ґрунтів дослідних ділянок	119
4.2 Структура порового простору ґрунтів та її вплив на формування водного режиму агроекосистем	121
4.3 Обґрунтування параметрів режимів зрошеннЯ	138
Висновки до розділу 4.....	141
Список використаних джерел до розділу 4.....	142
Розділ 5 ОБГРУНТУВАННЯ СЦЕНАРІЇВ БІОЕНЕРГЕТИЧНОГО АГРАРНОГО ВИРОБНИЦТВА	143
5.1 Сучасний стан аграрного виробництва в регіоні досліджень ...	143
5.2 Оптимізація галузевої структури аграрного виробництва	152
5.3 Моделювання виробничої структури з урахуванням біоенергетичного потенціалу	154
5.4 Економічна ефективність моделей аграрного виробництва.....	179
Висновки до розділу 5.....	194
Список використаних джерел до розділу 5.....	195
ВИСНОВКИ.....	197
РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ.....	200
ДОДАТКИ.....	201

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ І ТЕРМІНІВ

1. ІВПіМ НААН – Інститут водних проблем і меліорації Національної академії аграрних наук України;
2. ІКОСГ НААН – Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства Національної академії аграрних наук України;
3. БГУ – біогазова установка;
4. ВРХ – велика рогата худоба;
5. ГТК – гідротермічний коефіцієнт;
6. ДП «ДГ «Андріївське» – Державне підприємство «Дослідне господарство Андріївське» ІКОСГ НААН;
7. ЗЗР – засоби захисту рослин;
8. ЄБРР - Європейський банк реконструкції та розвитку;
9. КВ – коефіцієнт водоспоживання;
- 10.КВБ – кліматичний водний баланс;
- 11.Кбє – коефіцієнт біоенергетичної ефективності;
- 12.ОГХ – основна гідрофізична характеристика ґрунту;
- 13.ОП – основна продукція;
- 14.ПВ – повна вологомісткість ґрунту, %;
- 15.ПП – побічна продукція;
- 16.СКЗ – система краплинного зрошення;
- 17.ФАР – фотосинтетично активна радіація;
- 18.ЧП – чистий прибуток, тис. грн/га;
19. $\sum t$ – сума температур вище $+10^{\circ}\text{C}$ за досліджуваний період, $^{\circ}\text{C}$;
20. $\beta_{\text{нв}}$ – вологість ґрунту, яка відповідає НВ, % від маси абсолютно сухого ґрунту;
21. β_{Φ} – фактична вологість ґрунту перед поливом, % від маси абсолютно сухого ґрунту;
22. O – продуктивні (≥ 5 мм) опади, $\text{m}^3/\text{га}$;

23. t – середньодобова температура повітря, $^{\circ}\text{C}$;
24. ν – щільність складення ґрунту, t/m^3 ;
25. ETc – евапотранспірація за вегетаційний період, мм , $\text{m}^3/\text{га}$;
26. P – забезпеченість року за дефіцитом випаровуваності, %;
- 27.CSA - Climate-Smart Agriculture;
- 28.SPEI - Стандартизований індекс евапотранспірації опадів (Standardized Precipitation Evapotranspiration Index);
- 29.SPI - Стандартизований індекс опадів (Standardized Precipitation Index)

В С Т У П

Актуальність теми.

В умовах глобальної зміни клімату, зокрема зростання температурного режиму та скорочення обсягів доступних водних ресурсів, збільшення випаровування та зниження біопродуктивності екосистем, значно ускладнюється ведення сільськогосподарської діяльності. У південних регіонах України, зокрема в Одеській області, спостерігається стійке зростання дефіциту кліматичного водного балансу, що призводить зростання ризиків посух, коливань урожайності та погіршення умов аграрного виробництва. Прогнозні оцінки зміни клімату підтверджують збереження цих тенденцій у довгостроковій перспективі, що робить проблему забезпечення сталого землеробства та підвищення продуктивності агроекосистем надзвичайно актуальною [1].

Особливу роль у вирішенні цієї проблеми відіграє зрошення земель, використання якого дозволяє забезпечити стабільне аграрне виробництво навіть за умов глобальної зміни клімату, що визнана Міжурядовою групою експертів (ІРСС), як один із ключових викликів для людства у ХХІ столітті [2]. Одним із напрямків вирішення цієї проблеми є розробка інноваційних підходів до формування ефективних агроекосистем шляхом інтеграції сучасних систем зрошення та впровадження біоенергетичних технологій. У цьому контексті особливої актуальності набуває застосування сучасних інформаційних технологій, зокрема багатоваріантного імітаційного моделювання, яке дає змогу обґрунтовувати та впроваджувати оптимальні рішення щодо організації сільськогосподарського виробництва. Такий підхід є доцільним для підприємств, розташованих у складних кліматичних умовах півдня України, зокрема для ДП «ДГ «Андріївське ІКОСГ НАН» (Білгород-Дністровський район, Одеська область), де ефективне використання агроресурсного потенціалу потребує врахування регіональних особливостей клімату, ґрунтів, стану меліоративної інфраструктури, логістичної доступності та можливостей

використання відновлювальних джерел енергії. Актуальність дослідження зумовлена також потребою у збалансованому використанні біоресурсів шляхом формування замкнених технологічних циклів, які забезпечують максимальний кругообіг макроелементів, позитивний їх баланс та підвищену рециркуляцію для виробництва біопалива, біоенергії, органічних добрив і технічної продукції. Такий підхід сприяє досягненню економічної ефективності та екологічної стійкості агроекосистем.

Актуальність роботи узгоджується з ключовими векторами державної аграрної, екологічної та кліматичної політики, що визначені у стратегічних документах національного рівня. Зокрема, йдеться про Цілі сталого розвитку України до 2030 року (Указ Президента України від 30.09.2019 р. № 722/2019), Стратегію зрошення та дренажу в Україні (схвалено розпорядженням КМУ від 14.08.2019 р. № 688-р) і План заходів з її реалізації (розпорядження КМУ від 21.10.2020 р. № 1567-р), а також Стратегію екологічної безпеки та адаптації до зміни клімату до 2030 року (розпорядження КМУ від 20.12.2021 р. № 1363-р).

Отже, дослідження, спрямовані на обґрунтування біоенергетичних агроекосистем в зрошуваних умовах півдня Одеської області, є особливо актуальними в контексті сучасних викликів аграрному сектору. Вони дозволяють науково обґрунтувати необхідність відновлення систем зрошення, забезпечити стабільну продуктивність аграрного виробництва в умовах зміни клімату, мінімізувати кліматичні ризики та досягти оптимального співвідношення економічних і екологічних показників сільськогосподарської діяльності.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Виконання дисертаційної роботи проведено у рамках державних бюджетних програм наукових досліджень Національної академії аграрних наук України 4 «Водна безпека та меліорація земель в умовах зміни клімату», а саме:

- НДР 04.03.00.20Ф «Встановити закономірності формування динаміки вологозабезпечення посівів основних польових культур та

обґрунтувати напрями його регулювання в умовах змін клімату». (2021–2025 рр., № держреєстрації 0121U1094733; здобувач — виконавець);

- НДР 04.02.00.18П «Розроблення методологічних зasad формування та техніко–технологічні аспекти реалізації оптимальних режимів зрошення за умов змін клімату» (2021-2023 рр., № державної реєстрації 0121U109470), здобувач — виконавець).

Прикладну частину дослідження реалізовано відповідно до договору № 05.1.1021 від 14.05.2021 р. «Про виконання робіт з проведення грунтових обстежень сільськогосподарських земель господарства та організації мережі для моніторингових спостережень за станом погодних умов та вологозабезпечення ґрунтів» укладеного між ДП ДГ «Андріївське» та Інститутом водних проблем і меліорації НААН України, (здобувач — виконавець).

Мета і завдання наукового дослідження.

Мета дослідження - обґрунтувати науково-методичні засади формування біоенергетичних агроекосистем в зрошуваних умовах півдня Одеської області на основі відновлення систем зрошення та оптимізації використання агроресурсного потенціалу. Для досягнення мети визначено такі основні завдання:

- оцінити агроресурсний потенціал території та визначити ключові фактори його реалізації в умовах зрошення;
- оцінити вплив зміни клімату на природне вологозабезпечення регіону;
- визначити гідрофізичні властивості ґрунтів базового господарства та обґрунтувати на їх основі параметри систем та режимів зрошення;
- розробити сценарії біоенергетичних агроекосистем з урахуванням природно-кліматичних особливостей регіону;
- обґрунтувати структуру та параметри біоенергетичних агроекосистем для зрошуваних умов;
- визначити економічну ефективність запропонованих моделей біоенергетичних агроекосистем;

- розробити практичні рекомендації щодо впровадження біоенергетичних агроекосистем в умовах зрошення півдня Одеської області.

Об'єкт дослідження: процеси формування та функціонування біоенергетичних агроекосистем в зрошуваних умовах півдня Одеської області.

Предмет дослідження: науково-методичні засади та сценарії розвитку біоенергетичних агроекосистем у зрошуваних умовах півдня Одеської області, гідрофізичні властивості ґрунтів, стан систем зрошення, продуктивність біоенергетичних культур, залежність врожайності від індексу SPI, економічна та екологічна ефективність агропромислового виробництва.

Методи дослідження – системного аналізу та синтезу; монографічний; порівняльного аналізу та емпіричних узагальнень; польового та лабораторного визначення гідрофізичних властивостей ґрунтів; математично-статистичного аналізу, економетричного та комп'ютерного моделювання і сценарного прогнозування розвитку біоенергетичних агроекосистем.

Наукова новизна дослідження полягає в розробці комплексного науково-методичного підходу до формування біоенергетичних агроекосистем в зрошуваних умовах півдня Одеської області та обґрутуванні інноваційних рішень щодо адаптації аграрного виробництва до сучасних викликів.

Вперше обґрутовано доцільність використання біоенергетичних зрошуваних агроекосистем як комплексного інструменту адаптації агропромислового виробництва до кліматичних змін. Запропонована концепція інтеграції рослинництва, тваринництва, раціонального водокористування та локальних джерел енергії забезпечує синергетичний ефект підвищення ефективності виробництва та досягнення екологічної сталості аграрного сектору в умовах трансформації клімату.

Вперше для умов півдня України обґрутовано технічні вимоги до проєктування систем та режимів зрошення з урахуванням гідрофізичних характеристик ґрунтів.

Удосконалено сценарій інтегрованого аграрного виробництва завдяки обґрутуванню технологічного рішення щодо отримання біопалива через

етерифікування соняшникового соапстоку бутанолом з повною утилізацією побічних продуктів (макухи та гліцерину), що забезпечує формування замкнутого виробничого циклу, підвищення енергетичної самозабезпеченості, зниження вуглецевого сліду та зростання економічної ефективності відповідно до пріоритетів біоекономічного розвитку України, що створює передумови для сталого функціонування аграрного сектору.

Набули подальшого розвитку:

- методичні підходи щодо використання гідрофізичних властивостей ґрунтів для обґрунтування параметрів систем та режимів зрошення, що створює основу для проектування енергоефективних екологобезпеччих систем зрошення з оптимізованими витратами ресурсів;
- методологія оцінки ефективності агроекосистем, яка ґрунтуються на встановленні залежностей між індексом стандартизованих опадів (SPI) та урожайністю основних польових культур. Це дозволяє науково обґрунтовано реагувати на кліматичні виклики, оцінювати ефективність зрошувальних заходів з урахуванням регіональної специфіки та впроваджувати адаптивні підходи до моделювання біоенергетичних агроекосистем.

Практичне значення. Результати дисертаційного дослідження були використані в процесі стратегічного планування розвитку агропромислового комплексу Одеської області та враховані під час підготовки нормативних документів. У 2024–2025 роках Департамент аграрної політики, продовольства та земельних відносин Одеської ОВА застосував основні положення і висновки дисертаційної роботи у своїй практичній діяльності, що підтверджується відповідним актом впровадження від 23 квітня 2025 року.

До основних практичних результатів належать:

- розроблення моделей функціонування біоенергетичних агроекосистем з урахуванням ґрунтово-кліматичних умов південного регіону України;
- наукове обґрунтування включення енергетичних культур (цукрового сорго, кукурудза на зелену масу для силосування) до сівозмін як перспективного джерела відновлюваної біомаси;

- адаптація технологій ощадливого зрошення із застосуванням сучасних водозберігаючих рішень, з урахуванням гідрофізичних властивостей ґрунтів;
- розробка підходів до утилізації побічної продукції рослинництва (соломи, соапстоку, вегетативна побічна маса тощо) для енергетичних і агротехнічних цілей (виробництво біопалива, сидеральне використання);

Практичне значення дослідження також реалізовано через співпрацю з територіальними громадами Одеської області в частині впровадження водо- та енергоощадних технологій в плани землекористування, що сприяє підвищенню ефективності використання природних ресурсів та зміцненню енергетичної безпеки сільських територій.

Результати дисертаційної роботи в частині врахування гідрофізичних властивостей ґрунтів, знайшли безпосереднє застосування у виробничій діяльності. Зокрема, наукові розробки використано при виконанні договору №12.1.09-24 від 12.08.2024 р. з Науково-виробничим фермерським господарством «Компанія Маїс» для дослідження впливу різних режимів зрошення на врожайність гібридів кукурудзи.

Таким чином, практичне значення дисертаційного дослідження полягає у створенні науково-методичної бази для модернізації аграрного виробництва через впровадження інноваційних біоенергетичних технологій та оптимізацію використання водних ресурсів в умовах зміни клімату.

Особистий внесок здобувача. Дисертант самостійно проводив лабораторні, розрахункові та аналітичні дослідження, зокрема здійснював математично-статистичний аналіз, економіко-енергетичне оцінювання, а також комп’ютерне моделювання ймовірних сценаріїв розвитку агроекосистем. Окрему увагу здобувачем було приділено інтерпретації та аналізу даних щодо гідрофізичних властивостей ґрунтів, які використовувалися для обґрунтування параметрів та режимів зрошення. Здобувачем самостійно сформульовано та обґрутовано основні положення дисертаційної роботи, здійснено аналіз сучасного стану проблематики, проведено обробку та інтерпретацію результатів досліджень в частині економіко-енергетичного оцінювання і

моделювання розвитку біоенергетичних агроекосистем. На основі отриманих результатів підготовлено наукові висновки та практичні рекомендації для агроприбництва. Одержані результати викладено у співавторських публікаціях, у яких внесок здобувача полягає в організації досліджень, виконанні розрахунків, аналізі експериментальних даних і підготовці наукового тексту. Рукопис дисертаційної роботи підготовлено здобувачем самостійно за наукового консультування та методичного контролю керівників дослідження.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної дослідження, його результати було представлено на 14 міжнародних і 1 всеукраїнських наукових конференціях. Зокрема, на міжнародній науково-практичній конференції, присвяченій Всесвітньому дню водних ресурсів «Прискорення змін для подолання водної кризи в Україні» (м. Київ, 2023); міжнародній науковій конференції «Науково-технічні засади розроблення, випробування та прогнозування сільськогосподарської техніки і технологій» (Київська область, смт. Дослідницьке, 2023); міжнародній науково-практичній конференції, присвяченій Всесвітньому дню водних ресурсів «Вода для миру» (м. Київ, 2024); міжнародній конференції «Кліматичні зміни та сільське господарство: виклики для аграрної науки та освіти» (м. Київ, 2024); міжнародній науково-практичній конференції «Збалансоване природокористування: традиції, перспективи та інновації» (м. Київ, 2024); міжнародній науково-практичній конференції, присвяченій Всесвітньому дню водних ресурсів «Вода для майбутнього: управління, збереження, інновації» (м. Київ, 2025); міжнародній науково-практичній конференції «Водна та продовольча безпека: світові та регіональні тенденції» (м. Одеса, 2025).

Крім цього, базові аспекти дисертаційної роботи представлено в ряді інших наукових працях автора, доповідались на засіданнях вченої ради та координаційно-методичної ради «Водні ресурси і меліорація земель» в Інституті водних проблем і меліорації НААН.

Публікації. Одержані результати дисертаційного дослідження

оприлюднено в 29 наукових роботах, зокрема: у 10 статтях у фахових виданнях України (1 — категорії А, 9 — категорії Б), 1 – тезах конференцій, включених до наукометричної бази Scopus, 1- монографії, 1 – статті у виданні інших держав, 16 – матеріалах наукових конференцій.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційну роботу у вигляді рукопису викладено на 221 сторінці комп’ютерного набору, що включає вступ, 5 розділів, висновки та рекомендації виробництву, список використаних джерел літератури з 153 найменувань, містить 17 таблиць, 70 рисунків, а також 11 додатків.

Дисертант висловлює ширу подяку:

- своїм науковим керівникам доктору сільськогосподарських наук, академіку НААН, професору Тарапіку Юрію Олександровичу та кандидату сільськогосподарських наук Сайдаку Роману Васильовичу — за цінні наукові рекомендації, допомогу та підтримку, що сприяли формуванню наукового змісту та практичної цінності дисертаційного дослідження;

- доктору технічних наук, професору, академіку НААН, Заслуженому діячу науки і техніки України Михайлу Івановичу Ромашенку, кандидату сільськогосподарських наук Коломійцю Сергію Степановичу та доктору філософії Сардак Анастасії Сергіївні за допомогу в опрацюванні матеріалів дослідження з питань водно-фізичних властивостей ґрунтів, корисні поради та практичний досвід, отриманий під час спільної наукової роботи;

- старшому науковому співробітнику відділу агроресурсів Усатій Людмилі Григорівні за кваліфіковані консультації щодо характеристики ґрутових умов регіону дослідження та фахові рекомендації;

- колективу ІВПіМ НААН за всебічну підтримку та сприяння у проведенні досліджень.

РОЗДІЛ 1 СТАН ВИВЧЕННЯ ТА ОБГРУНТУВАННЯ

СПРЯМОВАНОСТІ ДОСЛІДЖЕНЬ

(Огляд літературних джерел за тематикою дослідження)

1.1 Вплив зміни клімату на сільськогосподарське виробництво

Проблема впливу зміни клімату на аграрне виробництво є однією з найбільш актуальних як у світі загалом, так і в Україні зокрема. За даними Світового банку [1], протягом останніх 60 років темпи підвищення температури в Україні перевищують середній рівень у країнах ЄС і в кілька разів випереджають світові показники. Зміна клімату становить одну з ключових загроз для глобальної продовольчої безпеки у ХХІ столітті. Сільське господарство, діяльність якого безпосередньо залежить від кліматичних умов, зазнає значних викликів унаслідок підвищення середніх температур повітря, трансформації характеру та розподілу опадів, а також зростання частоти й інтенсивності екстремальних метеорологічних явищ.

Згідно з останніми оцінками Міжурядової панелі з питань зміни клімату (IPCC) [2], середньосвітова температура поверхні Землі зросла приблизно на $1,1^{\circ}\text{C}$ порівняно з доіндустріальним рівнем (1850-1900 рр.) і продовжує зростати. Підвищення температури на 1°C може привести до зменшення врожайності основних зернових культур у помірних широтах на 5-10%. Дослідження Lobell et al. [3] свідчить, що за відсутності адаптаційних заходів середня глобальна врожайність основних сільськогосподарських культур, таких як пшениця, кукурудза та рис, може скоротитися на 10–25% до 2050 року. Ray et al. у своєму дослідженні [4] ще у 2019 році проаналізували дані щодо врожайності сільськогосподарських культур у період 1974–2016 років і встановили, що кліматичні зміни вже спричинили зниження глобального виробництва кукурудзи на 4,1%, пшениці – на 1,8% та рису – на 1,2%. Найбільш уразливими до цих змін виявилися тропічні регіони, де зафіксовано значні втрати врожайності. Об'єднаним дослідницьким центром ЄС опубліковано серію звітів PESETA [5-6] (2014, 2018, 2020), які оцінюють

секторальні та регіональні впливи зміни клімату в Європі. Так південна Європа може зазнати зниження врожайності до 25% до 2080 року. Північна Європа може тимчасово вигравати від подовження вегетаційного періоду Зростаючий водний стрес у Середземномор'ї значно вплине на зрошуване землеробство.

Як відповідь на глобальні кліматичні виклики, 11 грудня 2019 року Європейська комісія прийняла Європейський зелений курс [7] (European Green Deal) - амбітний план переходу до 2050 року до кліматично нейтральної Європи. У сфері сільського господарства основним завданням є забезпечення харчової безпеки. У рамках цього завдання 20 травня 2020 року Європейська комісія ухвалила Стратегію «Від ферми до виделки», яка передбачає комплекс заходів, спрямованих на:

- Перехід до сталого виробництва, сприяння пом'якшенню зміни клімату та збереженню біорізноманіття. Зокрема, це включає значне зменшення використання хімічно-синтезованих пестицидів та добрив, а також скорочення застосування антибіотиків. В ЄС викиди парникових газів від сільськогосподарської діяльності становлять 11%, а у світі близько 21-37% усіх викидів парникових газів пов'язані з виробництвом продуктів харчування.
- Сприяння сталому споживанню та переходу до здорового харчування. Планується розробка узгодженої політики та нормативно-правової бази ЄС щодо системи сталого харчування.
- Скорочення відходів харчових продуктів як реальний спосіб зменшення негативного впливу на довкілля.

Вплив на основні культури.

У дослідженні Zhao et al. [8] встановлено, що підвищення глобальної температури на 1 °C призводить до зниження врожайності основних культур: пшениці на 6,0%, кукурудзи на 7,4%, рису на 3,2% та сої на 3,1%. Ці втрати варіюються залежно від регіону, причому найбільше зниження врожайності кукурудзи спостерігається в США (10,3%), Китаї (8,0%), Бразилії (5,5%) та Індії (5,2%). Автори підkreślують необхідність впровадження адаптаційних

стратегій, таких як генетичне покращення культур та вдосконалення агротехнічних практик, для забезпечення глобальної продовольчої безпеки в умовах підвищення температури.

Високотемпературний стрес є критичним фактором, що впливає на врожайність провідних зернових культур, таких як рис і пшениця, особливо в репродуктивній фазі онтогенезу. Згідно з результатами дослідження Jagadish et al. [9], вплив екстремальних температур у період цвітіння може призводити до втрати врожаю на рівні 40–80% через стерильність пилку та порушення ключових репродуктивних механізмів. Автори виявили, що чутливі сорти є особливо вразливими на стадії переходу пилку від біцеплюлярної до трицеплюлярної фази, тоді як толерантні сорти зберігають життєздатність пилку завдяки покращенному метаболізму цукрів і накопиченню крохмалю. Ці дані підкреслюють необхідність врахування фізіологічних реакцій рослин на тепловий стрес при оцінці продуктивності зернових культур в умовах зміни клімату.

У дослідженні [10], представленому авторами Feeley et al., встановлено, що впродовж 1970–2011 років у більшості екорегіонів Північної, Центральної та Південної Америки спостерігалося зростання відносної частки видів, адаптованих до вищих температур. Така тенденція свідчить про наявність процесу термопілізації — поступової зміни видового складу рослинних угруповань у бік теплолюбних форм під впливом підвищення середньорічних температур. Швидкість термопілізації була найвиразнішою в екорегіонах із помірними температурами та позитивно корелювала з локальними темпами потепління. Зміни у відносній абундансції видів з різними водними вимогами були менш послідовними і не демонстрували чіткої кореляції із змінами опадів, що свідчить про потенційне підвищення чутливості окремих екорегіонів до посух. Зміни у складі рослинних спільнот можуть впливати на функціонування, стабільність та біорізноманіття екорегіонів, що має важливе значення для забезпечення екосистемних послуг та розробки адаптаційних стратегій. Ці результати підкреслюють, що глобальне потепління стає ключовим драйвером

змін у флористичному складі, що може мати далекоглядні наслідки для стабільності та функціонування природних екосистем.

У дослідженні Alotaibi [11] спрогнозовано, що зміна клімату призведе до зниження зниження врожайності основних культур до 2100 року: пшениці на 5–50%, рису на 20–30%, кукурудзи на 20–45% та сої на 30–60% без адаптації. Кожне підвищення температури на 1°C знижує врожайність пшениці на 6%, кукурудзи на 7.4%, рису на 3.2% та сої на 3.1%. Найбільші втрати очікуються в Південній Азії, де врожайність пшениці в Індії та Бангладеш може впасти на 40–60% до 2050 року, тоді як у помірних зонах (Північна Америка, Європа) можливе зростання на 5–20%. Автор наголошує на необхідності адаптаційних заходів, таких як селекція стійких сортів, використання нанотехнологій (ZnO , SiO_2) та оптимізація агрономічних практик, для забезпечення продовольчої безпеки в умовах кліматичних змін.

Вплив на тваринництво.

Окрім впливу на галузь рослинництва, кліматичні зміни впливають і на тваринництво. Так у дослідженні [12] проаналізовано глобальний вплив зміни клімату на тваринництво, а також внесок цього сектора у зміну клімату. Очікується, що до 2050 року попит на продукцію тваринництва подвоїться, що спричинить значний тиск на природні ресурси та продовольчу безпеку. Автори встановили, що споживання води худобою може зрости втричі, а попит на сільськогосподарські угіддя — на 70% через необхідність нарощування виробництва. Зміна клімату негативно впливатиме на якість кормових культур, виробництво молока і м'яса, здоров'я тварин та їх відтворення. Найбільші ризики виникатимуть у регіонах із нестабільними кліматичними умовами, зокрема через скорочення ресурсів води та часті екстремальні погодні явища. Водночас тваринництво є значним джерелом парникових газів і наразі відповідає за 14,5% глобальних викидів, що сприяє подальшому потеплінню. Основними шляхами зменшення впливу тваринництва на зміну клімату є оптимізація раціонів годівлі, підвищення генетичної стійкості тварин, управління водними ресурсами та скорочення викидів метану. Автори

підкреслюють, що для пом'якшення впливу зміни клімату на тваринництво необхідно розробляти адаптаційні стратегії, зокрема: використання альтернативних кормів, вдосконалення технологій утримання худоби, оптимізацію політики підтримки сталого тваринництва.

У дослідженні Godber та Wall [13] проаналізовано взаємозв'язок між зміною клімату, ростом населення та продовольчою безпекою у контексті тваринництва на основі даних FAOSTAT і Світового банку. Автори встановили, що до 2050 року населення світу зросте до 10.6 мільярда осіб, що вимагатиме збільшення виробництва продуктів харчування на 70%, зокрема тваринницької продукції, яка забезпечує до 30% світового споживання білка. Попит на м'ясо та молочні продукти зростатиме переважно в країнах, що розвиваються, особливо в Підсахарській Африці, де вже зараз спостерігається дефіцит продовольства. Підвищення температури та зміни опадів знижують продуктивність пасовищ на 10–20% у посушливих регіонах, скорочення водних ресурсів посилює конкуренцію за них, а потепління сприяє поширенню хвороб худоби (наприклад, паразитів, таких як кліщі, на 15–25%). Найбільш вразливими є країни Африки та Азії через низьку адаптивну здатність, тоді як розвинені країни (наприклад, США, країни ЄС) демонструють вищу стійкість завдяки економічним ресурсам і розвиненій інфраструктурі. Автори підкреслюють необхідність адаптаційних стратегій, таких як поліпшення ветеринарних послуг, впровадження агроекологічних практик (збільшення продуктивності пасовищ на 5–10%) та регулювання продовольчих ринків для забезпечення доступності продукції. Дослідження наголошує, що без адаптації кліматичні зміни можуть призвести до дефіциту тваринницької продукції в країнах, що розвиваються, на 20–30% до середини століття.

У дослідженні Grossi et al. [14] верифіковано вплив на галузь тваринництва, що підтверджує результати двох попередніх наукових робіт. Дослідниками було виміряно внесок тваринництва у кліматичні зміни, встановивши, що даний сектор відповідає за 14,5% антропогенних викидів парникових газів (еквівалент 7,1 Гт CO₂). Визначено основні джерела викидів:

виробництво кормових ресурсів, кишкова ферментація жуйних тварин, зберігання та утилізація екскрементів, а також переробка продукції тваринного походження. Метан (CH_4) і закис азоту (N_2O) визнано як основні парникові гази, що утворюються в процесі тваринницької діяльності. Дослідниками запропоновано стратегії зменшення викидів, включаючи оптимізацію раціону, впровадження анаеробного зброджування екскрементів та посилення санітарних заходів. Автори наголошують на необхідності застосування комплексного підходу для забезпечення екологічної стійкості продуктивного тваринництва.

Вплив зміни клімату на сільське господарство України

Клімат України суттєво змінився за останні 60 років, температура зростає все швидше. З кінця 1990-х років середня річна температура повітря стабільно вища, ніж у період з 1961 по 1990 рік. Останнє десятиліття, особливо роки з 2015 року, були найтеплішими за всю історію в Україні та в Північній півкулі загалом. В окремі роки підвищення середньої річної температури повітря перевищувало $2,0^\circ\text{C}$ ($2,2^\circ\text{C}$ у 2007, $2,3^\circ\text{C}$ у 2015, $2,7^\circ\text{C}$ у 2019) [15]. За останні двадцять років виникнення посух зросло майже вдвічі майже по всій території країни, з небезпечною тенденцією до збільшення повторення посушливих умов у Поліському регіоні, який раніше був достатньо вологим, а також виникнення посушливих умов у північних районах Лісостепу [15, 25]. За даними українського Гідрометцентру, за останні 30 років середня температура повітря в Україні підвищилася на $1,2^\circ\text{C}$. З 1975 по 2019 роки температура зростала зі швидкістю $0,61\text{--}0,82^\circ\text{C}$ за 10 років. Це вищий темп, ніж в сусідніх країнах (Росія, Молдова, Білорусь) — $0,47\text{--}0,59^\circ\text{C}$ за 10 років, та в цілому в північній півкулі Європі — $0,34$ і $0,47^\circ\text{C}$ за 10 років. Отже, в Україні зміна клімату відбувається значно швидше, ніж у багатьох інших регіонах .

Балабух та ін. [16] документують, що середня річна температура в Україні зросла на $1,2^\circ\text{C}$ за останні 30 років, причому найбільше підвищення спостерігається взимку та влітку. Якщо глобальні викиди парникових газів

залишаться високими, до 2070-х років підвищення температури може досягти 4-5°C відносно доіндустріального періоду.

Краковська та ін. [17] прогнозують зміни режиму опадів в Україні з тенденцією до зростання зимових опадів та зменшення літніх, що призводитиме до посилення посух у вегетаційний період. Шевченко та ін. [18] відзначають збільшення частоти та інтенсивності екстремальних погодних явищ в Україні, включаючи посухи, хвилі спеки, сильні зливи та граду, що становлять значні ризики для сільського господарства.

Вплив на рослинництво України

Адаменко [19] проаналізувавши зміни агрокліматичних умов в Україні та встановила, що межі агрокліматичних зон зміщаються на північ зі швидкістю 10-15 км за 10 років. Лісостепова зона трансформується у степову, а поліська – у лісостепову.

Іващенко і Рудник-Іващенко [20] дослідили вплив зміни клімату на вирощування основних сільськогосподарських культур в Україні та виявили як негативні (збільшення посушливості, поширення нових шкідників та хвороб), так і позитивні (подовження вегетаційного періоду, можливість вирощування нових культур) наслідки.

Петриченко та ін. [21] прогнозують зниження врожайності пшениці озимої в південних регіонах України на 15-40% до 2050 року через підвищення посушливості, але можливе збільшення врожайності у північних регіонах на 5-15% завдяки подовженню вегетаційного періоду.

Дослідження Тарапіко та ін. [22] показало, що зміна кліматичних умов привела до розширення посівних площ кукурудзи, соняшнику та сої в північних регіонах України, де раніше їх вирощування було обмеженим через недостатню суму активних температур.

Вплив на тваринництво України

Пришедько та ін. [23] оцінили вплив кліматичних змін на тваринництво України та визначили, що підвищення температури повітря вже призводить до теплового стресу у молочного скота, що знижує надої на 10-15% у літні місяці.

Борщ, Рубан та ін. [24] прогнозують збільшення витрат на охолодження тваринницьких приміщень та погіршення умов для пасовищного утримання худоби в південних регіонах України через спеку та нестачу кормової бази.

Економічні наслідки.

Згідно з прогнозами Київської школи економіки [25], без ефективної кліматичної адаптації сільське господарство України щороку втрачатиме близько 0,6% ВВП, що в еквіваленті становить понад 2 млрд дол. США. Економічні наслідки зміни клімату проявляються у зниженні врожайності: у південних регіонах урожайність пшениці в окремі роки зменшується до 50%, а загальна варіативність врожайів пояснюється кліматичними чинниками на 58%. До 90% території України потребує зрошення, тоді як фактично зрошується близько 1% площин, що знижує стійкість агропромислового виробництва. За умови подальшого негативного впливу зміни клімату очікується зниження вмісту гумусу у ґрунтах на 4% до 2030 року, що призведе до додаткових втрат продуктивності і потреби в дорогоцінних заходах з відновлення родючості. Деградація ґрунтів, посилення екстремальних погодних явищ та зовнішні ризики, пов'язані з обмеженнями викидів CO₂ на світових ринках, створюють додаткові загрози для аграрного сектору України. Експерти підкреслюють, що розширення зрошення хоча б до 5-10% орних земель та впровадження кліматично-адаптивних технологій дозволить знизити втрати врожаю на 20-30%, підвищити стабільність виробництва і зберегти рентабельність агробізнесу.

Жовтоног та ін. (2021) [26] проаналізували економічну ефективність різних адаптаційних стратегій для сільського господарства України та визначили, що інвестиції в зрошувальні системи, селекцію посухостійких сортів та страхування від кліматичних ризиків мають найвищу рентабельність.

Вплив на агроекосистеми.

Агроекосистеми відіграють важливу роль у процесах поглинання вуглецю, проте їх функціонування значною мірою залежить від антропогенних чинників. Однак відмінності у вуглеводному балансі між зрошуваними та багаторічними агроекосистемами, а також ключові механізми, що зумовлюють ці

відмінності, залишаються недостатньо дослідженими. Агроекосистеми є складноорганізованими системами, які значною мірою залежать від кліматичних умов, зокрема від вологозабезпечення. Умови зміни клімату, такі як підвищення температури, зміни в розподілі атмосферних опадів, збільшення концентрації вуглекислого газу (CO_2) в атмосфері та почастішання екстремальних погодних явищ, створюють нові виклики для сільськогосподарського виробництва. Згідно з даними ІВПіМ НААН та Національної метеорологічної служби Великої Британії [15, 27], за останні 30 років середньорічна температура в Україні зросла на 1,2–1,5°C, а кількість опадів у південних регіонах зменшилася на 10–15%. Це призводить до зниження вологості ґрунту, збільшення випаровуваності, деградації ґрунтів, спричиняє суттєві зміни у водному балансі агроекосистем та фізіологобіохімічних процесах у рослинах. Згідно з дослідженнями науковців Національного Інституту стратегічних досліджень [28] підвищення температури на 1°C може збільшити випаровування води з ґрунту на 5–7%, що особливо критично для регіонів із недостатнім рівнем опадів. Крім того, збільшення концентрації CO_2 в атмосфері (понад 400 ppm) [29] впливає на фотосинтетичну активність рослин.

Вуглекислий газ (CO_2) є одним із ключових компонентів процесу фотосинтезу, під час якого за участі світлої енергії та води відбувається синтез органічних сполук, необхідних для росту та розвитку рослин. У результаті цього процесу утворюються асиміляти, які забезпечують накопичення біомаси та продуктивність рослин. Підвищена концентрація CO_2 в атмосфері може сприяти фотосинтезу, що отримало назву «ефект удобрення CO_2 ». Цей ефект найбільш виражений у C3-рослин (пшениця, рис, соя), оскільки у них підвищена концентрація CO_2 зменшує фотодихання та підвищує ефективність ферменту RuBisCO, що бере участь у фіксації вуглецю. Водночас для C4-рослин (кукурудза, сорго) цей ефект менш значний, оскільки вони мають більш ефективний механізм концентрації CO_2 у клітинах мезофілу. Однак загальна інтенсивність цього явища залежить не лише від рівня CO_2 , а й

від таких факторів, як вологість ґрунту, температурний режим, рівень мінерального живлення та баланс елементів живлення [30].

З початку індустріальної епохи концентрація CO₂ в атмосфері зросла з приблизно 280 ppm до понад 420 ppm у 2023 році [31] і продовжує поступово зростати [32]. Це суттєво впливає на фізіологічні процеси в рослинах, маючи як позитивні, так і негативні наслідки. Наприклад, підвищений рівень CO₂ може покращувати водокористувальну ефективність рослин: через меншу потребу у відкритті продихів знижується транспірація, що дозволяє рослинам витрачати менше води за умов посухи. Водночас надмірне накопичення вуглецю може призводити до дисбалансу між макро- та мікроелементами, що виявляється у зниженні вмісту білка в зернових культурах і погіршенні їхньої поживної цінності.

Підвищення концентрації CO₂ в атмосфері має складний і неоднозначний вплив на рослинний світ та агроекосистеми. Хоча цей процес може стимулювати фотосинтез і підвищувати продуктивність рослин, його ефективність значною мірою залежить від супутніх факторів, таких як рівень вологої, температура, доступність поживних речовин та адаптивні можливості конкретних культур. Зміна складу атмосфери не лише впливає на кількісні показники врожаю, а й може спричиняти зміни в його якості та стійкості до стресових факторів. Позитивні наслідки підвищеного рівня CO₂:

- Посилення ефективності фотосинтезу («ефект удобрения CO₂»). Вищий рівень CO₂ сприяє збільшенню інтенсивності карбоксилювання RuBisCO, що підвищує продуктивність C3-рослин (пшениця, рис, соя) на 10–30% [30]. У C4-рослин (кукурудза, сорго) цей ефект менш виражений, оскільки вони мають ефективніший механізм фіксації вуглецю, що зменшує їхню чутливість до коливань CO₂.

- Зниження транспірації та підвищення ефективності водокористування. Підвищена концентрація CO₂ в атмосфері спричиняє часткове закриття продихів, що зменшує втрати води через транспірацію. Це явище покращує

водний баланс рослин, особливо в посушливих регіонах, оскільки сприяє ефективнішому використанню доступної вологи [33].

Негативні наслідки підвищеного рівня CO₂:

- Погіршення якості врожаю. Дослідження показують, що при зростанні рівня CO₂ у зерні пшениці знижується вміст білка на 6–14%, а також мікроелементів, таких як залізо та цинк (Myers et al., 2014). Це пояснюється ефектом розведення: рослини накопичують більше вуглеводів, але пропорційно менше азотних сполук і мікроелементів. Подібний ефект спостерігається і в інших культурах. Наприклад для рису підвищений рівень CO₂ призводить до зниження вмісту білка, заліза та цинку у зерні, що може мати негативний вплив на харчову безпеку в регіонах, де рис є основним продуктом харчування [34]. Для сої високий рівень CO₂ може сприяти зростанню врожайності, концентрація білка у насінні знижується, що впливає на її харчову цінність [35]. Кукурудза – хоча ця культура менш чутлива до змін рівня CO₂ порівняно з СЗ-рослинами (наприклад, пшеницею та рисом), дослідження показують, що можливе зниження вмісту білка та концентрації мікроелементів у зерні таких як цинк, що негативно впливає на харчову цінність культури [36].

- Порушення обміну азоту. Підвищений CO₂ порушує азотний метаболізм через механізм засвоєння нітратного азоту, що обмежує синтез білків і може негативно позначитися на поживній цінності врожаю. Дослідження показують, що зменшення продихової провідності підвищує ризик азотного дефіциту в деяких культурах [37].

- Обмежений вплив у посушливих умовах. Попри те, що CO₂ може покращувати ефективність водокористування, за гострого дефіциту вологи фотосинтетична активність залишається низькою. В умовах посухи коренева система поглинає менше поживних речовин, що нівелює потенційні переваги підвищеного рівня CO₂ [38].

- Вплив на резистентність до хвороб та шкідників. Підвищення рівня CO₂ може змінювати вторинний метаболізм рослин, що впливає на їхню стійкість до

патогенів. Деякі дослідження свідчать, що підвищений рівень СО₂ може сприяти зростанню біомаси шкідників через зміну співвідношення вуглецевих і азотних сполук у рослинах [39].

- Глобальні наслідки для продовольчої безпеки. Зниження якості сільськогосподарської продукції через підвищений рівень СО₂ може мати серйозні наслідки для регіонів, що залежать від культур із високим вмістом білка (наприклад, пшениці та рису). Це ставить виклик перед адаптаційними стратегіями, такими як селекція сортів із підвищеним вмістом білка або зміна агротехнічних підходів.

Підвищення рівня СО₂ є важливим фактором, що впливає на ріст і розвиток рослин. Хоча цей процес може покращувати фотосинтетичну активність та ефективність водокористування, він також призводить до зниження якості врожаю та потенційних змін у біохімічному складі рослин. У контексті майбутніх змін клімату необхідно розробляти адаптаційні стратегії для мінімізації негативних наслідків та забезпечення сталого розвитку сільського господарства.

Сучасні сорти та гібриди сільськогосподарських культур мають значний потенціал продуктивності, який визначається комплексом морфо-фізіологічних, біохімічних і генетичних факторів. В умовах оптимального агрофону потенційна продуктивність, наприклад, сучасних гіbridів кукурудзи значно перевищує 15 т/га, а сортів озимої пшениці – понад 10 т/га, який може бути реалізований лише за умови оптимального вологозабезпечення. Наприклад:

- Кукурудза є культурою, яка інтенсивно використовує світло та вологу з перших днів вегетації. В умовах високих температур і низької вологості повітря спостерігається надмірна транспірація, що може привести до зниження врожайності. Сучасні гібриди кукурудзи, такі як ДКС 3511 або Піонер 8998, здатні забезпечувати врожайність 10–12 т/га за умови достатнього вологозабезпечення (70–80% НВ) та збалансованого живлення. Однак у посушливих умовах їхній потенціал може знижуватися на 30–50% через стресові фактори, пов’язані з дефіцитом вологи. Згідно з даними Національної

асоціації виробників кукурудзи США [40], фермер Девід Хула досяг рекордної врожайності 39,12 т/га, що значно перевищує середній показник у США (11 т/га). Дані супутникового моніторингу свідчать, що середньорічний рівень опадів на фермі Девіда за останні 5 років становили 1262 мм. У період з квітня по вересень випадає в середньому 730 мм, а в найкритичніші для кукурудзи місяці (червень, липень, серпень) – від 120 до 200 мм за місяць. Високі результати також забезпечуються завдяки поєднанню кількох важливих факторів: ґрутові характеристики: піщано-суглинкові ґрунти з високою катіонною ємністю, показники органічної речовини від 0,9 до 1,2; система обробітку: безвідвальний метод, що сприяє збереженню вологи; живлення: раціональне внесення азоту, сірки та калію відповідно до потреб культури.

- Пшениця озима: Пшениця, як культура озимого типу, демонструє високу адаптивність до різних агрокліматичних умов. Однак її потенціал може значно знижуватися за умов посухи та високих температур. Критичними періодами для цієї культури є: відновлення вегетації навесні – потребує достатньої кількості вологи (мінімум 60–70% НВ у ґрунті); Фаза колосіння та наливу зерна – температури вище +30°C у цей період можуть привести до скорочення вегетаційного періоду та зниження маси 1000 зерен. У посушливих умовах України (Степ та Південний Лісостеп) зниження вологозабезпечення під час критичних фаз розвитку може привести до втрат врожайності до 40%. Високопродуктивні сорти пшениці, такі як Стабільна, Кубус, Богдана, Мудрість одеська або Подолянка, можуть давати врожайність 6–8 т/га, але лише за умови забезпечення оптимального рівня вологості (75–85% НВ) під час критичних фаз розвитку, таких як вихід у трубку та колосіння.

- Соняшник: традиційно класифікується як посухостійка культура, проте її гідрологічні потреби характеризуються високою інтенсивністю. У процесі гермінації насіннєвий матеріал абсорбує вологу в об'ємі, що перевищує 100% власної маси. Транспіраційний коефіцієнт варіює в діапазоні 470-560 г/г. Сумарне водоспоживання (евапотранспірація, ЕТс) за оптимальних едафічних умов зволоження становить 5000-6000 м³/га. В умовах гідротермічного стресу

потужна стрижнева коренева система здатна екстрагувати ґрутову вологу з горизонтів 2,7-3,2 м, при цьому утилізуючи доступну вологу до рівня вологості в'янення (ВВ) в шарі 0-200 см [41, 42]. Критичним періодом онтогенезу щодо вологозабезпечення є фази антезису та формування й наливу зерна. Дефіцит ґрутової вологої в цей період детермінує суттєве зниження продуктивності культури. Незважаючи на відносну толерантність до посухи, соняшник демонструє позитивну респонсивність до додаткового гідрозабезпечення шляхом іригації агроценозів. Сучасні гібриди соняшника, зокрема компанії Pioneer: P64LL129, P64LE25 та P64HE118 мають потенційну врожайність до 5,5 т/га; гібриди компанії Syngenta NK Neoma, NK Brio, SY Diamantis та інші спроможні на врожай 4,0-5,0 т/га; гібриди Інституту рослинництва ім. В.Я. Юр'єва НААН та Селекційно-генетичний інститут - Національний центр насіннєзвавства та сортовивчення: Сайт, Драйв, Славсон та Оплот - потенціал 4,8 т/га, Златсон - до 4,5 т/га, Гусляр - 4,7 т/га. [43]. Але їхня продуктивність сильно залежить від вологозабезпечення під час формування кошика та наливу насіння.

- Ріпак. Сучасні сорти та гібриди озимого та ярого ріпаку мають значний потенціал врожайності, який може бути реалізований за умови дотримання оптимальних агротехнічних заходів, зокрема зрошення. За даними європейських науковців, сучасні гібриди ріпаку здатні забезпечувати врожайність до 9 т/га. Однак на практиці найвищий зафікований урожай гібриду Sparrow селекції компанії DSV становить 7,1 т/га, отриманий в 2018 році у Великій Британії [44]. За останні 5 років середній показник врожайності ріпаку в Україні складає близько 2,5 т/га, (2,7 т/га у 2024 році і 2,8 т/га у 2023 році) [45] тоді як у передових господарствах цей показник досягає 3,5–4 т/га. Зрошення є ключовим фактором для підвищення врожайності ріпаку, особливо в регіонах із недостатнім рівнем опадів. У південних областях України, де зрошення застосовується на площі близько 30 тис. га, планова врожайність озимого ріпаку становить до 4 т/га [46]. Сучасні гібриди, такі як BASF in Vigor 1030, NPZ LEMBKE Мерседес та BAYER Ексепшн, демонструють високу

врожайність, яка може коливатися від 3,82 до 4,72 т/га залежно від умов вирощування та агротехнічних заходів [47]. Оптимальні строки сівби, норми висіву та застосування мінеральних добрив є критичними для реалізації потенціалу врожайності сучасних гібридів ріпаку.

Вплив підвищення температурного режиму на реалізацію потенціалу продуктивності рослин. Підвищення температури повітря впливає на реалізацію потенціалу продуктивності рослин через прискорення фенологічних фаз, вищі температури призводять до скорочення вегетаційного періоду, що може зменшити накопичення біомаси та врожайність. Наприклад, за даними досліджень [48] підвищення температури на 2°C може скоротити вегетаційний період пшениці на 10–15 днів. Збільшення випаровуваності: підвищення температури збільшує випаровування води з ґрунту, що призводить до дефіциту вологи для рослин. Це особливо критично для культур з високими вимогами до вологості, таких як кукурудза та соя. Вплив на фотосинтез: підвищення концентрації CO₂ може стимулювати фотосинтез, але лише за умови достатнього вологозабезпечення та живлення. У посушливих умовах цей ефект мінімізується через обмеження транспірації та поглинання поживних речовин.

Вологозабезпечення є ключовим фактором, який впливає на ефективність використання елементів живлення рослинами. Наприклад:

- Азот: При дефіциті вологи ефективність використання азоту знижується, що призводить до неповної реалізації потенціалу продуктивності. Згідно з дослідженнями, наведеними [49], дефіцит вологи може знизити ефективність азотних добрив на 20–30%.
- Фосфор: Нестача вологи обмежує доступність фосфору для рослин, особливо на ґрунтах з високим pH. Це призводить до неповного розвитку кореневої системи та зниження врожайності.
- Калій: Калій підвищує стійкість рослин до посухи, але його ефективність залежить від достатнього вологозабезпечення. За даними досліджень,

оптимальне поєднання вологозабезпечення та живлення може підвищити врожайність культур на 20–30%.

Згідно з "Водною стратегією України до 2050 року" [50], нерівномірний розподіл водних ресурсів становить критичний виклик для розвитку сільського господарства країни. За даними Державного агентства водних ресурсів України, забезпеченість водними ресурсами в розрахунку на одного жителя становить близько 1 тис. м³ на рік, що класифікує Україну як країну з дефіцитом водних ресурсів за критеріями ООН [51]. Особливо гостро ця проблема проявляється у південних регіонах України. Так, в Одеській області дефіцит води для зрошення сягає 40% від необхідного рівня, що за даними Міністерства аграрної політики та продовольства України призводить до щорічних втрат урожайності на рівні 30-45% [52]. Ситуація погіршується через низьку ефективність наявних зрошувальних систем, які через застарілу інфраструктуру та численні витоки втрачають 30-40% води під час транспортування та розподілу. За оцінками Інституту водних проблем і меліорації НААН України, близько 80% існуючих зрошувальних систем потребують модернізації, а 25% знаходяться в критичному стані. Значна частина потенційно зрошуваних земель в Україні не використовується через нездовільний технічний стан інфраструктури та відсутність сучасних систем управління водними ресурсами.

Для забезпечення стійкості агроекосистем до змін клімату необхідно впроваджувати комплексні заходи, зокрема:

- Використання сучасних сортів і гібридів, стійких до посухи та високих температур.
- Впровадження ефективних систем зрошення, таких як крапельне зрошення, яке дозволяє зекономити до 50% води.
- Оптимізація живлення рослин з урахуванням вологозабезпечення та ґрунтових умов.
- Використання технологій збереження вологи, таких як мульчування та нульовий обробіток.

Таким чином, зміна клімату створює серйозні виклики для сталого розвитку агроекосистем, зокрема через дефіцит водних ресурсів та підвищення температури повітря. Для забезпечення стійкості сільськогосподарського виробництва необхідно впроваджувати сучасні технології зрошення, адаптувати структуру посівів, використовувати посухостійкі сорти та гібриди, а також забезпечувати оптимальне живлення рослин. Подальші дослідження мають бути спрямовані на розробку комплексних стратегій адаптації, які враховуватимуть специфіку регіонів та потребу в ефективному управлінні водними ресурсами.

1.2 Зрошення в Україні: стан та перспективи

Меліоровані землі відіграють ключову роль у забезпеченні глобальної продовольчої безпеки. В світовому масштабі площа зрошуваних земель становить близько 275 млн га, забезпечуючи виробництво понад 40% світової сільськогосподарської продукції на 17% оброблюваних земель. Лідерами за площами зрошення є Китай (69,4 млн га), Індія (67,3 млн га), США (26,9 млн га). Зрошуване землеробство в посушливих регіонах є ключовим фактором забезпечення стабільних врожаїв. За даними ООН, застосування додаткових поливів на богарних орних землях може сприяти зростанню світового виробництва зернових на 35%. Найбільший потенціал для розширення площ під зрошенням мають країни Африки та Азії, що сприятиме зростанню продуктивності сільськогосподарського виробництва в цих регіонах. Наприклад, у Сирії завдяки гідромеліоративним заходам врожайність сільськогосподарських культур зросла на 400%, а в Зімбабве зрошення дозволило знизити ризик повної втрати врожаю з 20% до 7% [53].

Історично в Україні була сформована потужна меліоративна інфраструктура. На піку її розвитку, у 1990 році, площа зрошуваних земель становила 2,6 млн га, а осушених — 3,3 млн га. Меліоративні системи забезпечували виробництво до 30% продукції рослинництва. Останні дані

інвентаризації меліоративних систем, проведеної Держводагентством, є актуальними станом на 01.01.2017 рік. Водночас ці дані відрізняються від результатів моніторингу земельних відносин України, здійсненого у 2016–2017 роках, що свідчить про відсутність належної систематизації інформації та її неповноту. Це, своєю чергою, ускладнює ухвалення обґрунтованих управлінських рішень на державному рівні. Згідно з результатами інвентаризації, в Україні налічувалося 5485,3 тис. га меліорованих земель, з яких 2178,3 тис. га – зрошувані, а 3307,0 тис. га – осушувані. [54]. Уся ця площа забезпечена відповідною інфраструктурою, зокрема водосховищами, магістральними та розподільними каналами, захисними дамбами, насосними станціями, колекторно-дренажною мережею та іншими гідротехнічними спорудами й об'єктами [55,56]. Наразі наявний потенціал меліоративної інфраструктури дозволяє здійснювати полив на площині щонайменше 1,5–1,8 млн га, відводити надлишкові води у весняний період із території понад 3,0 млн га та здійснювати водорегулювання на площині понад 1,0 млн га. В той же час, за даними «Моніторингу земельних відносин в Україні: 2016-2017» [54] станом на 01.01.2017 Україна фактично мала всього 1693,7 тис. га зрошуваних земель (на 484,6 тис. га менше, ніж інвентаризація), з них не поливалося 1226,0 тис. га, або 72,4%. Площа осушуваних земель — 3028,9 тис. га, при цьому 229,0 тис. не використовувалися у с/г виробництві, що становить 7,6% від загальної площині осушуваних земель [56].

Південний регіон України характеризується найбільш складними агрокліматичними умовами. При цьому тут зосереджено основні площини зрошуваних земель країни. Наявність великих джерел зрошення (річки Дніпро, Дністер, Південний Буг) створює передумови для ефективного зрошуваного землеробства.

Станом на 2022 рік у південних областях України обліковується 1,45 млн га зрошуваних земель. Найбільші площини зосереджені в Херсонській (426,8 тис. га), Запорізькій (240,7 тис. га), Одеській (226,9 тис. га) областях. Фактичні площини поливу в південному регіоні України значно відрізняються від наявних

площ зрошуваних земель. За даними Держводагентства України, станом на 2022 рік з наявних 1,45 млн га зрошуваних земель фактично поливалося лише 590,7 тис. га, що становить близько 40% від загальної площини. У 2023 році в Україні функціонувало 135 зрошувальних насосних станцій та близько 310 км зрошувальних каналів, які контролюються Держрибагентством.

Структура поливних площ по областях: Херсонська область: з 426,8 тис. га поливалось 283,5 тис. га; Запорізька область: з 240,7 тис. га поливалось 85,6 тис. га; Одеська область: з 226,9 тис. га поливалось 43,2 тис. га; Миколаївська область: з 190,3 тис. га поливалось 31,4 тис. га. (Рис.1).

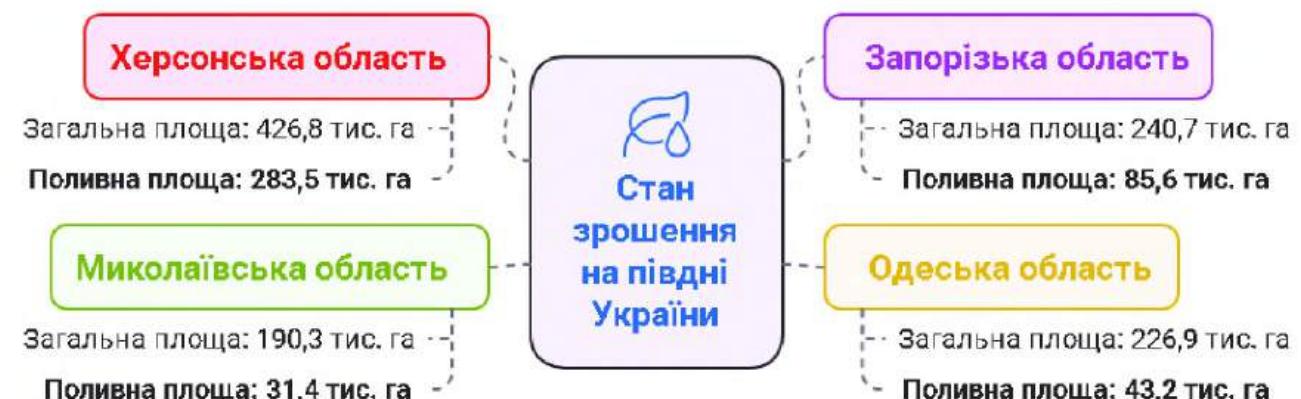


Рисунок 1.1. Структура поливних площ Південних областей України

Основні причини неповного використання зрошуваних земель:

- технічна несправність внутрішньогосподарських мереж
- високі тарифи на послуги з подачі води
- відсутність дощувальної техніки
- порушення цілісності меліоративних систем

Найвищий відсоток використання зрошуваних земель – в Херсонській області (66,4%), найнижчий – в Одеській (19,0%).

Водні ресурси Одеської області представлені запасами підземних і поверхневих вод, розподіл яких є нерівномірним. Північні та центральні райони характеризуються обмеженим водозабезпеченням, тоді як у південній і західній частинах, завдяки близькості до річок Дністер і Дунай, зосереджені значні водні

ресурси. За наявними даними, на території області функціонує 3 147 водозaborів, що належать 2 236 водокористувачам. Загальна кількість водозабірних пунктів становить 5 951, зокрема 5 748 артезіанських свердловин, 193 шахтних колодязі та 9 джерельних каптажів [57]. Обсяг водопостачання від загального використання прісної води становить 193,799 млн м³ та розподіляється за наступними напрямами:

- питні та санітарно-гігієнічні потреби – 65,998 млн м³;
- виробничі потреби – 32,963 млн м³;
- зрошення – 125,037 млн м³;
- інші сільськогосподарські потреби – 1,896 млн м³.

Сільськогосподарське виробництво в Одеській області на зрошуваних землях охоплює широкий спектр культур, серед яких рис, пшениця, ячмінь, виноград, суниця садова, картопля, цибуля, горох, соя, нут, кукурудза, морква, буряк, а також інші овочеві, баштанні та плодові культури. Для забезпечення оптимальних умов зростання та підвищення продуктивності зазначених культур застосовуються різні методи зрошення, зокрема затоплення (для рисових систем), дощувальні установки та краплинне зрошення, що сприяє раціональному використанню водних ресурсів і збереженню родючості ґрунтів.

Відповідно до «Стратегії розвитку Одеської області на період 2021 – 2027 років» [58] відновлення зрошення належить до пріоритетних завдань діяльності Одеської обласної державної (військової) адміністрації. Необхідно реконструювати меліоративні системи на площі 100 тис. га та капітально відремонтувати на площі майже 60 тис. га. Вже виготовлено проектно-кошторисну документацію на реконструкцію 12 державних меліоративних об'єктів, проектна вартість ремонтно-відновлених робіт в 2021 році становила понад 700 млн грн. Головна мета зазначених проектів є істотне розширення площ поливу, що відповідає завданням державної програми «Стратегія зрошення і дренажу в Україні до 2030 року» [55]. Регіональною програмою розвитку агропромислового комплексу Одеської області на 2019-2023 роки

«Аграрна Одещина» [59] передбачалося направлення бюджетних коштів на підтримку аграріїв у сфері зрошення. Зокрема, планувалося фінансування на придбання дощувальної техніки та компенсацію витрат на електроенергію, яка використовувалася для подачі води на зрошувані землі. Так, лише у 2020 році з обласного бюджету було виділено 10,8 млн грн для реалізації цих заходів. У 2021 році з бюджету області було витрачено майже 10 млн грн на розробку проектів реконструкції та модернізації зрошуваних систем, що дозволило виготовити проектно-кошторисну документацію для 12 об'єктів реконструкції та модернізації зрошувальних систем.

У сфері гідротехнічної меліорації у 2022 році відбулися суттєві зміни. Зокрема, було передбачено передачу всіх меліоративних об'єктів в управління організаціям водокористувачів [60]. Створення таких організацій, яке ґрунтувалося на адаптованому до українських умов світовому досвіді управління меліоративною мережею, дало можливість забезпечити ефективне управління водними ресурсами. Цей підхід сприяв раціональному використанню води та фінансових ресурсів, а також залученню інвестицій у сектор водокористування. Використання енерго- та водоощадних технологій підвищило конкурентоспроможність української аграрної продукції на міжнародних ринках. У рамках втілення реформи меліоративної системи в 2022 році на Одещині була створена перша організація водокористувачів, а також друга в Україні. Водокористувачі Суворовської зрошувальної системи Ізмаїльського району (ТОВ “Агро партнер 777”, ТОВ “Агро-Мін-Дунай”, СФГ “Ратушненко Микола Іванович”, ФГ “Стоянов А.А.”, ПП “Агро Юг Експорт”, ПП “Агро-Голд”, ПП “Макс-Агро”, С(Ф)Г “Гроно”) об’єдналися та утворили організацію під назвою «ВОДА ЖИТТЯ» [61]. Це об’єднання дозволило їм залучати інвестиції для подальшого розвитку. Для відновлення меліоративної інфраструктури та розширення зрошуваних площ до 10 тисяч гектарів організація «ВОДА ЖИТТЯ» залучила додаткові кошти через міжнародних фінансових донорів.

Ромашенко, Яцюк та ін. [62] оцінили сучасний стан зрошення в Україні та визначили, що з наявних 2,2 млн га зрошуваних земель фактично поливається лише близько 500-600 тис. га, що вказує на значний невикористаний потенціал.

Вожегова, Грановська та ін. [63] проаналізували економічну ефективність відновлення та модернізації зрошувальних систем в Україні та встановили, що інвестиції у водогосподарську інфраструктуру мають високий рівень рентабельності і період окупності 3-7 років залежно від культури та регіону. впровадження зрошення дозволяє підвищити врожайність сільськогосподарських культур у 2-3 рази в умовах Південного Степу України. Зокрема, зрошення забезпечує стабільну врожайність: кукурудзи на рівні 10-12 т/га, сої - 3-4 т/га, пшениці озимої - 6-8 т/га.

За даними звіту ЄБРР та Інституту водних проблем і меліорації НААН [64], для Нижньодністровської зрошувальної системи загальна потреба в інвестиціях у 2021–2030 роках становить понад 3,1 млрд грн, що дає змогу розширити площі зрошення на приблизно 44,4 тис. га (17,4 тис. га в першій черзі, та до 27 тис. га у другій черзі за двома варіантами). Незважаючи на масштабність, строк окупності інвестицій оцінюється у 8–10 років за умов стабільного тарифу на воду та потенційного зниження витрат на електроенергію. Водночас близько 80 % зрошувальних систем потребують модернізації, а 25 % перебувають у критичному стані.

Elliott et al. [65] змоделювали глобальний вплив розширення зрошення на продуктивність сільського господарства та показали, що повне задоволення потреб у воді могло б компенсувати кліматичні втрати, збільшивши світове виробництво продовольства на 20–40% до 2050 року. Вони також дослідили вплив посух 1988 і 2012 років, встановивши, що технологічні вдосконалення зменшили чутливість сільського господарства до посухи на 25%. Оцінено економічні втрати (\$9 млрд у 1988 та \$21,6 млрд у 2012). Проведене ними моделювання сприяє оцінці наслідків кліматичних змін, прогнозуванню посух і вдосконаленню агротехнологій.

Наразі нарощування іригаційних площ в Україні здійснюється, переважно, через розширення локальних систем зрошення, таких як краплинне зрошення та мікродощування. До початку військових дій найбільша кількість площ, оснащених краплинним зрошенням, була зосереджена в Херсонській області, де перебувало до 60% усіх зрошуваних площ країни [66]. Зокрема, на зону Степу України припадало до 90% площ краплинного зрошення для просапних культур.

Однак, через військові дії, значна частина зрошувальних систем опинилася без водопостачання. Зокрема, в Херсонській області припинено водопостачання на 94% зрошувальних площ, у Запорізькій – на 74%, а в Дніпропетровській – на 30%. Крім того, водопостачання було призупинено на 31 зрошувальній системі в цих областях.

Незважаючи на ці труднощі, продовжується тенденція зростання площ просапних культур на мікрозрошенні у центральному, західному та північному регіонах України. За підрахунками науковців Інституту водних проблем і меліорації НААН, на 2024 рік площа мікрозрошення в Україні становила близько 12-13 тис. га, що значно менше порівняно з 75,5 тис. га у 2014 році.

У дослідженні [67] проведено комплексний аналіз ефективності систем краплинного зрошення при вирощуванні різних сільськогосподарських культур у Херсонській та Запорізькій областях. Результати багаторічних польових експериментів (2004–2014 рр.) демонструють переваги краплинного зрошення порівняно з традиційними дощувальними системами. Встановлено, що впровадження краплинного зрошення забезпечує економію води на 30-50% порівняно з дощуванням та підвищення продуктивності культур на 15-40%, що залежить від біологічних особливостей рослин і їх адаптивності до локалізованого зрошення. Отримані дані підтверджують високу ефективність краплинного зрошення як ресурсоощадної агротехнології з оптимальним співвідношенням економічних витрат і агрономічної віддачі, що обґрутує доцільність її широкого впровадження в землеробство степової зони Півдня України.

У роботі [68] Дробітько та ін. досліджували поверхневе та підгрунтове краплинне зрошення, які дозволили знизити витрати води на 35-40% порівняно з традиційним дощуванням. У дослідах врожайність пшениці досягала 5,2-5,7 т/га, що на 1,8-1,9 т/га більше, ніж у контрольних групах. Вміст білка в експериментальних групах становив 14-15% (у контрольних — 11-12%). Економічна ефективність: зниження витрат на засоби захисту рослин на 45-50%, підвищення рентабельності на 25-30%

У дослідженні [69] наведено переваги та недоліки підгрунтового краплинного зрошення. Переваги: економія води (10-40%); економія ресурсів на монтаж і експлуатацію; можливість проведення всіх агротехнологічних операцій; зниження забур'яненості (до 25%) та захворюваності рослин (10-25%); зменшення пошкоджень трубопроводів; використання різних схем посіву. Недоліки: складність моніторингу підземної частини; блокування крапельниць; втрати води при неправильній експлуатації; проблеми з отриманням сходів; необхідність контролю гризунів; питання власності земель; висока вартість (2000-4000 у.о./га); підвищені вимоги до обслуговування; обов'язкове GPS-позиціонування; високі вимоги до фільтрації води та спеціального обладнання.

Жовтоног та ін. розробили рекомендації та тимчасові норми водопотреби для краплинного зрошення сільськогосподарських культур в умовах степу України [70] з метою оптимізації режимів зрошення основних сільськогосподарських культур в Україні з урахуванням кліматичних змін, що дозволяє заощадити 20-30% поливної води без зниження врожайності.

Rosa et al. (2019) [71] проаналізували стійкість систем зрошення в умовах кліматичних змін і виявили, що близько 69% глобальних зрошуваних площ вже стикаються з періодичним дефіцитом води, який посилюватиметься в майбутньому.

У роботі [72] автори досліджували вплив війни та зміни клімату на зрошення в Україні. Вони виявили, що лише 1,6% сільськогосподарських угідь країни було зрошено станом на 2021 рік, і 73% цієї площи зазнали значного

зниження врожайності після вторгнення. До середини ХХІ століття три чверті сільськогосподарських угідь України стикатимуться з дефіцитом води, що ускладнить традиційне землеробство. Автори пропонують розширювати площі зрошення шляхом використанням місцевих водних ресурсів як стратегію адаптації до кліматичних змін. Вони також визначили регіони, де модернізація або розширення зрошувальних систем можуть змінити стійкість сільського господарства в Україні.

У статті [73] розглядаються стратегії дефіцитного зрошення як ефективний підхід до управління водними ресурсами в посушливих регіонах. Автори підкреслюють, що обмеження подачі води до критичних фаз росту рослин дозволяє підвищити водну продуктивність без значного зниження врожайності. Для оптимізації таких стратегій рекомендується поєднувати польові дослідження з моделюванням продуктивності культур на зрошенні.

Дослідники [74] оцінили потенціал використання очищених стічних вод для зрошення в умовах обмежених водних ресурсів і показали, що за дотримання відповідних стандартів якості такі води можуть бути безпечним і ефективним джерелом зрошення для певних сільськогосподарських культур. Вони дослідили вплив очищених стічних вод на родючість і властивості ґрунтів, розвиток рослин, а також можливі ризики для здоров'я людини. У роботі наголошується на необхідності дотримання стандартів якості води та впровадження управлінських практик для зменшення негативних наслідків, зокрема накопичення солей і токсичних речовин. Автори підкреслюють важливість розробки чітких нормативних рекомендацій для безпечної і ефективного застосування очищених стічних вод у сільському господарстві.

Таким чином, зрошення в Україні перебуває на перехідному етапі — від кризового стану до потенційного відродження. Попри значні втрати зрошувальної інфраструктури, спричинені воєнними діями, багаторічним недофинансуванням і неналежною експлуатацією, Україна зберігає суттєвий технічний потенціал для її модернізації. Перспективи розвитку є обнадійливими завдяки впровадженню інноваційних технологій (краплинне

зрошення, цифрове картографування, біотехнології), економічному обґрунтуванню та наявності стратегічних планів модернізації [75].

Ключовими чинниками успішного розвитку зрошення є впровадження енерго- та водоощадних технологій, залучення міжнародних інвестицій, створення ефективних організацій водокористувачів і адаптація до кліматичних змін. Реалізація таких заходів, як оновлення інфраструктури, оптимізація водокористування та посилення державної підтримки, дозволить не лише повернути зрошенню його стратегічну роль, а й забезпечити стало аграрне виробництво в умовах війни та післявоєнної відбудови.

Подальші наукові дослідження мають зосереджуватися на розробці регіонально адаптованих стратегій зрошення з урахуванням агрокліматичних особливостей регіонів, економічних можливостей та екологічних обмежень, а також на інтеграції технологій та способів зрошення з іншими методами адаптації: впровадженням посухостійких сортів, оптимізацією агротехніки та диверсифікацією сільськогосподарського виробництва.

1.3 Принципи формування біоенергетичних агроекосистем та особливості їх функціонування в умовах зрошення

Поняття біоенергетичних агроекосистем з'явилося на стику двох наук: агроекології та біоенергетики. Агроекологія вивчає взаємодію між сільськогосподарськими системами та природним середовищем, акцентуючи увагу на стійких і екологічно безпечних методах господарювання. Біоенергетика, у свою чергу, зосереджується на використанні біомаси та інших органічних матеріалів у якості джерела відновлюваної енергії. Перші дослідження в цій галузі були пов'язані з вивченням можливостей використання біомаси для виробництва енергії. [76]. Основна увага автором приділяється тому, що біоенергетика може відігравати допоміжну роль у енергетичному балансі, але її широкомасштабне впровадження потребує науково обґрунтованого підходу, з урахуванням аграрного потенціалу і впливу

на продовольчу безпеку. Ще у 1970-х роках в умовах енергетичної кризи дослідники зосередилися на розробці технологій переробки сільськогосподарських залишків, таких як солома чи кукурудзяні стебла, для отримання біопалива. Зокрема, у США було започатковано кілька масштабних програм для оцінки ефективності цих джерел енергії, які пізніше лягли в основу сталого використання біомаси. В Україні, вивчення потенціалу біомаси для енергетичних потреб стало актуальним у 1990-х роках. Згідно з дослідженнями, економічно доцільний енергетичний потенціал біомаси в Україні становить близько 20–25 млн тонн умовного палива на рік. Наразі Україна недовикористовує потенціал переробної промисловості та агросектору для виробництва альтернативних видів енергії, які можуть задовольняти енергетичні потреби як цих галузей, так і економіки загалом. Так, за даними Енергетичного балансу України [77], у виробництві теплової енергії частка біопалива та відходів у 2020 р. не досягала 5 %, тоді як у Швеції вона становить 60 %, Австрії – 31 %, Фінляндії – 27 %, Латвії – 15 %.

Наукові дослідження у сфері біоенергетичних агроекосистем значно активізувалися у ХХІ столітті, коли проблеми зміни клімату та виснаження природних ресурсів стали глобальними викликами. Вагомий внесок у формування цього напряму зробили праці, присвячені енергетичному потенціалу агроландшафтів, а також їхній екологічній стабільноті [78-80]. Дослідники почали аналізувати різні види біомаси, включаючи залишки сільськогосподарського виробництва, енергетичні культури, біогаз і навіть органічні відходи. Подальші дослідження, наприклад [79], зосереджували увагу на впливі монокультур енергетичних рослин, таких як міскантус чи цукровий сорго, на біорізноманіття та стан ґрунтів. Одним із важливих напрямків досліджень стало вивчення енергетичних культур. Найбільш перспективними вважаються міскантус, цукрове сорго, верба, ріпак і навіть спеціально вирощувані багаторічні трави, які демонструють високий вихід біомаси на одиницю площі. Наприклад, міскантус має високу здатність до фіксації вуглецю, що робить його ефективним у боротьбі зі зміною клімату, а цукрове

сорго вирізняється швидким зростанням і значним вмістом цукру, придатним для виробництва біоетанолу. У роботі [80] акцентовано увагу на екологічних перевагах багаторічних енергетичних рослин. Ці культури демонструють високу здатність до фіксації вуглецю, покращення структури ґрунтів і запобігання їх ерозії. Водночас, дослідження [81] показали, що вирощування енергетичних культур не повинно конкурувати з виробництвом продовольчих культур, адже це може спричинити дефіцит продовольства. Дослідниками використано глобальну сільськогосподарську модель для оцінки викидів, пов'язаних із зміною використання земель. Результати роботи продемонстрували, що виробництво етанолу з кукурудзи, замість очікуваного зниження викидів на 20%, майже подвоює викиди парникових газів протягом 30 років і сприяє збільшенню цих викидів протягом 167 років. Крім того, виробництво біопалива з міскантусу (switchgrass), якщо його вирощувати на землях, призначених для кукурудзи, збільшує викиди на 50%. Ці результати викликають занепокоєння щодо масштабних програм виробництва біопалива та підкреслюють важливість використання відходів як сировини для біопалива.

У сучасних дослідженнях більше уваги приділяється інтегрованим підходам до організації біоенергетичних агроекосистем. Зокрема, комбіноване використання рослинництва, тваринництва та технологій переробки органічних залишків у біогаз дозволяє створювати замкнені цикли виробництва. Наприклад у роботі [82] досліджено можливості поєднання виробництва біоенергії та інтенсифікації тваринництва в центрі та на півдні Бразилії. Автори пропонують використовувати 16 мільйонів гектарів пасовищ, придатних для вирощування цукрової тростини, для виробництва до 89 мільярдів літрів етанолу. Це не лише задовольнить внутрішній попит на біопаливо, але й створить надлишки для експорту. Крім того, така інтеграція може зменшити викиди парникових газів на 250 мільйонів тонн СО₂-еквіваленту та принести прибуток у 15 мільярдів доларів.

У роботі [83] розглядається роль біоенергетики в контексті зміни клімату. Дослідження є результатом співпраці 137 експертів з 24 країн та 82

установ і ґрунтуються на оцінці, представлений на симпозіумі Світового банку у вересні 2015 року. Автори зазначають, що сталий розвиток біомаси може значно зменшити викиди парникових газів, а також існувати підходи до використання земель для біоенергетики, які не конкурсується з виробництвом продовольства. Біопаливо має важливі екологічні переваги порівняно з виконаними видами палива, і потенційні негативні наслідки зміни землекористування можна пом'якшити через агроекологічне зонування та кращі методи управління. Автори рекомендують довгострокову підтримку для підвищення продуктивності біоенергетичних культур та забезпечення екологічних, економічних і соціальних переваг цих систем.

Нині формування біоенергетичних агроекосистем є перспективним напрямком для забезпечення енергетичної безпеки та екологічної стійкості. Реалізація ключових принципів (енергоефективність, стійкість, інтеграція, кругове використання ресурсів) дозволяє створити ефективні системи, які поєднують сільськогосподарське виробництво з енергетичними потребами. Україна, маючи значний потенціал, може стати одним із лідерів у цій галузі за умови подальшого розвитку наукових досліджень та впровадження інноваційних технологій [84]. В Україні дослідження у цій сфері зосереджені на розробці адаптованих до місцевих умов технологій вирощування енергетичних культур, таких як міскантус, цукрове сорго, верба та ріпак. Значний внесок у вивчення біоенергетичних агроекосистем зробили українські вчені, зокрема Юрій Тараєко, який у своїх працях [85-91] досліджував енергетичний потенціал агроекосистем у різних кліматичних зонах України.

Функціонування біоенергетичних агроекосистем в умовах зрошення визначається комплексною взаємодією біотичних і абіотичних компонентів, зокрема рослинного покриву, ґрунтово-гідрологічних характеристик, водно-фізичних властивостей ґрунту та кліматичних параметрів, що визначають рівень продуктивності та екосистемної стійкості. Світовий досвід демонструє, що зрошення може значно підвищити продуктивність енергетичних культур. У роботі [92] досліджується вплив агрономічних практик, таких як сівозміна,

обробіток ґрунту та зрошення, на агрономічні та екологічні показники біоенергетичних систем на основі кукурудзи. Дослідження базується на результатах 14-річного експерименту (2008–2022), проведеного в північно-східній Німеччині, із трьома типами сівозміни (моно культура, 2- і 3-пільна ротація), двома типами обробітку ґрунту (традиційний і зменшений) в зрошуваних і незрошуваних умовах. Автори зазначають, що зрошення значно підвищує врожайність біомаси, особливо в посушливі роки, а також впливає на вміст органічного вуглецю в ґрунті у взаємодії з сівозміною. Водночас зрошення може збільшувати викиди N_2O , що потребує збалансованого підходу. Автори рекомендують інтеграцію зрошення з іншими практиками для забезпечення продуктивності та мінімізації екологічного впливу.

У дослідженні [93] запропоновано модель для проектування біоенергетичних систем на основі біомаси в умовах водного стресу, з урахуванням кліматичних змін. Модель враховує сільськогосподарські патерни та проектування лігноцелюлозних біорефінериів для виробництва етанолу, оптимізуючи розподіл водних ресурсів на основі опадів, поверхневих і підземних вод. Дослідниками окремо враховано вплив зменшення опадів на потреби в іригації та прибутки фермерів. Результати дослідження застосовуються до штату Махараштра, Індія, і можуть служити інструментом для розробки стійких біоенергетичних агроекосистем.

Дослідження Інституту зрошуваного землеробства [94], нині Інституту кліматично орієнтованого сільського господарства НААН, показали, що вирощування енергетичних культур на зрошуваних землях дозволяє значно підвищити продуктивність фітомаси. Зокрема, встановлено, що біоенергетичні агроекосистеми, сформовані на основі сорго, за умов оптимального водозабезпечення забезпечують стабільні та високі врожаї біомаси, що може бути використана для виробництва твердого біопалива або біогазу. Такі системи також сприяють підвищенню ефективності використання земель та водних ресурсів і є одним із шляхів адаптації сільського господарства до змін клімату.

Основним принципом формування комплексних біоенергетичних систем в умовах зрошуваних агроекосистем є міжгалузева оптимізація аграрного виробництва. Цей підхід передбачає інтеграцію рослинництва, тваринництва, біоенергетики та переробних галузей з метою раціонального використання ресурсів, мінімізації відходів та забезпечення довготривалої стійкості аграрної системи.

В умовах традиційного сільськогосподарського виробництва значна частина господарств орієнтована на вузьку спеціалізацію. Наприклад, у регіонах півдня України, зокрема в Одеській області, значна кількість сільськогосподарських підприємств спеціалізуються виключно на рослинництві, зосереджуючись на вирощуванні зернових, технічних або овочевих культур. Така однобічна структура виробництва має ряд недоліків: підвищенну залежність від погодних умов, ринкової кон'юнктури, низьку адаптивність до змін у зовнішньому середовищі та обмеженість у використанні побічної продукції та відходів. Натомість міжгалузева оптимізація дозволяє налагодити взаємозв'язки між різними ланками агропромислового комплексу. Наприклад, залишки від рослинництва (солома, кукурудзяні стебла, гичка, лушпиння) можуть бути використані для виробництва біопалива, підстилки для тварин або сировини для компостування. Відходи тваринництва (гній, послід) – для біогазових установок або удобрення полів. Це забезпечує циркулярність потоків речовин і енергії в господарстві.

Рослинництво з енергетичною спрямованістю. Інтеграція виробництва біоенергетичних культур з ефективною утилізацією побічної продукції для енергетичних потреб. Такий диверсифікований підхід забезпечує симбіоз продовольчої та енергетичної функцій агроекосистеми.

Тваринництво як джерело біоенергетичних субстратів. Органічні відходи тваринницьких комплексів є стратегічною сировиною для виробництва біогазу. В оптимізованій міжгалузевій системі ці матеріали трансформуються з категорії відходів у цінний ресурс, що циклічно повертається до агроекосистеми у формі високоякісних органічних добрив та енергоносіїв.

Переробна інфраструктура. Інтеграція переробних потужностей у структуру господарства мінімізує постзбиральні втрати, підвищує додану вартість кінцевої продукції та генерує додаткові потоки технологічної сировини (шроти, макухи, соапстоки тощо), придатної для залучення до енергетичного циклу підприємства.

Біоенергетичні технологічні комплекси. Інтегровані системи конверсії біомаси (анаеробні біореактори, піролізні установки, твердопаливні котли) функціонують як централізовані вузли трансформації органічних матеріалів в енергоносії. Біогазові комплекси забезпечують замкнений цикл переробки рослинних і тваринних відходів з одночасним виробництвом теплової та електричної енергії, а також високоефективних біодобрив.

Агроландшафтне проєктування. Науково обґрунтована система просторового розміщення культур, іригаційних мереж та логістичних маршрутів руху сировинних і енергетичних потоків [95]. Раціональне агроландшафтне проєктування базується на детальному аналізі ґрунтово-кліматичних умов, гідрологічних характеристик території та оптимізації відстаней між виробничими і переробними центрами.

Цифрові технології управління. Геоінформаційні системи, технології дистанційного агромоніторингу та спеціалізовані програмні комплекси обліку біомаси й енергетичних ресурсів забезпечують прецизійну міжгалузеву координацію та стратегічне планування. Цифрова інфраструктура уможливлює точне управління агротехнологічними процесами та оперативне коригування виробничих параметрів відповідно до змін внутрішніх і зовнішніх факторів.

Стійкість міжгалузевих біоенергетичних систем. Інтеграція біоенергетичних рішень у міжгалузеву структуру господарства сприяє формуванню стійких агроекосистем завдяки:

- зростанню внутрішньої самозабезпеченості господарств (енергією, добривами, кормами),
- зниженню залежності від зовнішніх постачальників ресурсів,

- кращій адаптації до кліматичних і ринкових змін,
- збереженню родючості ґрунтів завдяки поверненню органічної речовини,
- зменшенню антропогенного навантаження через ефективну утилізацію відходів,
- реалізації принципів циркулярної економіки на рівні сільського господарства.

Як зазначено в роботі [96], комплексність у сільському господарстві має базуватися на єдиній економічній та енергетичній платформі, де кожен компонент аграрного виробництва є частиною єдиного циклу. Впровадження такої моделі дозволяє отримувати як енергетичну, так і економічну вигоду, підвищуючи конкурентоспроможність агроекосистем.

Отже, функціонування біоенергетичних агроекосистем в умовах зрошення вимагає комплексного підходу з урахуванням усіх компонентів системи. Результати досліджень показують можливість підвищення продуктивності біомаси на 40-60% при оптимізації режимів зрошення та забезпечені збалансованого живлення рослин. На півдні Одеської області у вегетаційний період лімітуочим чинником формування врожайності культур є недостатнє вологозабезпечення. Це зумовлює необхідність оцінки природного потенціалу зволоження території для ефективного функціонування біоенергетичних зрошуваних агроекосистем. Для вирішення цієї проблеми слід розробити комплексні методи аналізу закономірностей формування та динаміки атмосферного і ґрутового зволоження у вегетаційний період, а також оцінити їх вплив на продуктивність біоенергетичних агроекосистем в умовах сучасних кліматичних змін. Метою дослідження є оцінка агрометеорологічного потенціалу півдня Одеської області та обґрутування доцільності зрошення для розвитку біоенергетичних агроекосистем у регіоні.

Висновки до розділу 1

1. Аналіз сучасного стану досліджень щодо впливу зміни клімату на сільськогосподарське виробництво засвідчує критичну необхідність адаптації аграрного сектору до сучасних кліматичних реалій. Зростання середньорічних температур, нерівномірність і дефіцит опадів, збільшення частоти посух і екстремальних погодних явищ істотно ускладнюють ведення ефективного землеробства. Це зумовлює нагальну потребу в розробці та впровадженні інноваційних підходів до управління агроекосистемами, зокрема шляхом використання зрошення, як одного з ключових інструментів адаптації.

2. Результати аналізу сучасного стану та перспектив розвитку зрошення в Україні свідчать про наявність значного потенціалу нарощування площ зрошуваних земель. Водночас зберігається низка технологічних, інфраструктурних і економічних обмежень, які стримують ефективне використання поливних площ. Особливо актуальним є питання оптимізації водокористування та модернізації зрошувальних систем у контексті формуваннясти сталіх агроекосистем, здатних забезпечувати високу продуктивність за умов мінімального впливу на довкілля та обмежених водних ресурсів.

3. Результати аналітичного огляду вітчизняних і зарубіжних досліджень свідчать про недостатню вивченість принципів та технологічних аспектів формування біоенергетичних агроекосистем в умовах зрошення. Це підкреслює необхідність комплексних досліджень для науково обґрунтованої розробки таких систем, які поєднуюватимуть високу продуктивність, екологічну стійкість та енергетичну ефективність.

Список використаних джерел до розділу 1

1. World Bank. Ukraine - Building Climate Resilience in Agriculture and Forestry: Ukraine Building Climate Resilience in Agriculture and Forestry - Executive Summary (Ukrainian) (Ukrainian). Washington, D.C.: World Bank Group. [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://documents.worldbank.org/curated/en/099350002072241806/P1719860a81bb30108b4400add1f906a5e>
2. Міжурядова група експертів зі зміни клімату (IPCC). Шостий оціночний звіт (AR6) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar6/> – Дата звернення: 12.01.2025.
3. Lobell D. B., Schlenker W., Costa-Roberts J. Climate Trends and Global Crop Production Since 1980 [Електронний ресурс] // Science. – 2011. – Vol. 333, № 6042. – Р. 616–620. – Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/51106419_Climate_Trends_and_Global_Crop_Production_Since_1980
4. Ray D. K., West P. C., Clark M., Gerber J. S., Prishchepov A. V., Chatterjee S. Climate change has likely already affected global food production [Електронний ресурс] // *PLOS ONE*. - 2019. - Vol. 14, № 5. - e0217148. - Режим доступу: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0217148>
5. Climate impacts in Europe: final report of the JRC PESETA III project / P. Dos Santos, A. Ceglar, M. Van der Wijngaart [та ін.] ; Європейська Комісія, Спільний дослідницький центр (JRC). – Luxembourg : Publications Office of the European Union, 2018. – 108 с. – Режим доступу: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/ff04be1b-e70a-11e8-b690-01aa75ed71a1/language-en>
6. European Commission. Water Scarcity and Drought in the European Union. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2020. 106 p. Available at: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/c707e646-99b7-11ea-aac4-01aa75ed71a1/language-en>

7. Європейська комісія. Delivering the European Green Deal [Електронний ресурс] // European Commission. – 2024. – Режим доступу: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/delivering-european-green-deal_en
8. Zhao Ch., Liu B., Piao S., et al. Temperature increase reduces global yields of major crops in four independent estimates // Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 2017. Vol. 114, No. 35. P. 9326–9331. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1701762114>
9. Sultan B., et al. Evidence of crop production losses in West Africa due to historical global warming in two crop models // Scientific Reports. 2019. Vol. 9, Article number: 15732. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-49167-0>
10. Feeley, K. J.; Bravo-Avila, C.; Fadrique, B.; Perez, T. M.; Zuleta, D. Climate-driven changes in the composition of New World plant communities [Електронний ресурс] // Nature Climate Change. - 2020. - Т. 10, №. - С. 965-970. - Режим доступу: <https://doi.org/10.1038/s41558-020-0873-2>
11. Alotaibi M. Climate change, its impact on crop production, challenges and possible solutions [Електронний ресурс] // *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*. – 2023. – Т. 51, № 1, ст. 13020. – DOI: 10.15835/nbha51113020. – Режим доступу: <https://www.researchgate.net/publication/369717213> (Дата звернення: 19.01.2025).
12. Rojas-Downing, M. M., Nejadhashemi, A. P., Harrigan, T., Woznicki, S. A. Climate change and livestock: Impacts, adaptation, and mitigation [Електронний ресурс] // *Climate Risk Management*. -2017. - Т. 16. - С. 145-163 <https://doi.org/10.1016/j.crm.2017.02.001> (Дата звернення: 19.01.2025).
13. Godber O. F., Wall R., Wall R. Livestock and food security: Vulnerability to population growth and climate change [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/261294074_Livestock_and_food_security_Vulnerability_to_population_growth_and_climate_change. (Дата звернення: 19.01.2025)

14. Grossi G., Goglio P., Vitali A., Williams A. G. Livestock and climate change: impact of livestock on climate and mitigation strategies. Animal Frontiers. 2019. Vol. 9, No. 1. P. 69–76. DOI: <https://doi.org/10.1093/af/vfy034>
15. Національна академія аграрних наук України. Інформаційна довідка. 4 травня 2020. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://naas.gov.ua/upload/Інформаційна%20довідка%204.05.2020-конвертирован.pdf> (Дата звернення: 19.01.2025)
16. Балабух В. О. Сучасні тренди змін температурного режиму та кількості опадів в Україні : презентація / В. О. Балабух. – Харків: 10.10.2019 р.. – 64 с. – Режим доступу: https://arhive.issar.com.ua/downloads/1_balabuh_v.o.pdf (дата звернення: 30.02.2025).
17. С. В. Krakovs'ka, L. V. Palamarchuk, N. V. Gnatyuk, T. M. Shpitаль, I. P. Shedemenko // Geoinformatika. - 2017. - № 4. - С. 62-74. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/geoinf_2017_4_9
18. Шевченко О., Сніжко С., Олійник Р., Костицко І. Індикатори температурних аномалій регіонального клімату. Географія. 2018. №. 4(73) С. 15-19. <http://doi.org/10.17721/1728-2721.2019.73.3>
19. Аномальний рік: страхи фермера наочно [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://landlord.ua/wp-content/page/anomalnyi-rik/>, (дата звернення: 28.02.2025).
20. Іващенко О. О. Напрями адаптації аграрного виробництва до змін клімату/ О. О. Іващенко, О. І. Рудник-Іващенко // Вісник аграрної науки. – 2011. – № 8. – С. 10–12.
21. Петриченко В. Ф., Лихочвор В. В. Рослинництво. Нові технології вирощування польових культур : підручник; 5-те вид., виправ., допов. Львів: Українські технології, 2020. 806 с.
22. Формування біоенергетичних зрошуваних агроекосистем у Лісостепу: монографія; за ред. акад. НААН Ю.О. Тарапіка. Київ: Аграрна наука, 2023. <https://doi.org/10.31073/978-966-540-575-7>

23. Селекційно-біотехнологічні підходи у вирішенні проблем відтворення стада молочної худоби в умовах теплового стресу / В. М. Пришедько // Science and education as the basis for the modernization of the world order 2024: Monographic series «European Science» / Sergeieva & Co, Karlsruhe. – 35(2). – C. 72-109. – Режим доступу: <https://dspace.dsau.dp.ua/handle/123456789/11219>
24. Борщ О.О., Рубан С.Ю., Борщ О.В., Федорченко М.М. Вплив використання засобів охолодження повітря у легкозбірних приміщеннях на показники поведінки та комфорту корів за високих температур / О.О. Борщ, С.Ю. Рубан, О.В. Борщ, М.М. Федорченко // Біологія тварин. — 2021. — Т. 23, № 4. — С. 15–19. — УДК 636.2.083.312.3. — DOI: 10.15407/animbiol23.04.015
25. Звіт про клімат і розвиток України: Сільське господарство / Київська школа економіки. — Київ: 87 с. 28.03.2022 р. — Режим доступу: https://kse.ua/wp-content/uploads/2024/03/CSA_uk.pdf
26. Жовтоног О., Рижова К., Зубко А. Сценарії реалізації інституційної реформи в управлінні зрошуvalьними системами. Економіка природокористування і сталий розвиток. 2021. № 10 (29). С. 125–132. Режим доступу: <https://dspace.nbuv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/183416/12-Zhovtonog.pdf>
27. Вплив зміни клімату в Україні / Національна метеорологічна служба Великої Британії, 2021. — 34 с. — Режим доступу: https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2023/07/2_Vplyv-zminy-klimatu-v-Ukrayini.pdf. — Дата звернення: 30.01.2025.
28. Зміна клімату: наслідки та заходи адаптації: аналіт. доповідь / [С.П. Іванюта, О. О. Коломієць, О. А. Малиновська, Л. М. Якушенко]; за ред. С. П. Іванюти. — К. : НІСД, 2020. — 110 с. Режим доступу: https://niss.gov.ua/sites/default/files/2020-10/dop-climate-final-5_sait.pdf
29. C. Chen,W.J. Riley,I.C. Prentice,& T.F. Keenan, CO₂ fertilization of terrestrial photosynthesis inferred from site to global scales, Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 119 (10) e2115627119, <https://doi.org/10.1073/pnas.2115627119> (2022).

30. Нетіс І.Т., Онуфран Л.І., Нетіс В.І. Реакція рослин на ріст концентрації CO₂ в атмосфері. Таврійський науковий вісник: зб. наук. пр. Херсон: Видавничий дім «Гельветика». 2021. Вип. 120. С. 118-124. DOI <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2021.120.16>
31. The Causes of Climate Change. Human activities are driving the global warming trend observed since the mid-20th century. [Електронний ресурс] / Режим доступу: <https://science.nasa.gov/climate-change/causes/> Дата звернення: 27.11.2024.
32. Daily CO₂ Comparisons [Електронний ресурс] / Режим доступу: <https://www.co2.earth/daily-co2> Дата звернення: 27.11.2024.
33. Andrew D. B. Leakey, Elizabeth A. Ainsworth, Carl J. Bernacchi, Alistair Rogers, Stephen P. Long, Donald R. Ort, Elevated CO₂ effects on plant carbon, nitrogen, and water relations: six important lessons from FACE, Journal of Experimental Botany, Volume 60, Issue 10, July 2009, Pages 2859–2876, <https://doi.org/10.1093/jxb/erp096>
34. Chunwu Zhu et al., Carbon dioxide (CO₂) levels this century will alter the protein, micronutrients, and vitamin content of rice grains with potential health consequences for the poorest rice-dependent countries. Sci.Adv.4,eaaq1012(2018).<https://doi.org/10.1126/sciadv.aaq1012>
35. Zheng G., Chen J., Li W. Impacts of CO₂ elevation on the physiology and seed quality of soybean. Plant Diversity. (2020) Vol. 42, № 1. P. 44–51. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pld.2019.09.004>
36. Khan, P., Aziz, T., Jan, R., & Kim, K.-M. (2025). Effects of Elevated CO₂ on Maize Physiological and Biochemical Processes. Agronomy, 15(1), 202. <https://doi.org/10.3390/agronomy15010202>
37. De Kauwe, M.G., Medlyn, B.E. and Tissue, D.T. (2021), To what extent can rising [CO₂] ameliorate plant drought stress? New Phytologist, 231: 2118-2124. <https://doi.org/10.1111/nph.17540>

38. David E. Lincoln, Eric D. Fajer, Robert H. Johnson. Plant-insect herbivore interactions in elevated CO₂ environments. Trends in Ecology & Evolution, Volume 8, Issue 2, 1993, P. 64-68, [https://doi.org/10.1016/0169-5347\(93\)90161-H](https://doi.org/10.1016/0169-5347(93)90161-H)
39. Zhou, Y., Van Leeuwen, S.K., Pieterse, C.M.J. et al. Effect of atmospheric CO₂ on plant defense against leaf and root pathogens of *Arabidopsis*. Eur J Plant Pathol 154, 31–42 (2019). <https://doi.org/10.1007/s10658-019-01706-1>
40. National Corn Yield Contest 2023 Winners Announced. [Електронний ресурс] / Режим доступу: <https://www.ncga.com/stay-informed/media/in-the-news/article/2023/12/national-corn-yield-contest-2023-winners-announced> Дата звернення: 27.11.2024.
41. Назаренко І.І. Землеробство та меліорація / І.І. Назаренко, І.С. Смага, С.М. Польчина, В.Р. Черлінка – Чернівці: Книги – XXI, 2006. – 543 с.
42. Фізіологія рослин. /За редакцією професора М. М. Макрушина. Підручник. – Вінниця: Нова Книга, 2006. – 416 с
43. Каталог сортів і гібридів польових культур селекції інституту рослинництва імені В.Я. Юр'єва НААН. [Електронний ресурс] / Режим доступу: https://yuriev.com.ua/assets/files/katalog_2021-1.pdf Дата звернення: 27.11.2024.
44. Світовий рекорд з урожайності озимого ріпаку. Селекція DSV - завжди на крок попереду. [Електронний ресурс] / Режим доступу: <https://www.dsv-ukraine.com.ua/UA/downloads/news/Weltrekord.pdf> Дата звернення: 27.11.2024.
45. Урожай ріпаку за 2024 та 2023 роки в Україні по областях. [Електронний ресурс] / Режим доступу: <https://superagronom.com/multimedia/infographics/93-uroyay-ripaku-za-2024-ta-2023-roki-v-ukrayini-po-oblastyam> Дата звернення: 20.02.2025
46. Стан ріпаку в 2019 році. [Електронний ресурс] / Режим доступу: <https://kurkul.com/agro-ekspeditsiyi/561-stan-ripaku-v-ukrayini-v-2019-rotsi--agroekspeditsiya>? Дата звернення: 20.02.2025.
47. В. М. Безкоровайний, В. В. Мойсієнко. Формування врожайності та якості насіння ріпаку озимого залежно від гібридів і способів сівби в умовах

лісостепу правобережного. Український журнал природничих наук. 2024. № 9. С. 169-178. <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.9.2024.17>

48. Du X, Gao Z, Sun X, Bian D, Ren J, Yan P, Cui Y. Increasing temperature during early spring increases winter wheat grain yield by advancing phenology and mitigating leaf senescence. Sci Total Environ. 2022 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152557>

49. Kang, Y.; Yin, M.; Ma, Y.; Tang, Z.; Jia, Q.; Qi, G.; Wang, J.; Jiang, Y.; Wang, A. Response of Water-Nitrogen Distribution and Use to Water Deficit under Different Applied Nitrogen Fertilizer Rates in Bromus inermis Grassland. Agronomy 2023, 13, 745. <https://doi.org/10.3390/agronomy13030745>

50. Розпорядження КМУ від 9 грудня 2022 р. № 1134-р «Про схвалення Водної стратегії України на період до 2050 року» [Електронний ресурс] / Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1134-2022-%D1%80#Text> Дата звернення: 20.02.2025.

51. World energy transitions outlook 2023 1.5°C Pathway. [Електронний ресурс]/ Режим доступу: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2023/Jun/IRENA_World_energy_transitions_outlook_summary_2023.pdf Дата звернення: 21.02.2025.

52. Towards an Integrated Energy System: Assessing Bioenergy's Socio-Economic and Environmental Impact. [Електронний ресурс] / Режим доступу: https://bioenergyeurope.org/wp-content/uploads/2024/01/Deloitte-Report-2022_Towards-an-Integrated-Energy-System.pdf Дата звернення: 21.02.2025.

53. ФАО. 2020. Положение дел в области продовольствия и сельского хозяйства. Решение проблем с водой в сельском хозяйстве. Рим. <https://doi.org/10.4060/cb1447ru>

54. Моніторинг земельних відносин в Україні: 2016–2017 : статист. щорічник [Електронний ресурс]. – К. : 2018. – 168 с. – Режим доступу: <https://land.gov.ua/wp-content/uploads/2018/10/monitoring.pdf> Дата звернення: 20.11.2024

55. Стратегія зрошення та дренажу в Україні на період до 2030 року. Схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 14 серпня 2019 р. № 668-р. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/688-2019-%D1%80#Text>

56. Зелена книга. Зрошення та дренаж. / Грузинська І. І. та ін. Київ, Липень-2020. 127 с. [Електронний ресурс] / Режим доступу: <https://brdo.com.ua/wp-content/uploads/2024/06/11-ZK-Zroshennya-i-drenazh.pdf> Дата звернення: 20.11.2024

57. Щорічна доповідь про стан навколошнього природного середовища Одеської області у 2023 році. [Електронний ресурс] / Режим доступу: <https://ecology.od.gov.ua/wp-content/uploads/2024/09/region-dopov-pro-stan-nps.pdf> Дата звернення: 20.11.2024.

58. Стратегія розвитку Одеської області на період 2021-2027 років. [Електронний ресурс]/ Режим доступу: <https://odaold.od.gov.ua/odeshhyna/soczialno-ekonomichnyj-ta-kulturnyj-rozvytok/strategichni-plany-dij-ta-programy-rozvytku/strategiya-regionalnogo-rozvytku/strategiya-rozvytku-odeskoyi-oblasti-na-2021-2027-roky/> Дата звернення: 20.11.2024.

59. Регіональна Програма розвитку агропромислового комплексу Одеської області на 2019-2023 роки «Аграрна Одещина» у новій редакції [Електронний ресурс] / Режим доступу: <https://agro.od.gov.ua/wp-content/uploads/2021/06/programa-agrarna-odeshhyna-na-sajt.pdf> Дата звернення: 21.11.2024.

60. Закон України "Про організації водокористувачів та стимулування гідротехнічної меліорації земель" від 17 лютого 2022 року. URL: <https://land.gov.ua/zakon-ukrainy-vid-17-liutoho-2022-roku-pro-orhanizatsii-vodokorystuvachiv-ta-stymuliuvannia-hidrotekhnichnoi-melioratsii-zemel/> (дата звернення: 21.11.2024).

61. Меліорація в дії: створено першу організацію водокористувачів Одещини [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://bolgrad->

rda.od.gov.ua/2022/12/melioraciya-v-diyi-stvorenno-pershu-organizacziyu-vodokorystuvachiv-odeshhyny/ — Дата звернення: 21.11.2024.

62. Ромашенко М. І., Яцюк М. В., Жовтоног О. І., Дехтяр О. О., Сайдак Р. В., Матяш Т. В. Наукові засади відновлення та розвитку зрошення в Україні в сучасних умовах [Електронний ресурс] // Меліорація і водне господарство. – 2017. – Вип. 106. – С. 9–14. – Режим доступу: http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP_meta&C21COM=S&2_S21P03=FILA=&2_S21STR=Mivg_2017_106_4

63. Наукові основи адаптації систем землеробства до змін клімату в Південному Степу України [Текст]: монографія / за наук. ред. чл.-кор. НААН Р. А. Вожегової ; Нац. акад. аграр. наук України, Ін-т зрошув. землеробства НААН. - Херсон : Олді-плюс, 2018. - 751 с. : ISBN 978-966-289-233-8

64. Ромашенко М. І., Войтович І. В., Матяш Т. В., Попов В. М., Яцюк М. В., Дехтяр О. О., Сайдак Р. В., Шевчук С. А. Технічний аудит Нижньо-Дністровської зрошувальної системи. Попередні висновки. Київ, 2021.

65. Elliott J., Glotter M., Ruane A. C., Boote K. J., Büchner M., Foster I., Moyer E. J. Characterizing agricultural impacts of recent large-scale US droughts and changing technology and management // Agricultural Systems. – 2018. – Vol. 159. – P. 275–281. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agrsy.2017.08.013>.

66. Шатковський А.П. Наукові основи інтенсивних технологій краплинного зрошення в умовах Степу України: дис. на здобуття наукового ступеня доктора с.-г. наук : 06.01.02 — сільськогосподарські меліорації / Херсонський державний аграрно-економічний університет. 2016. Херсон. URL: https://www.ksau.kherson.ua/files/avtoreferaty_dysertaciyi/Дисертація%20Шатковський%20А.П..pdf (дата звернення: 20.03.2025).

67. Ромашенко М. І., Шатковський А. П., Журавльов О. В., Черевичний Ю. О. Особливості режимів краплинного зрошення просапних культур/ М.І.Ромашенко, А. П. Шатковський, О. В. Журавльов, Ю. О. Черевичний //

Вісник аграрної науки. — 2015. — № 2. — С. 51–56. — Режим доступу: https://agrovisnyk.com/pdf/ua_2015_02_11.pdf

68. Дробітко А., Качанова Т., Маркова Н., Нікончук Н. Інноваційні підходи до вирощування зернових культур у Південному Степу України. *Scientific Horizons.* 2024. № 11. С. 41-51. DOI: <https://doi.org/10.48077/scihor11.2024.41>

69. Шатковський А.П., Мельничук Ф.С., Ретьман М.С., Гуленко О.І., Каліней В.В. Стан і перспективи застосування підгрунтового краплинного зрошення у контексті змін клімату. Матеріали Міжнародної науково-практичної онлайн-конференції. «Підземні води як стратегічний ресурс економічного розвитку держави», присвяченої Всесвітньому дню водних ресурсів. 2022. С. 22-24. URL: <http://mivg.iwpim.com.ua/files/tezy2022.pdf> (дата звернення: 24.11.2024).

70. Тимчасові районовані норми водопотреби сільськогосподарських культур для зрошення дощуванням: рекомендації. — К.: Аграр. наука, 2015. — 24 с. URL: <https://igim.org.ua/видання-та-нормативні-документи/видання-івпім/> (дата звернення: 21.11.2024).

71. L. Rosa, D.D. Chiarelli, M. Sangiorgio, A.A. Beltran-Peña, M.C. Rulli, P. D’Odorico,& I. Fung, Potential for sustainable irrigation expansion in a 3 °C warmer climate, Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 117 (47) 29526-29534, <https://doi.org/10.1073/pnas.2017796117> (2020)

72. Rosa, L., Ragettli, S., Sinha, R., Zhovtonog, O., Yu, W., & Karimi, P. (2024). Regional irrigation expansion can support climate-resilient crop production in post-invasion Ukraine. *Nature Food*, 5(8), 684–692. <https://doi.org/10.1038/s43016-024-01017-7>

73. Geerts, S., & Raes, D. (2009). Deficit irrigation as an on-farm strategy to maximize crop water productivity in dry areas. *Agricultural Water Management*, 96(9), 1275–1284. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.04.009>

74. Hashem, Mahmoud S., and Xuebin Qi. 2021. "Treated Wastewater Irrigation—A Review" Water 13, no. 11: 1527. <https://doi.org/10.3390/w13111527>

75. Реферат роботи на здобуття Національної премії України імені Бориса Патона. Інноваційні основи відновлення ґрунтів і зрошення в умовах війни та

миру [Електронний ресурс]. — Режим доступу: https://www.kdpu-nt.gov.ua/sites/default/files/work_files/r21_referat.pdf. — (дата звернення: 21.11.2024)

76. Abelson P. H. Energy from biomass // Science. – 1980. – Vol. 208, No. 4450. – P. 1325–1330. <https://doi.org/10.1126/science.208.4450.1325>

77. Енергетичний баланс України [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://stat.gov.ua/uk/datasets/enerhetychnyy-balans-ukrayiny-0>, (дата звернення: 02.02.2025).

78. Тарапіко, Ю. О.; Дацько, Л. В. Створення біоенергетичних агроекосистем у контексті уповільнення процесів опустелювання. Агроекологічний журнал, 2014, 4: 7-10 http://nbuv.gov.ua/UJRN/agrog_2014_4_3

79. Біоенергетичні системи в аграрному виробництві: навч. посіб. /Голуб Г. А., Кухарець С.М., Марус О.А. та ін.; за ред. Г. А. Голуба. – К.:НУБіП України, 2017. – 229 с.

80. Біоенергетичний потенціал аграрного сектору і промисловості – джерело енергетичної стійкості України [Електронний ресурс] / Національний інститут стратегічних досліджень. – 2022. – Режим доступу: <https://niss.gov.ua/news/komentari-ekspertiv/bioenerhetychnyy-potentsial-ahrarnoho-sektoru-i-promyslovosti-dzherelo> (дата звернення: 21.11.2024).

81. David Tilman et al.,Carbon-Negative Biofuels from Low-Input High-Diversity Grassland Biomass. Science 314, 1598-1600 (2006). DOI: <https://doi.org/10.1126/science.1133306>.

82. Dias de Souza N. R., Palma Petrielli G., Durado Hernandez T., Leduc S., Di Fulvio F., de Souza Gentzler D., Ferreira Chagas M., Lopez Junqueira T., Cavalett O. Integration of bioenergy and livestock in Brazil: Unveiling the potential for energy production and climate change mitigation // Journal of Cleaner Production. – 2023. – Vol. 422. – P. 138586. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138586>.

83. Searchinger T., Heimlich R., Houghton R. A., Dong F., Elobeid A., Fabiosa J., Tokgoz S., Hayes D., Yu T.-H. Use of U.S. croplands for biofuels increases greenhouse gases through emissions from land-use change // Science. – 2008. – Vol.

319, No. 5867. – Р. 1238–1240. – DOI:
<https://www.science.org/doi/10.1126/science.1151861>

84. Дідковська Л. І. Особливості формування біоенергетичних зрошуваних агроекосистем як чинника різногалузевої спеціалізації аграрного сектора України. Економіка та держава. 2021. № 3. С. 99–103. DOI: [10.32702/2306-6806.2021.3.99](https://doi.org/10.32702/2306-6806.2021.3.99)

85. Тарапіко Ю.О. Формування сталих агроекосистем: теорія і практика. К.: Аграрна наука, 2005. 508 с

86. Тарапіко Ю.О. Біоенергетичні зрошувані агроекосистеми. Науково-технологічне забезпечення аграрного виробництва (Південний Степ України). К.: ДІА, 2010.

87. Тарапіко Ю.О. Енергозберігаючі агроекосистеми. Оцінка та раціональне використання агроресурсного потенціалу України. К. : ДІА, 2011. 576 с.

88. Ромашенко М.І., Тарапіко Ю.О. Меліоровані агроекосистеми: оцінка та раціональне використання агроресурсного потенціалу України. Ніжин : Видавець ПП Лисенко М.М., 2017. 692 с.

89. Тарапіко Ю.О., Ковальчук В.П. Войтович О.П. Перспективи міжгалузевої оптимізації сучасних агроекосистем. Агроекологічний журнал. 2017. № 2. <https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2017.220044>

90. Тарапіко Ю.О., Сорока Ю.В., Сайдак Р.В. Кліматичні зміни та економічна ефективність аграрного виробництва в степовій зоні. Меліорація і водне господарство. 2020. № 2. С. 56—70. <https://doi.org/10.31073/mivg202002-256>

91. Тарапіко Ю.О., Величко В. А., Сайдак Р.В., Книш В.В. Сучасна практика та перспективи розвитку аграрного виробництва в Одеському регіоні. Вісник аграрної науки. 2020. Том 98, вип. 3. С. 61–70. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202003-09>

92. Simon-Miquel G., Kirkegaard J., Reckling M. Rotation, tillage and irrigation influence agronomic and environmental performance of maize-based bioenergy systems in a dynamic long-term experiment in NE Germany. Field Crops Research. 2025. Т. 326. С. 109866. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2025.109866>

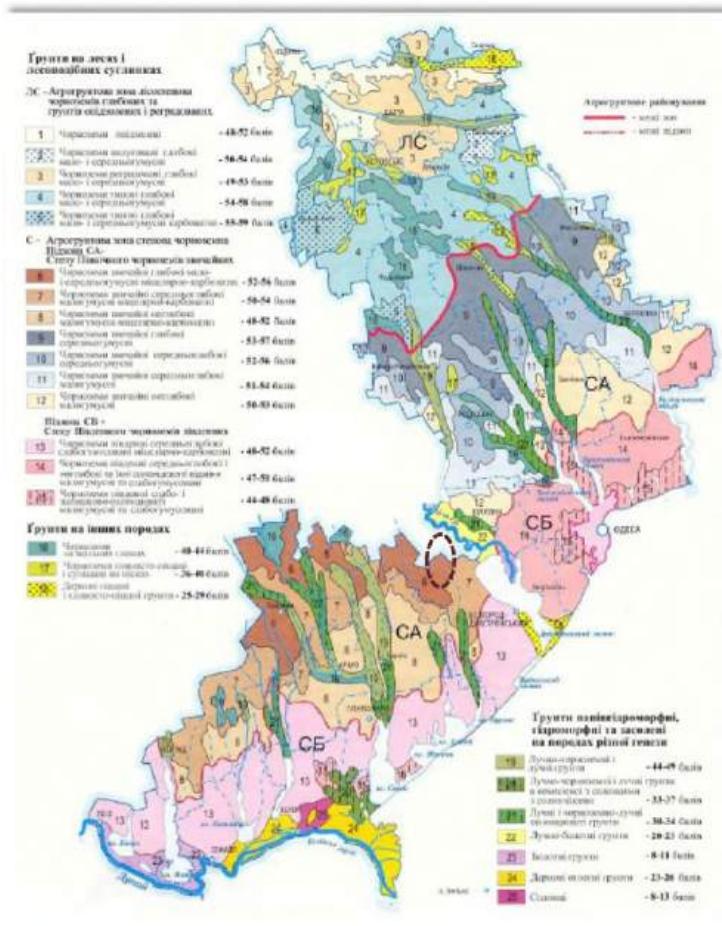
93. Dhanraj R., Shastri Y. An optimal bioenergy system design framework based on the water-energy-agriculture nexus. Biofuels, Bioproducts and Biorefining. 2024. Т. 18, № 5. С. 1470–1485. DOI: <https://doi.org/10.1002/bbb.2714>.
94. Влащук А.М., Войташенко Д.П., Демченко Н.В. Продуктивність сорго багаторічного в умовах зрошення Південного Степу України // Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків. – 2013. – Вип. 19. – С. 20–24. – URL: <http://www.bioenergy.gov.ua/sites/default/files/articles/20.pdf>
95. Бережняк Є. М., Міняйло А. А. Методичні рекомендації для проведення навчальної практики у дистанційному форматі з дисципліни «Агроекологія» для студентів ОС «Бакалавр» спеціальності 101 «Екологія». — Київ: НУБіП України, 2022. — 92 с. — Режим доступу: https://nubip.edu.ua/sites/default/files/u341/navchalna_praktika_z_agroekologiyi_mетодичні_рекомендації_0.pdf (дата звернення: 02.02.2025).
96. Ромашенко М.І., Тарапіко Ю.О. Концептуальні засади формування біоенергетичних агроекосистем // Вісник аграрної науки. – 2015. – №7. – С. 5–9. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/vaan_2015_7_3

РОЗДІЛ 2 УМОВИ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

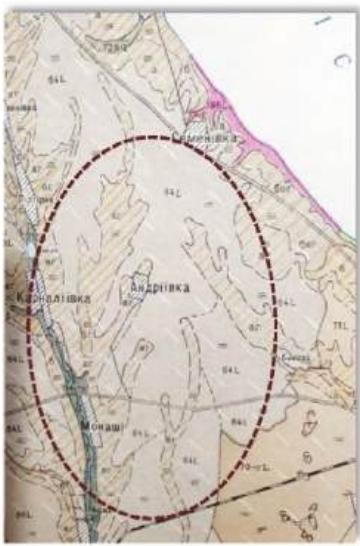
2.1 Грунтові умови регіону дослідження

Зрошувані ґрунти Степу, що розглядаються у дослідженні, здебільшого представлені чорноземами звичайними, які сформувалися за умов значнішого дефіциту вологи порівняно з Лісостепом [1]. Чорноземи звичайні мають добре виражені характерні ознаки процесу чорноземоутворення (нагромадження гумусу, відсутність перерозподілу колоїдів по профілю, відносно неглибоке залягання карбонатів), але інтенсивність нагромадження гумусу є меншою, порівняно з чорноземами типовими, внаслідок погіршення умов зволоження [1]. Ці ґрунти у підзональному аспекті поділяються на чорноземи звичайні глибокі помірно добрегумусоакумулятивні (вміст гумусу 4,2-6,1 %, потужність профілю 85-110 см); середньогумусоакумулятивні (вміст гумусу 3,8-5,3 %, потужність профілю 65-85 см до 100-130 см у Задністровській частині підзони); помірно слабогумусоакумулятивні (вміст гумусу 3,2-4,8 %, потужність профілю 45-65 см) [1]. Утворення цих підтипів обумовлено зростанням гідродефіцитності та посушливості з півночі на південь. Різноманітність ґрунтового покриву Степу збільшується завдяки наявності чорноземів на щільних глинах, піщаних відкладеннях, елювіях крейдомергельних та безкарбонатних щільних порід, а також напівгідроморфних і гідроморфних ґрунтів, площа яких під зрошенням є незначними [1].

Грунтовий покрив території досліджень урізноманітнений автоморфними і гідроморфними ґрунтами різного гранулометричного складу та еродованості (рис. 1). Структура ґрунтового покриву складається з чорноземів звичайних малогумусних міцелярно-карбонатних середньо- і важкосуглинкових на лесі; чорноземів звичайних малогумусних середньо- і важкосуглинкових на лесі та лесових породах; чорноземів звичайних слабо-, середньо- і сильнозмитих



а)  - умовне позначення території дослідження на карті-схемі ґрунтів Одеської області та їх бонітетів [3] (укладачі Я.М. Бланчич, В.І. Михайлюк, 2012)



64L - чорнозем звичайний малогумусний міцелярно-карбонатний на лесовій породі

A geological map of the Chernobyl area, specifically the 30-kilometer exclusion zone around the reactor. The map shows various geological formations and features, including several rivers and lakes. A red dot marks the location of the village of Andriivka. The map includes labels for 'Андріївка' (Andriivka), 'Балаклава' (Balaklava), 'Монастир' (Monastyr), and 'Іванівка' (Ivanivka). Numerous geological symbols like 'хр' (horizon), 'бт' (bedrock), and 'ар' (arrested) are scattered across the map.

б) 0 - умовне позначення території дослідження на фрагменті карти ґрунтів (М 1:200 000)

в) ● - позначення місця закладання розрізів на фрагменті карти ґрунтів (М 1:200 000)



г) профіль чорнозему звичайного малогумусного міцелярно-карбонатного важкосуглинкового на лесовій породі (власне фото автора)

Рисунок 2.1 Візуалізація структури ґрутового покриву території дослідження

середньо- і важкосуглинкових на лесі; чорноземів намитих важкосуглинкових на сучасному делювію; лучно-чорноземних намитих подових середньо- і важкосуглинкових ґрунтів на лесовидному суглинку; лучно-болотних важкосуглинкових ґрунтів на сучасному алювію-делювію, а також виходів ґрунтотворних порід – лесів та лесовидних суглинків [2]. Таке різноманіття ґрунтів зумовлене особливостями рельєфу, де більша частина території представлена широкими вододільними плато, а інша - балками, що вклинуються в територію вузькими смугами, які простягаються з півночі на південь. Переважна більшість схилів, що примикають до балок, слабопологі, тому ерозійні процеси у ґрунтах таких схилів слабо виражені.

Грунтовий покрив господарства

Чорноземи звичайні малогумусні є найпоширенішим типом ґрунтів ДП ДГ «Андріївське» в структурі ґрунтового покриву, який представлений середньо- і важкосуглинковими різновидами, що утворилися на лесах і лесових породах. Загальна площа ґрунтів середньосуглинкового гранулометричного складу становить 408,15 га, а важкосуглинкових ґрунтів - 4058,67 га [2]. Структура цих ґрунтів сформована за рахунок біогенної активності, що забезпечує добру водопроникність і сприяє глибокому промочуванню ґрунтового профілю у зимово-весняний період на глибину 2-3 м [3]. Слабозмиті відміни чорноземів звичайних поширені на площі 816,33 га, середньо- і сильнозмиті відміни – на 193,38 га [2]. Чорноземи намиті та лучно-чорноземні ґрунти були представлені ґрунтами, що сформувалися на сучасному делювії та лесовидних суглинках, для яких була характерна підвищена вологість та гідроморфність. До цієї групи належали чорноземи намиті важкосуглинкові (123,59 га) та лучно-чорноземні подові середньо- та важкосуглинкові ґрунти (15,46 га) [2]. Лучно-болотні ґрунти були представлені неосушеними важкосуглинковими різновидами, сформованими на сучасному алювії-делювії на площі 1,1 га. Виходи порід, віднесені до категорії непридатних для сільськогосподарського використання земель, мали вигляд лесу і лесовидних суглинків (0,84 га) та порушених ґрунтів (0,45 га) [2].

Найбільшу площину зрошуваних земель у межах господарства займає чорнозем звичайний малогумусний міцелярно-карбонатний важкосуглинковий на лесі. Його ґрутовий профіль (рис. 1) складається з потужного гумусового горизонту ($H_{45-55\text{cm}}$), верхнього перехідного горизонту ($Hpk_{55-90\text{cm}}$), нижнього перехідного горизонту ($Phk_{90-120\text{cm}}$) та ґрунтотворної породи - лесу ($Pk_{120\text{cm}}$ і глибше). Використання зрошення сприяло збільщенню потужності гумусованих горизонтів порівняно з багарними умовами завдяки формуванню сприятливих умов для гумусоутворення. Подовження гумусованої товщі значною мірою зумовлювалося важким гранулометричним складом ґрунту та високим ступенем насичення кальцієм ґрутового поглинального комплексу. Загальна потужність гумусованого шару ($H + Hpk$) становила 90 см. Карбонати у ґрунті були представлені у формі «псевдоміцелію» та білозірки, що залягала з глибини 85–90 см. Їхній вміст у межах ґрутової товщі 0–90 см коливався від 3,17 % до 8,96 %.

Гранулометричний склад у профілі ґрунту однорідний, вміст фізичної глини у шарі 0-30 см становив 48,2 %, у шарі 30-50 см - 47,4 %, а з глибини від 50 до 100 см - 46,8 %. У верхньому шарі (0-30 см) зафіксовано підвищений вміст гумусу (3,0-3,5 %), який з глибиною знижувався до 1,9 % у шарі 50-80 см. Реакція ґрутового середовища залишалася слаболужною ($pH_{\text{водн.}} = 7,7-7,9$) до глибини 90 см.

Сума поглинених катіонів (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+) у ґрутовому поглинальному комплексі (ГПК) становила 39,96-42,07 мекв/100 г ґрунту. У складі ГПК переважав поглинений кальцій, частка якого досягала 83-86 %. Вміст поглиненого натрію у товщі 0-100 см не перевищував 1,02-2,94 % від суми всіх поглинених катіонів і характеризував ґрунт як несолонцюватий. Ґрутовий профіль був незасолений: загальний вміст водорозчинних солей у метровому шарі не перевищував 0,05–0,08 %.

У період дослідження забезпеченість орного шару легкогідролізованим азотом була середньою і становила 15,20-15,43 мг/100 г ґрунту. Вміст рухомого фосфору (за методом Мачигіна) також відповідав середньому рівню (2,8-

3,0 мг/100 г ґрунту), тоді як забезпеченість рухомим калієм (за методом Мачигіна) змінювалася від низької (7,1-9,7 мг/100 г ґрунту) до середньої (10,95 мг/100 г ґрунту).

Щільність складення ґрунту у шарі 0-30 см становила 1,22 г/см³, у шарі 30-50 см - 1,29 г/см³, а в шарі 50-80 см - 1,32-1,34 г/см³. Загальна шпаруватість (пористість) коливалася від 52,7 % у верхніх горизонтах (до глибини 50 см) до 50,8 % у нижчих шарах. Найменша вологосмність ґрунту в орному шарі знаходилася в межах 27-34 %.

Чорноземи звичайні малогумусні характеризуються відносно високим рівнем потенційної родючості, однак, як ґрунти південноєвропейської теплої фації з більш теплим і менш континентальним кліматом, вони мають специфічний водний, тепловий і біологічний режим [1, 3, 4]. Продуктивність цих ґрунтів в значній мірі обмежується запасами ґрутової вологи, тому найбільш ефективним і радикальним методом підвищення врожайності культур та ефективності землеробства в умовах недостатнього зволоження є зрошення. Дефіцит природного зволоження, у поєднанні з достатнім забезпеченням тепловими ресурсами, сонячною радіацією та родючими ґрунтами, є об'єктивною природною передумовою для впровадження зрошення на земельних ділянках. Зрошення розглядається як засіб для покращення вологозабезпечення ґрунтів та зниження залежності від погодно-кліматичних умов регіону [1]. Головною метою цього процесу, на яку звертають увагу науковці [3], є реалізація біокліматичного потенціалу території, що включає розширене відтворення родючості ґрунтів з метою досягнення сталих урожаїв при збереженні ґрутово-екологічного середовища та формуванні високопродуктивних і екологічно безпечних агроландшафтів. В загальному, родючість зрошуваних ґрунтів в значній мірі визначається якістю зрошувальних вод. Останні дані Держводагентства України щодо екологомеліоративного стану зрошуваних земель вказують на те, що сучасний стан цих земель характеризується збільшенням неоднорідності параметрів екологічних, ґрутових і меліоративних показників. Це викликано припиненням поливів на

значних площах, використанням різних типів поливної техніки, способів і режимів зрошення, а також вод різної якості і різноманітними ґрутово-меліоративними умовами, у яких знаходяться зрошувані масиви. Такий стан підкреслює важливість постійного збільшення ролі досліджень та контролю (моніторингу) еколого-меліоративного стану зрошуваних земель, що повинні здійснюватися за єдиними методичними засадами.

Грунтове обстеження території проведено в червні 2021 р. Для визначення показників ґрунту використано державні стандарти, зокрема: ДСТУ ISO 10390:2007 «Якість ґрунту. Визначення pH» [5], ДСТУ 4289:2004 «Якість ґрунту. Методи визначення органічної речовини» [6], ДСТУ 4114-2002 «Грунти. Визначення рухомих сполук фосфору і калію за модифікованим методом Мачигіна» [7], ДСТУ 7863:2015 «Якість ґрунту. Визначення легкогідролізного азоту методом Корнфілда» [8], ДСТУ 7861:2015 «Якість ґрунту. Визначення обмінних кальцію, магнію, натрію і калію в ґрунті за Шолленбергом в модифікації ННЦ ІГА імені О.Н. Соколовського» [9], ДСТУ 8346:2015 «Якість ґрунту. Методи визначення питомої електропровідності, pH і щільного залишку водної витяжки» [10], ДСТУ ISO 10693:2001 «Якість ґрунту. Визначення вмісту карбонатів. Об'ємний метод» [11], ДСТУ ISO 11272:2001 «Якість ґрунту. Визначення щільності складення ґрунту на суху масу». [12] Для групування ґрунтів за вмістом органічної речовини, азоту, рухомих форм фосфору і калію застосовано ДСТУ 4362:2004 «Якість ґрунту. Показники родючості ґрунтів» [13]. Аналізування зразків виконано у ДП «Центральна лабораторія якості води та ґрунтів» ІВПіМ НААН (Свідоцтво про відповідність ДСТУ ISO 10012:2005 № 06-034/2018 від 27.08.2018 р.).

2.2 Кліматичні умови регіону проведення досліджень.

Агрометеорологічні умови в роки проведення досліджень

Одеська область займає 5,5 % території України (33,3 тис. km^2), її північна частина знаходиться в лісостеповій зоні, а південна – в степовій.

Клімат області є вологим, помірно континентальним, з рисами як континентального, так і морського. Середньорічна температура коливається від 8,2°C на півночі до 10,8°C на півдні. Загальна сума опадів варієється від 340 до 470 мм на рік. Взимку переважають північні і південно-західні вітри, влітку – північно-західні і північні. Південна частина області склонна до посух і суховів. Головним природним багатством Одеської області є її земельні ресурси, зокрема звичайні та південні чорноземи, які мають високу природну родючість. У поєднанні з теплим степовим кліматом ці ґрунти створюють високий агропромисловий потенціал регіону.

Агрометеорологічні умови періоду досліджень (2021-2024 рр.) характеризувалися значними відхиленнями від багаторічних норм, що підтверджує посилення аридизації клімату в регіоні дослідження. Температурний режим упродовж 2021-2024 рр. демонстрував стабільне підвищення відносно базових періодів 1961-1990 та 1991-2020 рр. Найбільш виражені температурні аномалії спостерігалися в літні місяці (червень-серпень), коли середньомісячні температури перевищували багаторічну норму на 2-3°C. Зимові місяці також характеризувалися підвищеними температурами, що свідчить про загальну тенденцію до потепління. (рис.2.2).

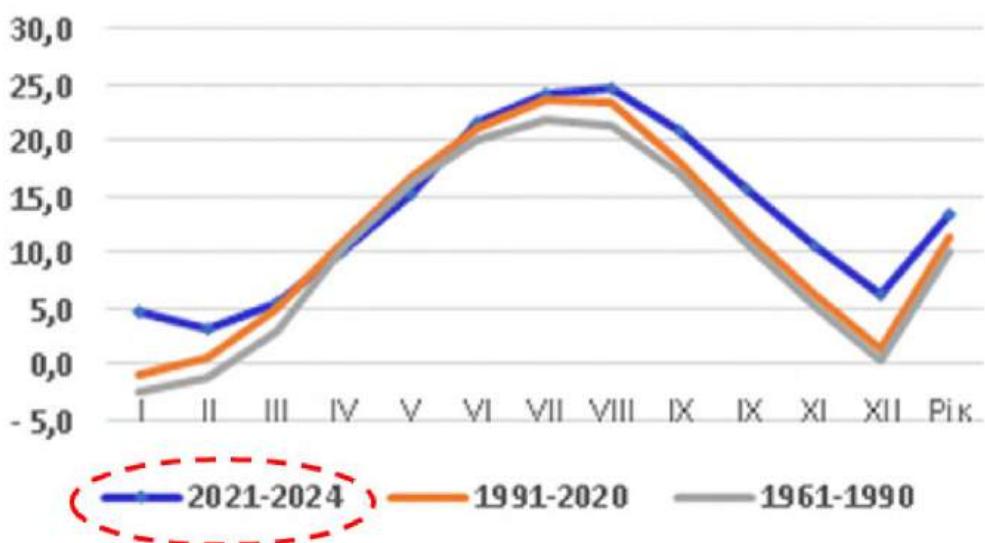


Рисунок 2.2. Тенденції середньомісячної температури повітря у часових діапазонах 1961–1990, 1991–2020 та 2021–2024 рр.

Режим зволоження демонстрував критичне погіршення порівняно з попередніми періодами. Середньорічна сума опадів у 2021-2024 рр. становила 539 мм, що на 30 мм менше порівняно з 1991-2020 рр. та значно нижче норми 1961-1990 рр. (509 мм) (рис.2.3). Місячний розподіл опадів характеризувався високою нерівномірністю з переважанням дефіциту вологи в критичні фази вегетації сільськогосподарських культур (рис.2.4).

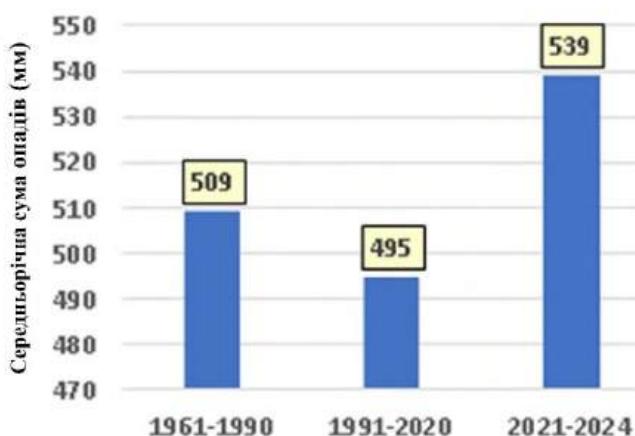


Рисунок 2.3 Середньорічна сума опадів у часових діапазонах 1961–1990, 1991–2020 та 2021–2024 рр

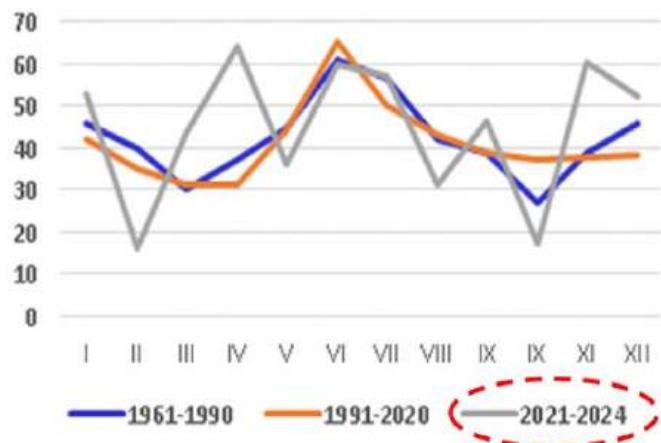


Рисунок 2.4 Середньомісячний розподіл опадів у часових діапазонах 1961–1990, 1991–2020 та 2021–2024 рр

У період досліджень потенційна евапотранспірація зросла до 1074 мм, що на 127 мм перевищує показник 1991–2020 рр. (947 мм) та на 220 мм — значення за 1961–1990 рр. (854 мм) (рис. 2.5). Це зростання зумовлене підвищенням середньорічних температур повітря та змінами у вітровому режимі, які сприяють інтенсифікації випаровування з поверхні ґрунту і транспірації рослин. Зростання Ер до 1074 мм означає, що такі культури, як пшениця, кукурудза чи соняшник, потребують більше води для підтримання оптимального росту. Наприклад, для кукурудзи водна потреба може зрости на 127 мм за сезон порівняно з 1991–2020 рр., що еквівалентно додатковим 1270 м³/га води. Без додаткового зрошення це може привести до зниження врожайності, особливо в посушливі роки.

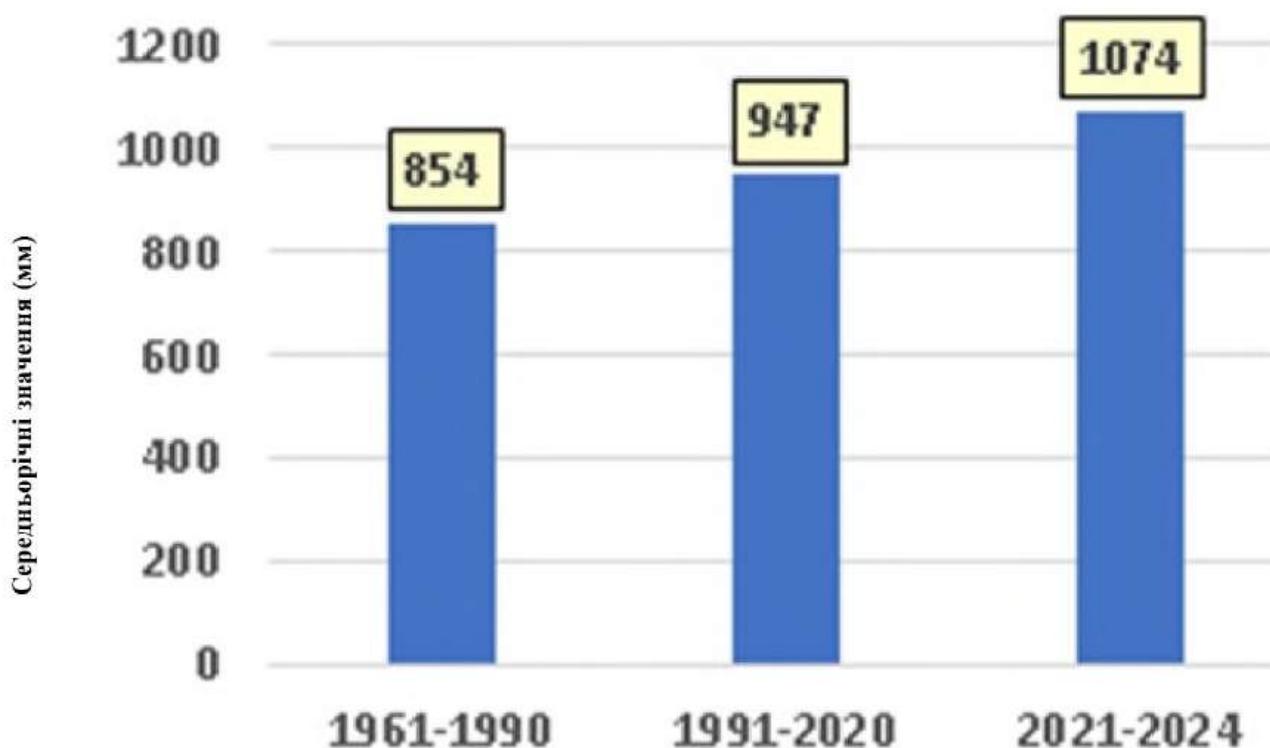


Рисунок 2.5 Динаміка потенційної евапотранспірації за періодами 1961–1990, 1991–2020 та роками досліджень

Кліматичний водний баланс характеризувався стійким дефіцитом вологи протягом вегетаційного періоду. Аналіз місячних значень КВБ підтверджує, що найбільш критичні умови формуються в літні місяці (червень–серпень), коли місячний дефіцит вологи досягає -188 до -333 мм (рис.2.6).

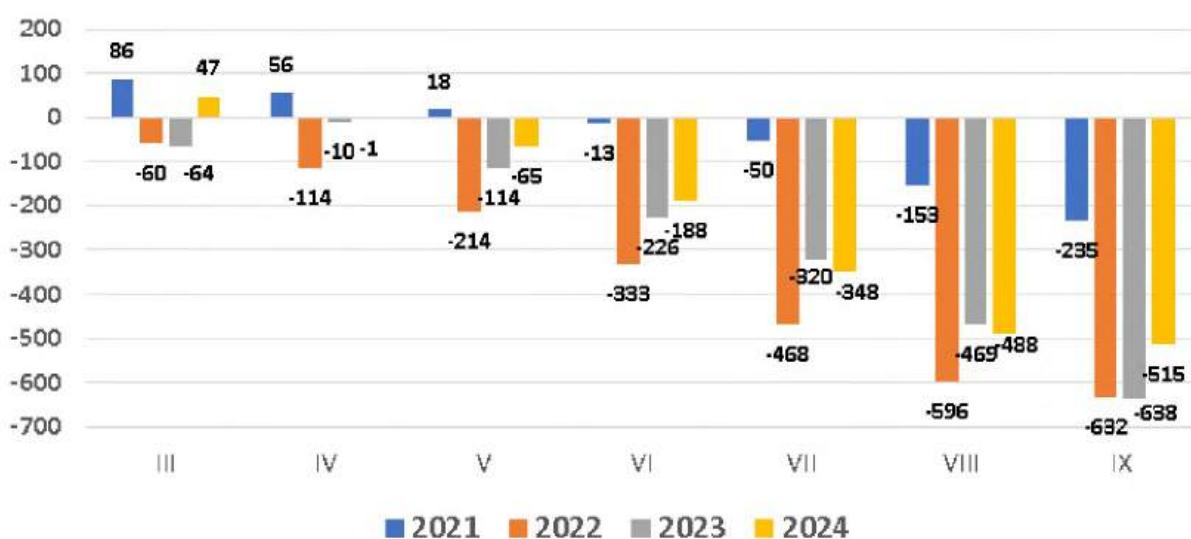


Рисунок 2.6 Кліматично-водний баланс упродовж вегетаційного періоду 2021–2024 років

Весняні місяці також демонструють від'ємні значення КВБ, що свідчить про недостатнє зволоження на початку вегетаційного періоду. Кліматичний водний баланс з нарastaючим підсумком демонструє прогресуючий дефіцит вологи протягом року (рис.2.7). Починаючи з березня, накопичений дефіцит вологи поступово зростає, досягаючи -531 мм до кінця року. Це означає, що сумарні втрати вологи на випаровування на 531 мм перевищують надходження від опадів, створюючи критичні умови для багаторічного землеробства та підтверджуючи необхідність застосування зрошення для забезпечення стабільних урожаїв.

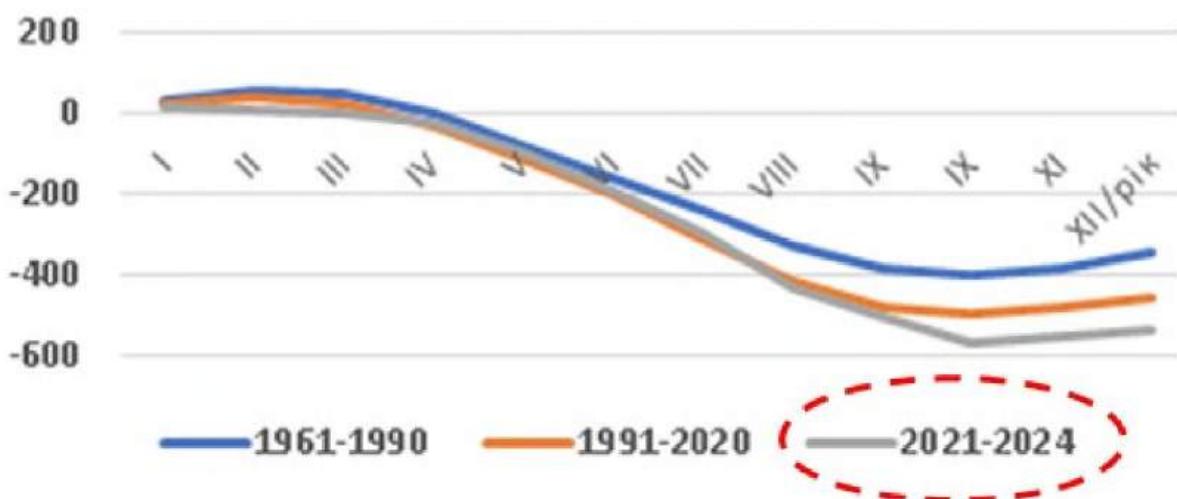


Рисунок 2.7 Кліматично-водний баланс з нарastaючим підсумком

Міжрічна варіабельність 2021-2024 рр. характеризувалася чергуванням посушливих та вкрай посушливих років. Найскладніші умови спостерігалися у 2022 та 2024 роках, коли дефіцит вологи сягав екстремальних значень. Особливо критичною була ситуація в літні місяці цих років, що підтверджується графіком КВБ упродовж вегетаційного періоду. У 2021 році спостерігалися більш сприятливі умови зволоження, особливо в весняний період, проте загальна тенденція до аридизації залишалася незмінною.

Сума активних температур за травень-серпень зросла від 1975.3 °C у 2021 році до 2178.5 °C у 2024 році, що перевищує середньостатистичні значення 1901-1950 років (1500-1600 °C) і 1951-2000 років (1600-1700 °C), відображаючи потепління вегетаційного періоду. Максимальні температури

до 35 °C у липні щороку підвищували тепловий стрес для культур, а відносна вологість коливалася від 50-70% у посушливі періоди до 80-90% під час дощів (за даними meteoblue.com), що підкреслює необхідність гнучкого управління вологою.

Представлена агрометеорологічна характеристика підтверджує необхідність впровадження зрошення для забезпечення стабільного сільськогосподарського виробництва в умовах прогресуючої аридизації клімату регіону. Зростання температур, зменшення кількості опадів та збільшення потенційної евапотранспірації формують критичні умови водного дефіциту, які неможливо компенсувати без застосування штучного зрошення.

2.3 Загальна характеристика базового господарства

Земельні ділянки державного підприємства «Дослідне господарство «Андріївське» Інституту кліматично орієнтованого сільського господарства розташовані в межах адміністративної території Білгород-Дністровського району Одеської області. Відповідно до схеми природно-сільськогосподарського районування Одеської області, територія, де розташоване ДП ДГ «Андріївське», входить до природно-сільськогосподарського району Степ придунайський. Структура посівних площ ДПДГ «Андріївське» охоплює 32 поля із загальною площею 5194,72 га. (Рис. 2.8) [14]. Ці дані мають ключове значення для обґрунтування створення біоенергетичних агроекосистем в умовах зрошення на півдні Одеської області. Вони відображають доступний земельний ресурс, який може бути використано для введення біоенергетичних культур у сівозміну господарства.

Територія господарства розташована в межах Причорноморської низовини та характеризується рівнинним типом рельєфу. Морфологічно рельєф представлений переважно широкими вододільними плато. Балкова мережа, що вклиниється в територію господарства, займає незначну площину та має меридіональне простягання (з півночі на південь). Схили балок характеризуються слабкою пологістю з незначним проявом ерозійних процесів.

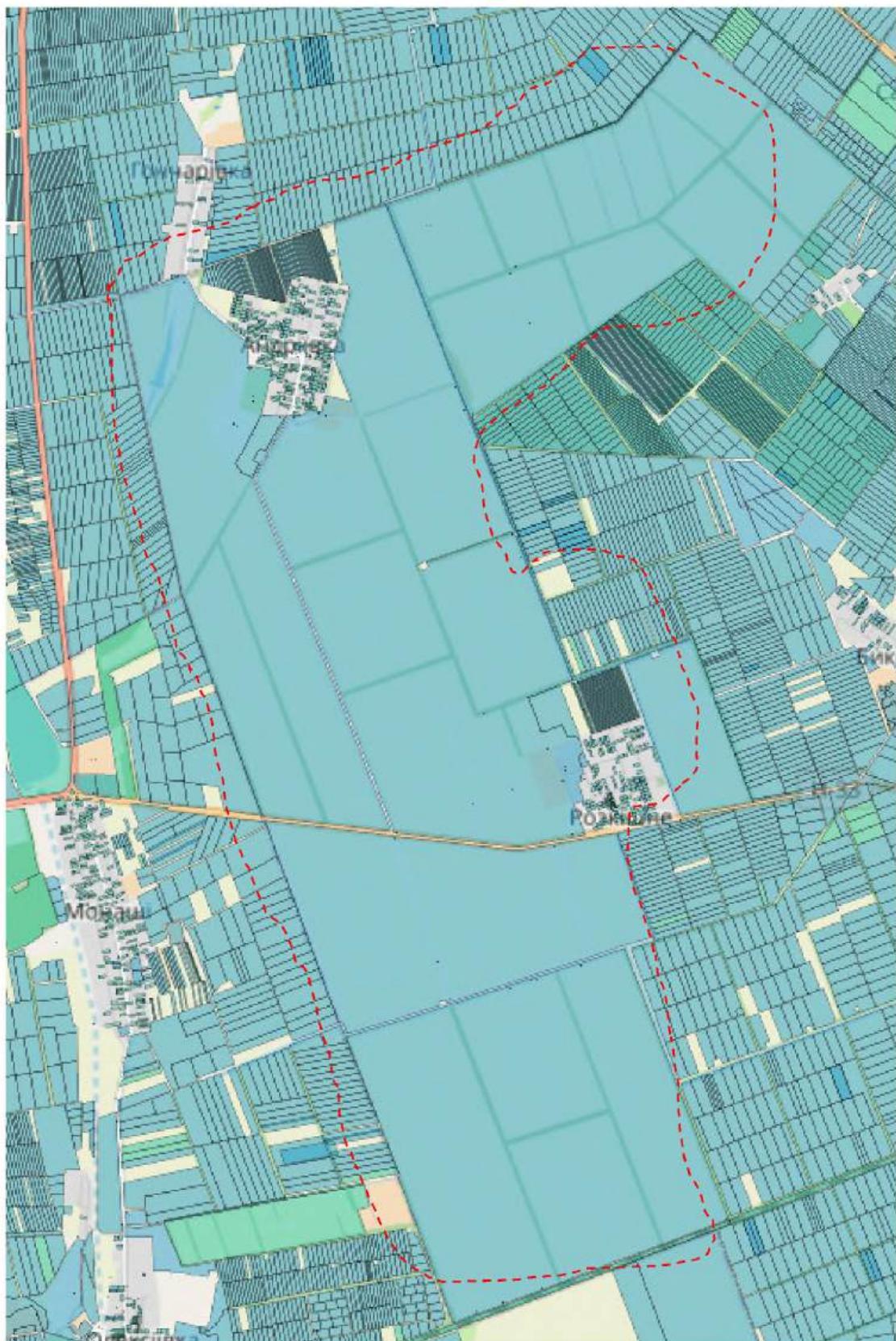


Рисунок 2.8 Картографічне зображення землекористування ДПДГ «Андріївське»

Наявні на території господарства лощини та улоговини не створюють суттєвих перешкод для здійснення механізованої обробки ґрунту. Земельні ділянки господарства характеризуються різноманітністю геоморфологічного розташування, що визначає їх розміщення як на широких вододільних плато, так і на схилах різної експозиції, форми та крутизна. Це, у свою чергу, зумовлює диференціацію інтенсивності ерозійних процесів у межах досліджуваної території. Відповідно до морфометричних показників, земельні угіддя розподіляються наступним чином :

- на вододільних плато і привододільних схилах крутизною 0-1° розташовано 4826,10 га земель;
- на схилах крутизною 1-2° – 357,61 га;
- на схилах крутизною 2-3° – 371,91 га;
- на схилах крутизною 3-5° – 62,4 га.

Досліджуваний природно-сільськогосподарський район характеризується специфічними агрокліматичними та ландшафтними умовами. Зокрема, клімат території класифікується як помірно-континентальний із вираженим спекотним літнім періодом. Геоморфологічні особливості відзначаються переважанням рівнинних форм рельєфу, що є типовим для степової зони України.

Гідрографічна мережа території ДП ДГ «Андріївське» представлена обмеженою кількістю водних об'єктів антропогенного та природного походження. Основним водним об'єктом є штучно створений ставок площею 6,55 га, локалізований у північно-західній частині досліджуваної території [2,15].

Додатковими гідрологічними елементами ландшафту виступають гідротехнічні споруди (0,67 га) та відкриті заболочені землі (1,10 га). Режим живлення ставка характеризується комплексним надходженням води з різних джерел, серед яких:

- поверхневий стік (струмки);
- підземний стік (ґрутові води);

- атмосферні опади (дощові та снігові води).

Гідрологічний режим ставка відзначається сезонними особливостями, зокрема, тривалість льодоставу становить 2-3 місяці. Функціональне призначення штучної водойми обмежується рибогосподарським використанням без залучення до іригаційної системи господарства.

Гідрогеологічні умови території характеризуються значною глибиною залягання ґрунтових вод на вододільних плато, яка переважно перевищує 15-20 м. Водний режим ґрунтів на цих ділянках формується виключно за рахунок атмосферних опадів, які майже повністю інфільтруються в ґрутовий профіль, що впливає на формування специфічного гідрологічного режиму ґрунтів досліджуваної території.

Біокліматичний потенціал земельного фонду території господарства відповідає характеристикам, притаманним Степовій зоні України, що визначає особливості формування агроекологічних умов та специфіку сільськогосподарського виробництва в межах досліджуваної території.

Господарство розташоване за 25 км від районного центру (м. Білгород-Дністровський), 100 км від обласного центру (м. Одеса) та 20 км від найближчої залізничної станції. Ці параметри визначають його транспортно-логістичну доступність, що є ключовим фактором для оцінки потенціалу ДПДГ «Андріївське» як базового підприємства в зоні Сухого Степу України для впровадження сучасних біоенергетичних рішень у сільському господарстві [2].

Адміністративним і виробничим осередком є село Андріївка, розташоване в північній частині території землекористування. Транспортне забезпечення здійснюється мережею автомобільних доріг, зокрема:

- автодорогою місцевого значення С 160437 Гончарівка – Андріївка – /Одеса – Монаші – /М-15// (із твердим покриттям);
- автодорогою С 160409 Карналіївка – Гончарівка;
- автодорогою Т 16-04 Одеса – Білгород-Дністровський – Монаші – /М-15/.

Внутрішньогосподарські дороги інтегровані в місцеву дорожню мережу, забезпечуючи належний рівень доступу до сільськогосподарських угідь,

виробничих об'єктів та структурних підрозділів підприємства. У контексті розвитку біоенергетичних агроекосистем у зрошуваних умовах півдня Одеської області важливим є аналіз транспортних витрат на перевезення кормів і органічних добрив. Оптимізація логістичних процесів сприятиме підвищенню ефективності та екологічної стійкості агровиробництва.

Гідромеліоративна інфраструктура господарства представлена зрошувальною системою, створеною у 1979 році як складового елементу Білгород-Дністровської зрошуваної системи. Ця система була спроектована для забезпечення стабільного водопостачання сільськогосподарських угідь півдня Одеської області з використанням вод річки Дністер (рис.2.9).



Рисунок 2.9 Розміщення агропідприємства «Андріївське» у структурі Білгород-Дністровської зрошувальної системи

У межах агропідприємства «Андріївське» передбачалося функціонування чотирьох польових зрошувальних ділянок сівозмін загальною площею 3189,8 га. Іригаційне забезпечення планувалося здійснювати за допомогою дощувальних машин типу «Фрегат», «Дніпро» та ДДА-100 МА. Станом на час проведення досліджень зрошувальна система не функціонувала через брак фінансування, фізичне зношення інфраструктури та потребу в модернізації іригаційного обладнання. За даними [15,16,17] встановлено, що більша частина внутрішньогосподарської мережі агропідприємства «Андріївське» знаходиться у стані, придатному для реконструкції з мінімальними капітальними вкладеннями. Наразі основною причиною невикористання площ під зрошенням є відсутність зрошувальної техніки (дощувальних машин), що унеможливлює подачу води до полів. Проте наявність вцілілої інфраструктури формує реальні передумови для перспективного відновлення зрошення. У цьому контексті господарство обґрунтовано обране як репрезентативний об'єкт для апробації розроблених у дисертаційній роботі моделей біоенергетичного аграрного виробництва.

За даними ТОВ «Іррігатор Україна» [18], яке у 2021 році здійснювало проєктування меліоративної системи, площа земель, придатних до відновлення зрошення за наявної конфігурації полів і мінімальної потреби у капітальних інвестиціях, становить 3030 га. Проект був призупинений через початок війни, розв'язаної росією. Найбільш ефективне використання меліорованих земель передбачалося шляхом впровадження комбінованої системи зрошення: дощувальні машини на площі 2430 га та краплинне зрошення на 600 га. За поливу дощувальними машинами планувалася така врожайність: кукурудзи — 10 т/га, сої — 4 т/га, соняшнику — 3,5 т/га. (рис.2.10). Очікувалося, що за краплинного зрошення врожайність становила: кукурудзи — 15 т/га, сої — 4,5 т/га, що на 50% та 12,5% відповідно вище порівняно з дощуванням.

Загальна вартість проекту зрошення становила 5,396 млн дол. США, з яких 1,98 млн дол. — дощувальні машини, 2,916 млн дол. — система краплинного зрошення та 0,5 млн дол. — інфраструктура. Планована середня

доходність з гектара зрошуваних земель — 580,9 дол./га, що забезпечувало окупність системи зрошення за 3 роки, а загального проекту — за 4 роки. Нарешті території господарства 2094 га, де зрошення не передбачалося (з урахуванням 345 га непридатних для поливу земель), пропонувалося зберегти чинну практику вирощування озимих зернових і соняшнику із середніми за останні роки показниками врожайності.



Рисунок 2.10 Проект комбінованої системи зрошення (дощування + краплинне зрошення) підприємства «Андріївське»

Аналіз структури посівних площ досліджуваного господарства демонструє чітку спеціалізацію на вирощуванні зернових та зернобобових культур. Загальна площа під зерновими і зернобобовими культурами становить 3822 га, що складає 73,5% від загальної площі посівів. [2,15]. Структурний розподіл зернових культур представлений наступним чином:

1. Озимі культури — 1719 га (33,1% від загальної площі посівів):
 - озима пшениця — 1103 га (21,2%)
 - озимий ячмінь — 616 га (11,8%)
2. Ярі культури — 2103 га (40,5% від загальної площі посівів):
 - ярий ячмінь — 851 га (16,4%)
 - зернобобові культури — 859 га (16,5%)
 - кукурудза на зерно — 214 га (4,1%)
3. Технічні культури — 279 га (5,4% від загальної площі посівів):
 - соняшник — 279 га (5,4%)
4. Кормові культури — 751 га (14,4% від загальної площі посівів):
 - кукурудза на силос — 150 га (2,9%)
 - однорічні трави — 258 га (5,0%)
 - багаторічні трави — 343 га (6,6%)

Представлена структура посівних площ відображає науково-виробничу спеціалізацію підприємства та адаптованість системи землеробства до агрокліматичних умов досліджуваної території.

На території ДП ДГ «Андріївське» розташовані господарські двори загальною площею 81,58 га. Вони формують виробничу базу для подальшого розвитку тваринницького та аграрного секторів підприємства.

Молочно-товарна ферма ВРХ розташована за 300 м на північ від села Андріївка. Її територія включає декілька будівель 4-рядних корівників, бичатник, конюшню, телятники, силососховище та допоміжні споруди. Наразі ферма не має огорожі, що може створювати певні організаційні труднощі. За умови модернізації інфраструктури та впровадження сучасних технологій

утримання ВРХ можлива оптимізація виробничих процесів та підвищення рентабельності молочного виробництва.

Свиноферма біля села Андріївка розташована в північній частині господарства, також за 300 м від населеного пункту. Територія огорожена бетонними плитами та включає п'ять будівель свинарників-маточників і свинарник для відгодівлі. Інфраструктура господарства дозволяє розширити виробничі потужності та впровадити технології сталого тваринництва.

Поруч із цими комплексами знаходиться зруйнований літній загін для ВРХ, який наразі не використовується. Відновлення цієї ділянки може створити умови для запровадження випасних систем утримання худоби, що сприятиме покращенню якості тваринницької продукції та зниженню витрат на корми.

Свиноферма біля села Розкішне, розташована в центральній частині господарства за 380 м від автодороги Білгород-Дністровський – Монаші, містить аналогічний комплекс будівель, але не має огорожі. Збережена інфраструктура дозволяє реалізувати програму відновлення виробництва та інтеграції сучасних підходів до ведення свинарства.

Поряд зі свинофермою на відстані 470 м на північ від села знаходиться зруйнований літній табір, який наразі не використовується. Його реконструкція може сприяти розвитку екологічно безпечних систем вирощування свиней, що відповідатимуть сучасним вимогам до тваринництва.

На даний момент матеріально-технічна база агропідприємства «Андріївське» частково відповідає основним виробничим завданням підприємства. Відповідно до звітних даних, на балансі господарства знаходяться зернозбиральні та спеціальні комбайні, трактори та інші самохідні машини, ґрунтообробна техніка (плуги, борони), посівна техніка (сівалки), кормозаготівельне обладнання (прес-підбирачі, жатки валкові), засоби для захисту рослин (обприскувачі).

З південного сходу від села Андріївка розташований тік, що містить всім будівель, тракторний парк, ремонтну майстерню, автогараж, складські приміщення та склад пально-мастильних матеріалів. Достатня площа та

наявність інфраструктури дозволяють адаптувати ці об'єкти для забезпечення потреб механізованого землеробства та логістики агропродукції.

На схід від села Андріївка, на відстані 1,5 км, знаходиться ділянка свинотоварної ферми, яка наразі не експлуатується. Враховуючи тенденції розвитку біоенергетичних агроекосистем, ця територія може бути використана для створення біогазових комплексів або виробництва органічних добрив.

У межах села Андріївка розташовані соціально-побутові об'єкти: гуртожиток, їdalня, будівельний двір та контора господарства. Їх модернізація сприятиме покращенню умов праці та підвищенню соціальної привабливості підприємства для кваліфікованих працівників.

Висновки до розділу 2

1. Грунти господарства представлені чорноземами звичайними малогумусними важкосуглинковими, які за агрохімічними та водно-фізичними властивостями є типовими для півдня Одеської області. Ці ґрунти займають близько 86 % сільськогосподарських угідь регіону, що забезпечує репрезентативність досліджень.

2. Продуктивність обстежених ґрунтів значною мірою залежить від рівня природного вологозабезпечення, який у регіоні є недостатнім. Агрометеорологічні умови 2021–2024 років, зокрема дефіцит опадів та високі температури впродовж вегетаційного періоду, засвідчили недостатність природної вологи для сталого сільськогосподарського виробництва, що обґруntовує необхідність застосування зрошення.

3. Інфраструктура ДП ДГ «Андріївське» має значний потенціал для подальшої модернізації та адаптації до сучасних умов ведення сільськогосподарського виробництва. Основними напрямами такого розвитку є інтеграція галузей рослинництва, тваринництва та локальних джерел енергії, впровадження ресурсозберігаючих технологій, відновлення зрошувальних систем, а також цифровізація управління агротехнологічними процесами.

4. Пріоритетними напрямами розвитку є: диверсифікація виробничої структури аграрного сектора та створення біоенергетичних потужностей із залученням інфраструктурних об'єктів, що не використовуються; відновлення зрошувальної інфраструктури за одночасної оптимізації режимів зрошення сільськогосподарських культур.

Список використаних джерел до розділу 2

1. Меліорація ґрунтів (систематика, перспективи, інновації): колективна монографія; за ред. С.А. Балюка, М.І. Ромашенка, Р.С. Трускавецького. Херсон: Грінь Д.С., 2015. 668 с.
2. Карта агровиробничих груп ґрунтів. Проект землеустрою, що забезпечує екологіко-економічне обґрунтування сівозміни та впорядкувань угідь ДП «ДГ «Андріївське» Білгород-Дністровського р-ну Одесської обл. ДП «Одеський інститут землеустрою». №2010.2061.6.3.2
3. Чорноземи масивів зрошення Одещини: монографія; за наук. ред. Є.Н. Красехи та Я.М. Біланчина. Одеса: Одеський національний університет імені І. І. Мечникова, 2016. 194 с.
4. Інтегроване управління водними і земельними ресурсами на меліорованих територіях: монографія. К.: Аграр. наука, 2016. 784 с.
5. ДСТУ ISO 10390:2007. Якість ґрунту. Визначення pH (ISO 10390:2005, IDT). – К.: Держспоживстандарт України, 2009. – 10 с. (Національні стандарти України).
6. ДСТУ 4289:2004. Якість ґрунту. Методи визначення органічної речовини. – [Чинний від 2005-07-01] Держспоживстандарт України, 2005. – 14 с. (Національні стандарти України).
7. ДСТУ 4114-2002. Ґрунти. Визначення рухомих сполук фосфору і калію за модифікованим методом Мачигіна. К.: Держспоживстандарт України, (Національні стандарти України).

8. ДСТУ 7863:2015. Якість ґрунту. Визначення легкогідролізного азоту методом Корнфілда. К.: Держспоживстандарт України, 2016. (Національні стандарти України).

9. ДСТУ 7861:2015. Якість ґрунту. Визначення обмінних кальцію, магнію, натрію і калію в ґрунті за Шолленбергом в модифікації ННЦ ІГА ім. О. Н. Соколовського. – [Чинний від 2016-07-01] – К.: Держспоживстандарт України, 2016. – 10 с. (Національні стандарти України).

10. ДСТУ 8346:2015. Якість ґрунту. Методи визначення питомої електропровідності, pH і щільного залишку водної витяжки. – [Чинний від 2015-08-21] – К.: Держспоживстандарт України, 2015. (Національні стандарти України).

11. ДСТУ ISO 10693:2001. Якість ґрунту. Визначення вмісту карбонатів. Об'ємний метод. К.: Держспоживстандарт України, 2001. (Національні стандарти України).

12. ДСТУ ISO 11272:2001. Якість ґрунту. Визначення щільності складення на суху масу: (ISO 11272:1998, IDT). – [Чинний від 2003.07.01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2008. – 12 с. (Національні стандарти України).

13. ДСТУ 4362:2004. Якість ґрунту. Показники родючості ґрунтів. – [Чинний від 2006-01-01] – К.: Держспоживстандарт України, 2005. (Національні стандарти України).

14. Відкриті дані земельного кадастру України [Електронний ресурс] URL: <https://kadastr.live/#11.35/46.1769/30.0907> (дата звернення: 11.02.2025).

15. Тарапіко Ю.О., Сорока Ю.В., Сайдак Р.В., Книш В.В. Звіт. Оцінка агроресурсного потенціалу та розробка рекомендацій щодо підвищення ефективності виробничої діяльності державного підприємства. 2022.

16. Моніторинг земельних відносин в Україні: 2016–2017 : статист. щорічник [Електронний ресурс]. – К. : 2018. – 168 с. – Режим доступу: <https://land.gov.ua/wp-content/uploads/2018/10/monitoring.pdf> Дата звернення: 20.11.2024

17. Зелена книга. Зрошення та дренаж. / Грузинська І. І. та ін. Київ, Липень-2020. 127 с. [Електронний ресурс] / Режим доступу: <https://brdo.com.ua/wp-content/uploads/2024/06/11-ZK-Zroshennya-i-drenazh.pdf> Дата звернення: 20.11.2024

18. Бізнес-план використання земель ДП ДГ «Андріївське», Білгород-Дністровський район, Одеська область. ТОВ «Іррігатор Україна». 2021 р. – 16 с.

РОЗДІЛ 3 ОЦІНКА СУЧАСНИХ КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН В РЕГІОНІ ДОСЛІДЖЕНЬ

Глобальні кліматичні зміни у напрямку потепління є доведеним фактом і об'єктивною реальністю, що вже неможливо ігнорувати. Ці зміни суттєво впливають і на територію України, де темпи потепління в останні роки перевищують середньосвітові й європейські показники.

Одним із ключових наслідків зміни клімату є трансформація гідрологічного режиму, зменшення кількості доступних водних ресурсів, а також погіршення їхньої якості. Це, у свою чергу, знижує рівень водозабезпечення багатьох галузей економіки, насамперед — аграрного сектору. За таких умов дефіцит вологи стає одним із головних лімітуючих чинників сталого розвитку сільськогосподарського виробництва.

3.1 Зміни температурного режиму

Особливої актуальності меліорація набуває в умовах сучасних кліматичних трансформацій. За останні 30 років середньорічна температура в Україні зросла на $1,2^{\circ}\text{C}$, що супроводжується збільшенням посушливості клімату та зниженням вологозабезпеченості сільськогосподарських культур [1].

Зростання температур, збільшення тривалості посушливих періодів та зменшення запасів продуктивної вологи в ґрунті свідчать про посилення кліматичних ризиків для агропромислового виробництва, особливо в південних регіонах України. В Одеській області, яка є однією з найвразливіших до змін клімату, ці тенденції зумовлюють необхідність удосконалення систем водозабезпечення, раціонального використання зрошуваних земель та впровадження адаптивних технологій. Одним з перспективних напрямів є формування біоенергетичних агроекосистем у поєднанні з ефективною меліорацією, що дозволяє підвищити стійкість аграрного виробництва та оптимізувати використання агроресурсного потенціалу регіону.

Агрокліматична забезпеченість території дослідження аналізувалась на основі метеорологічних даних по метеостанції Одеса за період 1961–2024 років [2]. Клімат півдня Одеської області характеризується високим рівнем теплових ресурсів у поєднанні з нестабільним і недостатнім зволоженням, що формує специфічні умови для сільськогосподарського виробництва.

За період 1991–2024 років середньорічна температура повітря становила 10,9 °C і демонструє чітку тенденцію до зростання, що особливо проявляється з другої половини 1980-х років. Протягом останнього десятиліття температури залишалися на рівні або вище 12 °C, за винятком 2021 року, коли було зафіковано незначне зниження (рис. 3.1).

Така динаміка свідчить про посилення кліматичного навантаження на агроекосистеми та актуалізує потребу в адаптивних стратегіях господарювання, зокрема впровадженні біоенергетичних агроекосистем, здатних ефективно функціонувати в умовах підвищеної температури та дефіциту вологи.

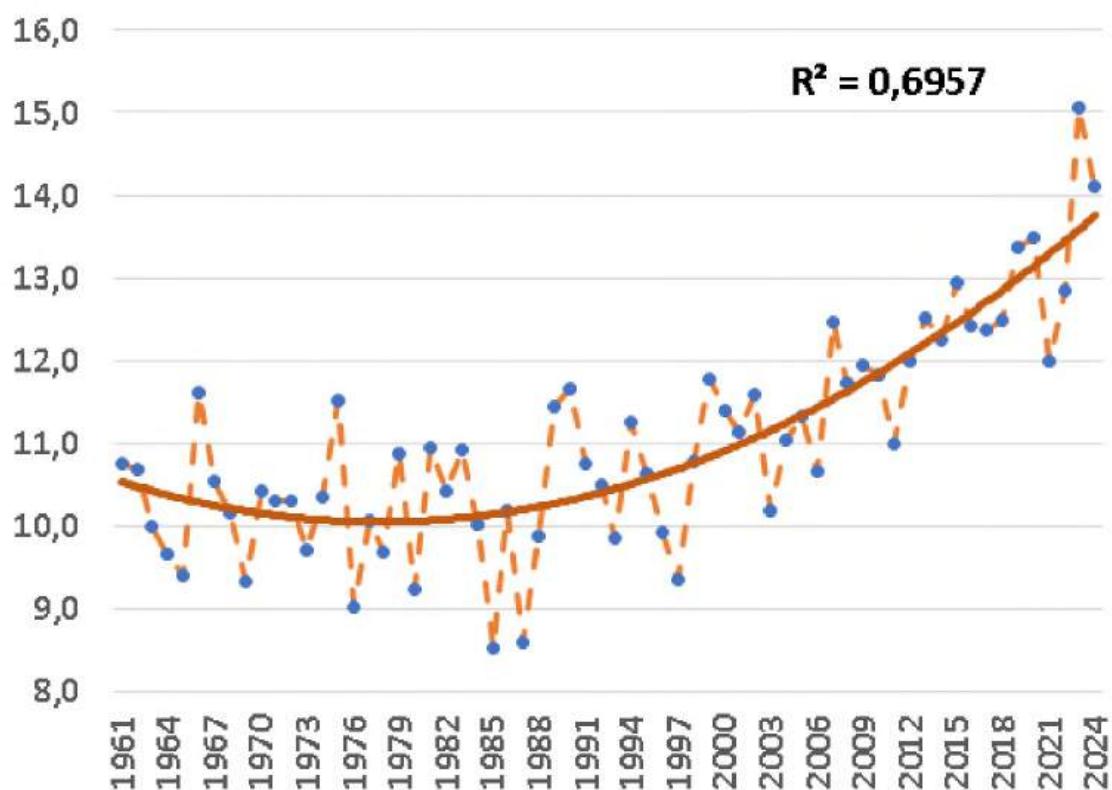


Рисунок 3.1 Динаміка середньорічної температури повітря за 1961-2024 гідр.рр., °C

Починаючи з 1987 року спостерігається стійка тенденція до підвищення середньорічної температури повітря із середньою швидкістю зростання $0,85^{\circ}\text{C}$ за десятиліття. Для порівняння, у глобальному масштабі цей показник становить $0,18^{\circ}\text{C}/10$ років, а в північній півкулі — $0,31^{\circ}\text{C}/10$ років [3].

У таблиці 3.1 представлено середньомісячні та середньорічні температури повітря за три часові інтервали: кліматичну норму 1961–1990 рр., період інтенсивного потепління 1991–2020 рр., а також роки проведення дисертаційного дослідження — 2021–2024 рр.

Таблиця 3.1 – Мінливість середньомісячної температури повітря
за 1961-2024 рр., $^{\circ}\text{C}$

Роки	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Рік
1961-1990	-2,5	-1,2	3,0	10,4	16,2	20,0	21,9	21,4	16,9	10,8	5,1	0,5	10,2
1991-2020	-0,8	0,6	4,9	10,9	16,9	21,2	23,6	23,3	18,0	11,9	6,2	1,3	11,5
2021-2024	4,0	3,1	5,4	10,2	15,4	21,7	24,1	24,8	20,8	15,7	10,7	6,2	13,5
1991-2020 до 1961-1990	1,7	1,8	2,0	0,5	0,7	1,2	1,8	2,0	1,1	1,1	1,0	0,8	1,3

У 1991–2020 рр. середньорічна температура повітря зросла на $1,3^{\circ}\text{C}$ порівняно з базовим кліматичним періодом 1961–1990 рр. і досягла $11,5^{\circ}\text{C}$. У 2021–2024 рр. цей показник становив $13,5^{\circ}\text{C}$, що на $2,0^{\circ}\text{C}$ вище від кліматичної норми. Найбільш інтенсивне зростання температури зафіксовано в зимово-весняний (січень–березень) та літній (червень–серпень) періоди — до $+2,0^{\circ}\text{C}$. (додаток А).

Отримані результати засвідчують інтенсивне підвищення температурного режиму в регіоні досліджень, темпи якого суттєво перевищують глобальні та континентальні (європейські) показники. Це свідчить про посилення локального впливу кліматичних змін, що зумовлює трансформацію агрокліматичних умов південного регіону України, підвищення кліматичних

ризиків і потребу в адаптації сільськогосподарського виробництва до нових гідротермічних умов.

3.2 Оцінка вологозабезпечення агроекосистем за динамікою опадів та індексом SPI

Обмеження ефективного використання теплових ресурсів регіону зумовлене недостатньою вологозабезпеченістю. Середньорічна кількість опадів за період 1991–2020 рр. становила 495 мм, що практично відповідає кліматичній нормі 1961-1990 рр. (табл. 3.2).

Найбільш виражене зменшення кількості опадів відмічалося в грудні, лютому, квітні та липні, тоді як у жовтні спостерігалося їх збільшення на 38%.

Таблиця 3.2 – Зміни місячних сум опадів за 1961-1990 та 1991-2021 рр., мм

Роки	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Рік
1961-1990	46	40	30	37	45	61	57	42	39	27	39	46	509
1991-2020	42	35	31	31	44	65	50	43	39	37	38	38	495
2021-2024	53	16	44	65	36	60	57	31	47	17	61	53	539
1991-2020 до 1961-1990, %	-8	-13	4	-16	-1	7	-12	3	-1	38	-3	-17	-3

Загалом, в осінньо-зимовий період відмічається незначна тенденція до збільшення сумарної кількості опадів, у весняний період – їх кількість практично не зменшується, а у літній спостерігається тенденція до зменшення (додаток Б). Аналіз багаторічних спостережень за кількістю опадів свідчить про відсутність суттєвих змін загальної динаміки впродовж 1961–2024 рр. Незважаючи на певне збільшення сумарної кількості опадів у період 2021–2024 рр., яке може розглядатися як короткотривале кліматичне відхилення, загальна тенденція залишається відносно стабільною та не демонструє вираженого тренду до зростання чи зменшення. Це підтверджує сталість

гідрокліматичних умов регіону в довгостроковій перспективі та дає підстави для об'єктивної оцінки ризиків, пов'язаних із водозабезпеченням сільськогосподарського виробництва (рис. 3.2)

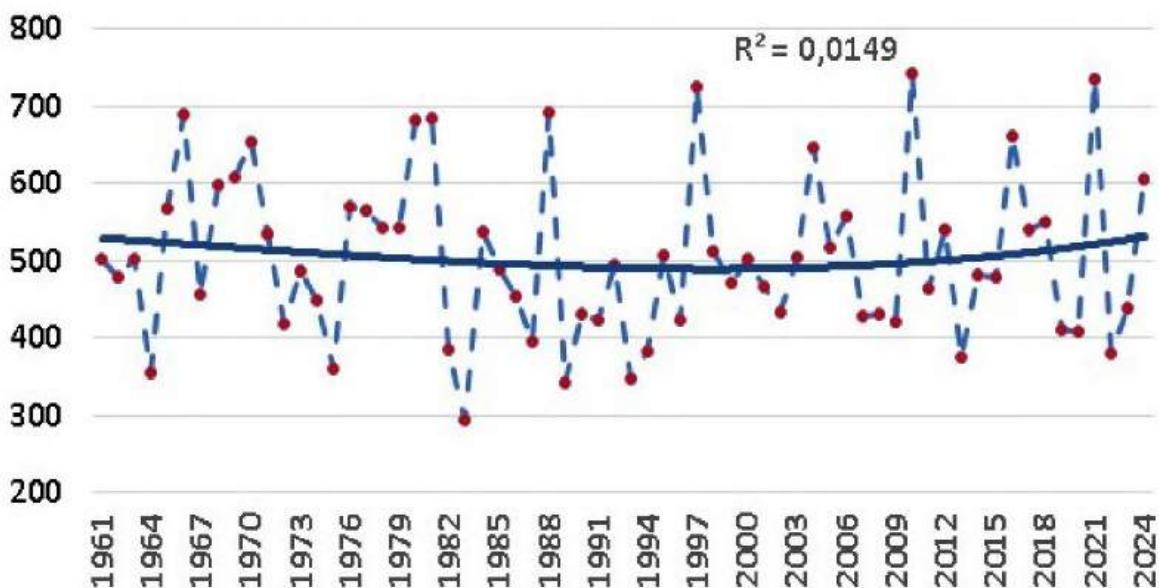


Рисунок 3.2. Динаміка річних сум опадів за 1961-2024 рр., мм

Побудований тренд свідчить про відсутність суттєво вираженої динаміки до збільшення або зменшення річної кількості опадів у регіоні (коєфіцієнт детермінації ($R^2=0,0149$).

Узагальнені дані [5] свідчать, що забезпечення стабільного та високопродуктивного сільськогосподарського виробництва в Україні можливе за умови середньорічної кількості опадів не менше 600 мм. Проте за 1961-2024 рр. така кількість опадів у досліджуваному регіоні спостерігалася лише в 13 випадках, що відповідає ймовірності близько 20%. Водночас, у контексті сучасних кліматичних змін, що супроводжуються стійким підвищеннем температурного режиму [6], інтенсивність випаровування зростає, що, своєю чергою, підвищує потребу у волозі.

Одним із широко застосовуваних у світовій практиці та рекомендованих Всесвітньою метеорологічною організацією (ВМО) показників для оцінки опадів і посушливості є стандартизований індекс опадів (SPI). У 2009 році ВМО рекомендувала SPI як основний метеорологічний індекс посухи, який країни

мають використовувати для моніторингу та відстеження умов посухи [7]. Визначивши SPI як індекс для широкого застосування, ВМО окреслила напрям для країн, що прагнуть створити систему раннього попередження про посуху.

Даний індекс розраховується на основі довготривалих метеорологічних спостережень за кількістю опадів із застосуванням різних часових інтервалів інтеграції — 1, 3, 6 та 12 місяців [8]. Вибір цих часових інтервалів є довільним, проте вони є типовими для аналізу дефіциту опадів.

Аналіз результатів розрахунків одномісячного індексу SPI за два порівнювані часові періоди (табл. 3.3) дає підстави стверджувати про незначне зменшення частоти появи сильних і екстремальних посушливих явищ у зимово-весняний період, зокрема в січні, лютому та березні, а також у червні. Це може свідчити про певне пом'якшення кліматичних ризиків у вказані місяці. Водночас у квітні, липні та низці інших місяців, навпаки, простежується тенденція до збільшення частоти виникнення посух високої інтенсивності, що може ускладнювати умови для вирощування сільськогосподарських культур у ці періоди. Такі зміни в режимі вологозабезпечення є важливими для врахування при плануванні адаптивних заходів в агроекосистемах південного регіону.

Таблиця 3.3 – Кількість випадків сильної та екстремальної посухи за одномісячним SPI (-1,99 – -1,50 та $\leq -2,00$) у періоди 1961–1990 та 1991–2021 pp.

Роки	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Рік
1961-2021	6	5	6	3	5	5	5	6	3	6	3	5	5
1961-1990	2	2	2	2	3	3	0	3	2	0	1	2	0
1991-2021	4	3	4	1	2	2	5	3	1	6	2	3	5
± до 1961-1990 pp	2	1	2	-1	-1	-1	5	0	-1	6	1	1	5

Аналіз річних значень SPI демонструє, що в період 1961–1990 pp. сильні та екстремальні посухи протягом усього року не фіксувалися, тоді як у 1991–2021 pp. вони спостерігалися у п'яти випадках (рис. 3.3).



Рисунок 3.3 – Річна динаміка SPI за 1961-2021 гідр. Роки

Аналіз динаміки стандартизованого індексу опадів (SPI) в розрізі окремих календарних місяців року свідчить про його зниження у більшості випадків для весняно-літнього періоду та стійке збільшення у жовтні (рис. 3.4).

Кількісний аналіз взаємозв'язку між стандартизованим індексом опадів (SPI) та продуктивністю зернових і зернобобових культур демонструє статистично значущу високу кореляцію. Результати дослідження для Білгород-Дністровського району за період 2017–2021 рр., свідчать про сильний позитивний зв'язок між річними значеннями SPI та врожайністю зазначених культур (кофіцієнт кореляції $r = 0,92$). Встановлена залежність описується лінійною регресійною моделлю (поліном першого порядку), яка забезпечує високу точність апроксимації емпіричних даних із кофіцієнтом детермінації $R^2 = 0,85$. Це свідчить, що 85 % варіації врожайності пояснюється змінами SPI, підкреслюючи визначальну роль вологозабезпечення у формуванні продуктивності багарних агроценозів. Отимані результати підтверджують високу чутливість зернового виробництва до гідрометеорологічних чинників і засвідчують доцільність використання SPI як надійного предиктора врожайності в умовах помірно континентального клімату Північно-Західного Причорномор'я. (рис. 3.5).

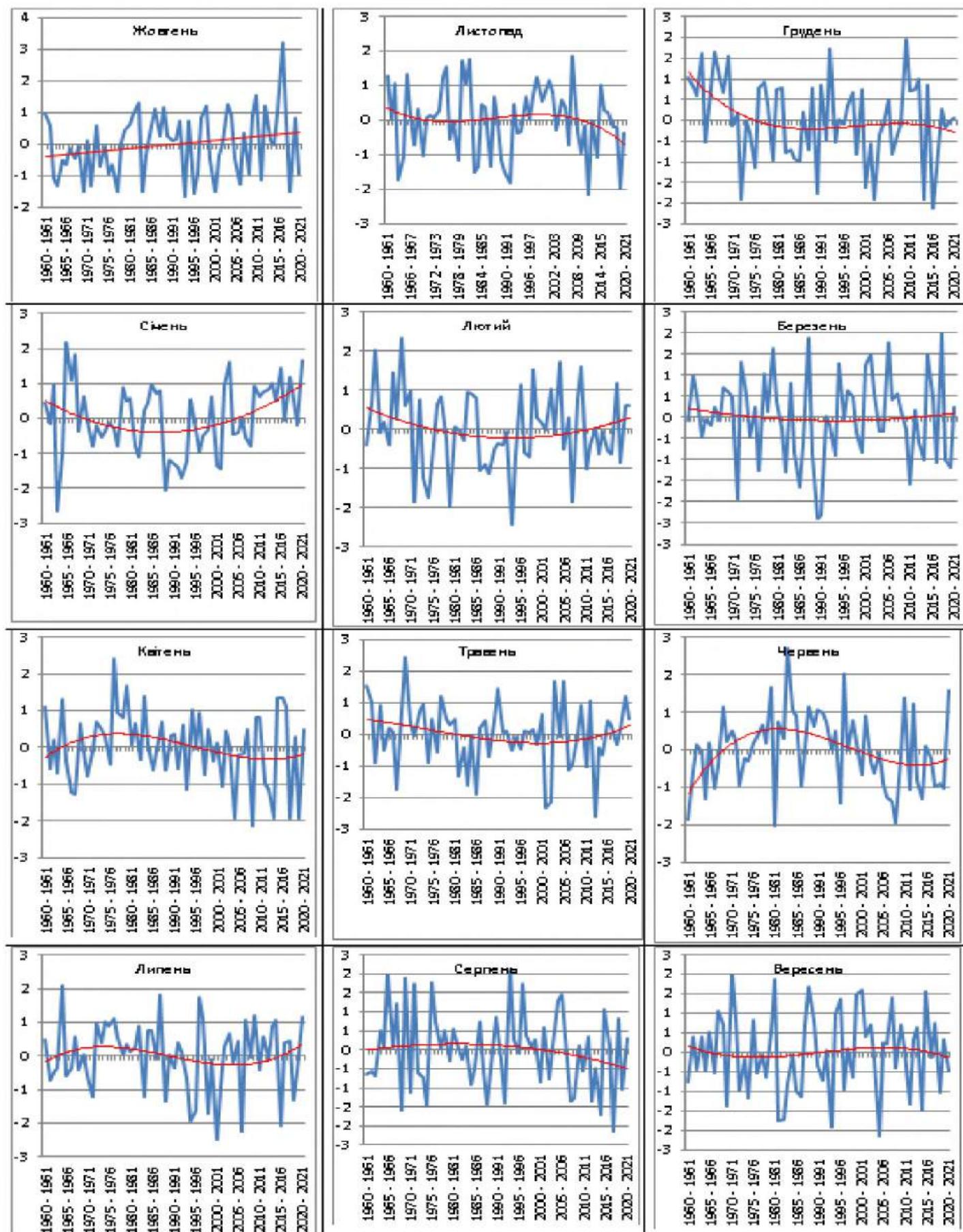


Рисунок 3.4 – Одномісячна динаміка SPI за 1961-2021 гідр. роки

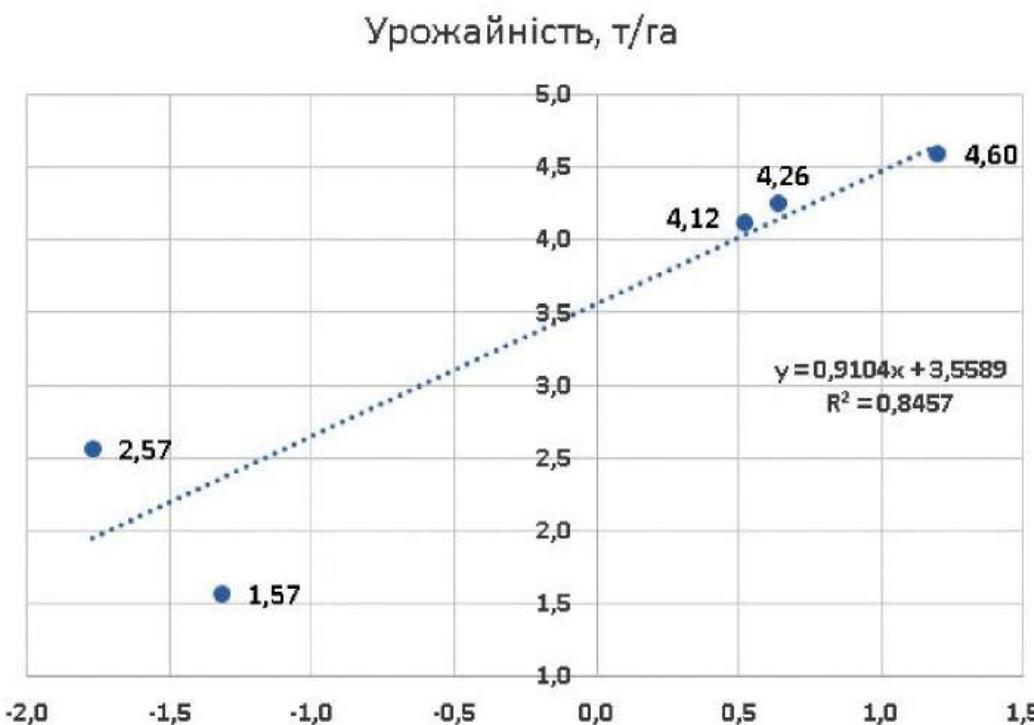


Рисунок 3.5 – Взаємозв'язок врожайності зернових і зернобобових культур із річним значенням SPI

Узагальнена щомісячна оцінка умов зволоження за показником SPI свідчить про суттєве зменшення частоти випадків із екстремально вологими умовами (на 63%) та зростання випадків із екстремальною посухою у 2,5 рази (табл. 3.4, рис. 3.6).

Таблиця 3.4 – Частота виникнення посух протягом гідрологічного року за одномісячним SPI

Роки		Умови зволоження			
		екстремально вологі	дуже вологі	сильна посуха	екстремальна посуха
		$\geq 2,00$	$1,50 - 1,99$	$-1,99 - -1,50$	$\leq -2,00$
1961-2021		11	39	42	18
1961-1990		8	20	18	4
1991-2021		3	19	24	14
+ до 1961-1990 pp	вип.	-5	-1	6	10
	%	-63	-5	33	250

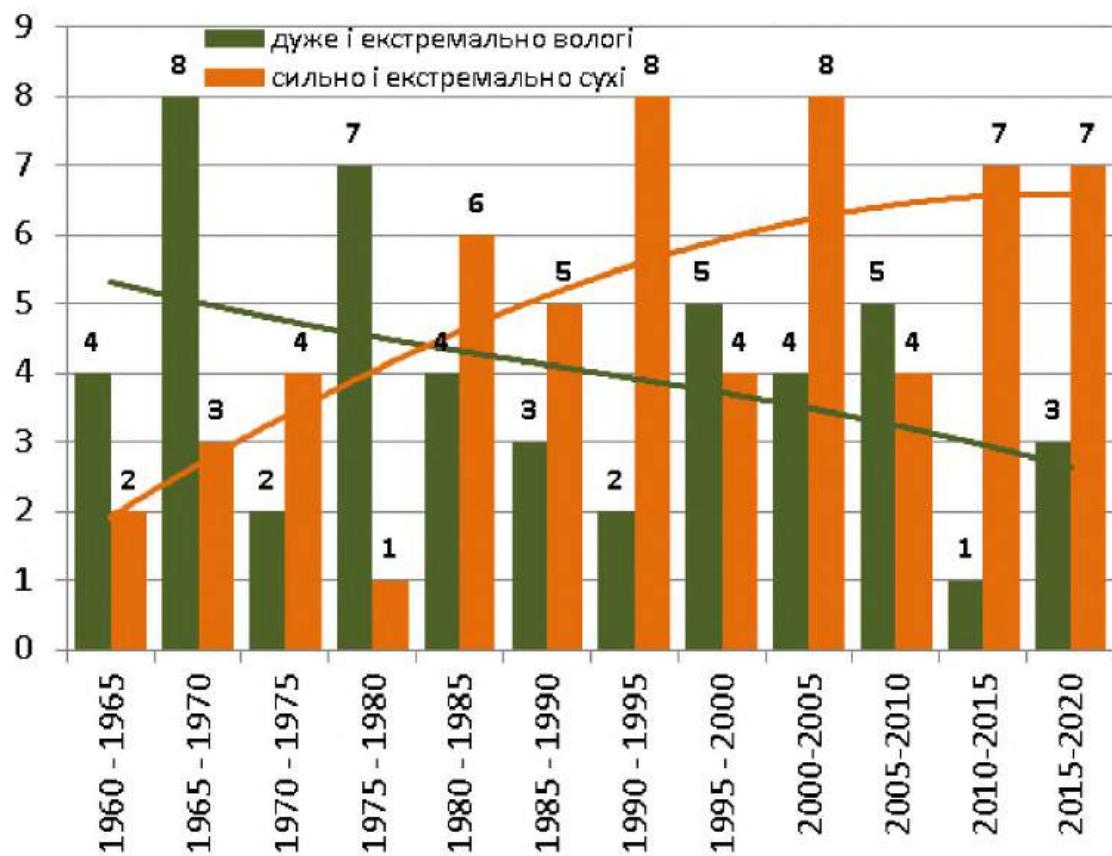


Рисунок 3.6 – Динаміка випадків із дуже вологими та екстремальними умовами зволоження протягом 1961–2021 гідрологічних років

Попри те, що річні значення SPI демонструють високий рівень кореляції з продуктивністю рослин, їхні місячні значення не повною мірою відображають умови зволоження. Наприклад, сильна посуха ($SPI < -1,5$) розпочинається у травні та липні за сумарної кількості опадів 10 мм і менше, тоді як у червні – за 20 мм і менше (рис. 3.7).

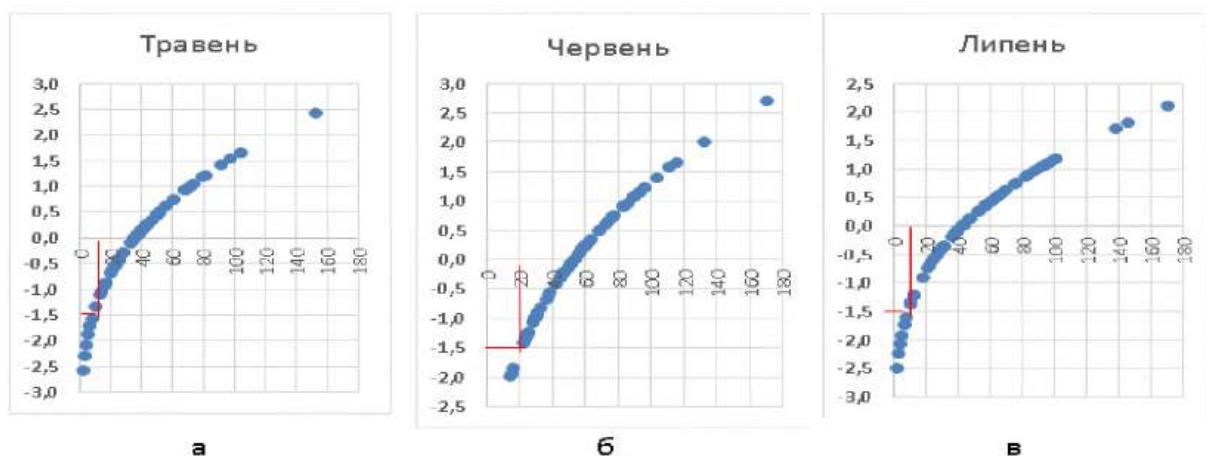


Рисунок 3.7 – Взаємозв’язок значення SPI із сумарною кількістю опадів у травні (а), червні (б) та липні (в)

Водночас середньомісячна температура повітря у травні, червні та липні становить 16,5, 20,6 та 22,8°C відповідно. Це свідчить про те, що в травні та липні, за різниці температур понад 6°C, сильна посуха розпочинається за сумарної кількості опадів менше 10 мм, що не відповідає реальним умовам вологозабезпечення. Отже, індекс SPI доцільно застосовувати лише для оцінки зволоження в межах одного регіону, оскільки його абсолютні значення відображають локальні особливості опадового режиму. Для обґрунтування потреби в поливі доцільніше використовувати комплексні гідротермічні показники.

3.3 Оцінка гідротермічних умов

Одним із широко застосовуваних показників оцінки зволоження, що враховує як кількість опадів, так і температурний режим, є гідротермічний коефіцієнт Селянінова (ГТК) [9]. Він є інтегральним показником, що характеризує баланс вологи в агроекосистемах, розраховуючись як відношення суми атмосферних опадів до суми середньодобових температур за певний період:

$$\text{ГТК} = \frac{\sum P}{0.1 \sum T} \quad (3.1)$$

де $\sum P$ - сума опадів (мм) за аналізований період, $\sum T$ - сума середньодобових температур повітря (°C) за той самий період. ГТК широко використовується для визначення рівня вологозабезпечення території, аналізу кліматичних змін, оцінки ризиків посух та обґрунтування агротехнологічних рішень. Значення ГТК менше 0,5 свідчить про посушливі умови, 0,5–1,0 — про недостатнє зволоження, а понад 1,0 — про достатнє або надмірне зволоження. ГТК Селянінова розрахований для квітня-вересня, демонструє стійку тенденцію до зниження, починаючи з 1980-х років ХХ століття (рис. 3.8).

ГТК квітень - вересень

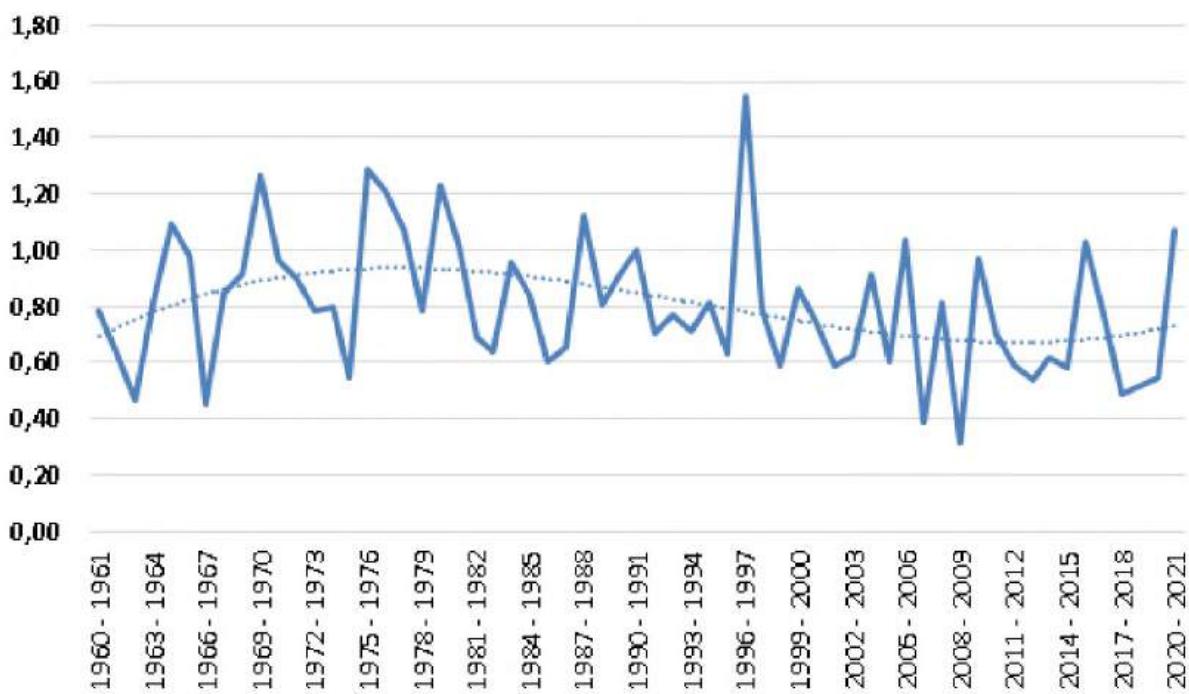


Рисунок 3.8 – Тенденція зміни гідротермічного коефіцієнта (ГТК) для періоду квітень-вересень за 1961-2021 роки.

Зокрема, середнє значення ГТК у 1961–1990 рр. становило 0,87, тоді як у 1991–2021 рр. воно знизилося до 0,74, що відповідає зменшенню на 15%. При цьому сумарна кількість опадів за аналогічний період зменшилася лише на 3%, що свідчить про зростаючий вплив температурного чинника на водний баланс регіону.

Незважаючи на значну кореляцію між величинами SPI і ГТК за період квітень-вересень, їх значення можуть суттєво відрізнятися (рис. 3.9), що впливає на точність оцінки частоти та інтенсивності посух. За шкалою інтенсивності посух сильна посуха характеризується значеннями SPI від -1,5 до -1,99 або ГТК в межах від 0,41 до 0,70, тоді як дуже сильна посуха визначається при значеннях SPI ≤ -2 та ГТК $\leq 0,40$ відповідно (табл. 3.5).

Оцінка рівня засушливості за показником ГТК виконується за такими категоріями: дуже сильна (екстремальна) посуха ($\text{ГТК} \leq 0,40$); сильна посуха ($\text{ГТК} = 0,41\text{--}0,7$); середня посуха ($\text{ГТК} = 0,71\text{--}1$); слабка посуха ($\text{ГТК} = 1,01\text{--}1,2$); достатнє зволоження ($\text{ГТК} = 1,21\text{--}1,8$); волога ($\text{ГТК} \geq 1,81$).

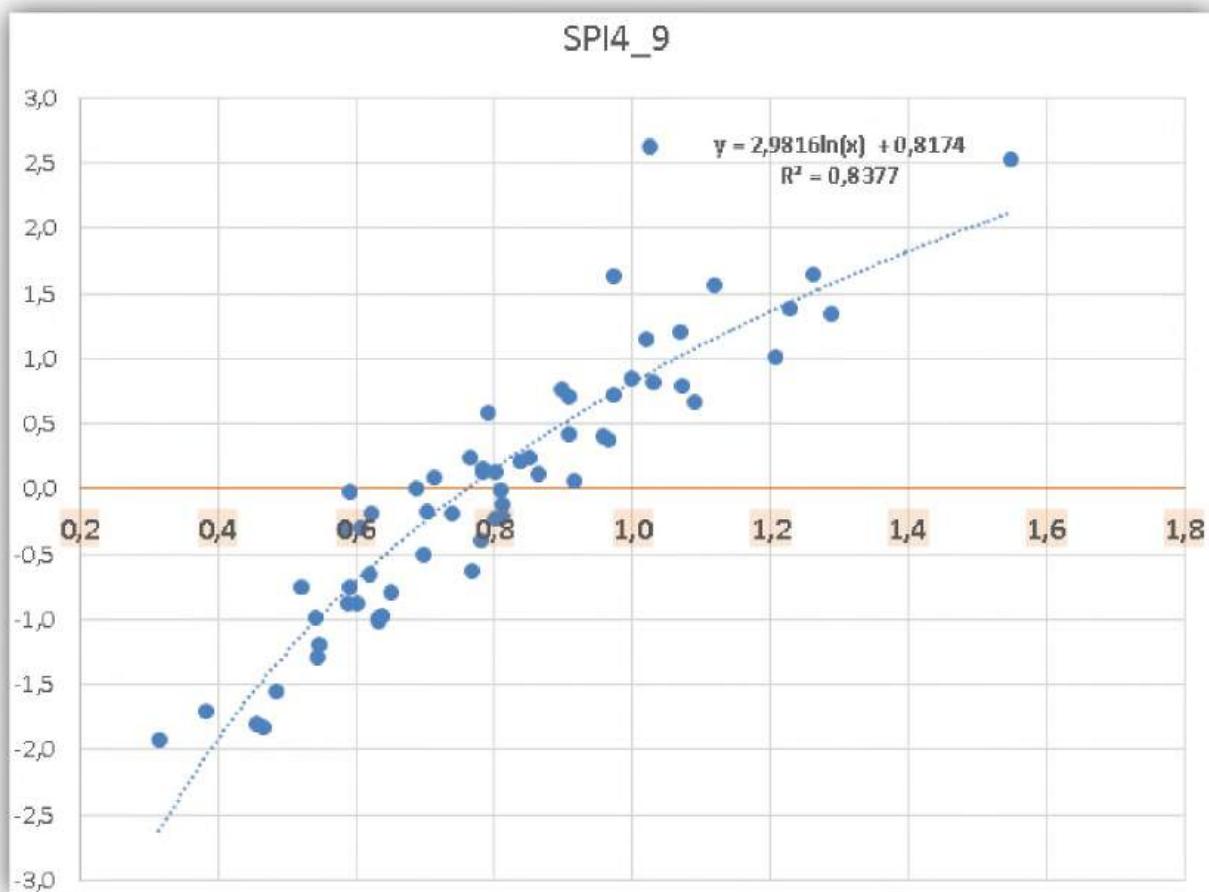


Рисунок 3.9 – Залежність SPI від ГТК за період квітень-вересень

Таблиця 3.5 – Оцінка інтенсивності посух за шкалами SPI та ГТК

Індекс	Категорії посух за інтенсивністю				
	Дуже сильна/екстремальна	Сильна	Середня/помірна	Слабка/мяка	Посуха відсутня
ГТК	менше 0,4	0,41-0,70	0,71-1,00	1,01-1,20	Більше 1,2
SPI	-2 і менше	-1,5-1,99	-1,0-1,49	-0,99-0,01	Більше 0
Повторення, випадків/%					
ГТК	2/3%	22/36%	25/41%	7/11%	5/9%
SPI	2/3%	2/3%	4/6%	22/36%	31/51%

Аналіз таблиці 3.5 свідчить, що дуже сильна (екстремальна) посуха за період квітень-вересень за 1961-2021 роки спостерігалась у двох випадках (2007 і 2009 роках) як за SPI, так і за ГТК. Сильна посуха, згідно з SPI, мала місце лише двічі, тоді як за показником ГТК, який враховує не лише кількість опадів, а й температурний режим, її частота склала 22 випадки, що становить 36%.

Достатнє зволоження (відсутність посухи) спостерігалось у 9% випадків за ГТК (приблизно один раз на десять років) і у 51% випадків за SPI (п'ять разів на десять років). Це підтверджує, що оцінка умов зволоження, враховуючи лише один показник — опади, не дає повного уявлення про потребу в додатковому зволоженні.

Слабкою стороною індексу SPI є те, що він не враховує компонент водного балансу ґрунту та не дає змоги оцінити співвідношення фактичної й потенційної евапотранспирації. Тому для дослідження часових змін посушливості під впливом кліматичних змін доцільніше застосовувати індекси, які враховують температурну складову, зокрема стандартизований індекс опадів та евапотранспирації (SPEI,) [11-12]. SPEI дає можливість оцінити водний дефіцит, що визначається як різниця між опадами та потенційною евапотранспирацією.

У процесі виконання досліджень встановлено, що ГТК виявляє більшу кількість випадків сильних і помірних посух, ніж SPI. Обидва індекси однаково фіксують кількість випадків екстремальної посухи, проте посухи, визначені за ГТК, загалом є більш серйозними, оскільки припадають на період вегетації. Отримані результати узгоджуються з висновками роботи [13] щодо ефективності використання SPI та SPEI, які, подібно до ГТК, враховують температурну складову кліматичних умов.

3.4. Аналіз кліматичного водного балансу та його впливу на вологозабезпечення агроекосистем

Режим вологозабезпечення території та сільськогосподарських культур визначається не лише кількістю атмосферних опадів, а й особливостями їхнього використання, зокрема витратами на випаровування та транспірацію.

Потенційна евапотранспирація (PET) розрахована методом Hargreaves. Цей метод заснований на температурі повітря і використовується як репрезентативний вираз для потенційної евапотранспирації [14,15,16].

Формула для розрахунку PET включає середню температуру, максимальну та мінімальну температури повітря, а також середнє позаземне випромінювання:

$$\text{PET} = 0.0022 R_a (T_{\text{mean}} + 17.8) \text{TR}^{0.50}, \quad (3.2)$$

де R_a – середнє позаземне випромінювання (мм/день), яке є функцією широти;

T_{mean} – середня температура ($^{\circ}\text{C}$);

$\text{TR} = T_{\text{max}} - T_{\text{min}}$; де T_{max} є середньодобовим максимумом температура, а T_{min} – середньодобова мінімальна температура.

Цей метод відрізняється простотою, надійністю та невеликими вимогами до даних, що робить його зручним для обчислень. Хоча моделі, засновані на температурі, є емпіричними і не враховують усі фізичні процеси, вони все ж забезпечують достовірні оцінки місячних і річних показників PET.

Аналіз результатів розрахунків сумарних річних значень PET за 1961-2024 рр. свідчить про наявність чіткої тенденції до її зростання (рис. 3.10).

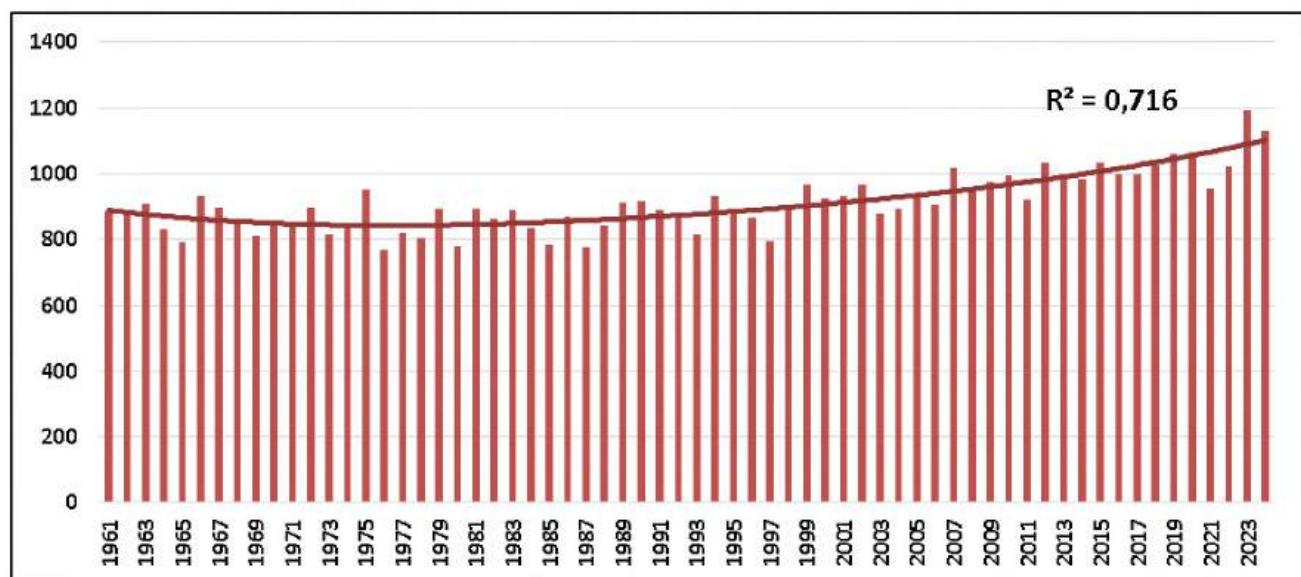


Рисунок 3.10 – Динаміка сумарної річної потенційної евапотранспірації 1991-2024 pp. (мм)

Так, за період 1991–2020 pp. річна потенційна евапотранспірація збільшилась на 93 мм або на 11%. Тоді як у роки проведення досліджень її

середнє значення становило 1074 мм, що на 127 мм більше, ніж у 1991–2020 роках (табл. 3.6).

Найбільш інтенсивне збільшення РЕТ на 11-18 мм відмічається впродовж літніх місяців. (додаток В).

Таблиця 3.6 – Потенційна евапотранспірація за 1961-2024 рр., мм

Роки	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	за рік
1961-1990	10	18	40	85	119	142	143	131	92	46	16	12	854
1991-2020	14	23	48	88	124	153	159	148	101	53	21	15	947
2021-2024	30	31	50	84	113	156	164	162	125	80	46	34	1074
1991-2020													
до 1961-1990	4	5	8	3	5	11	16	18	8	7	5	3	93

З огляду на вплив змін клімату на вологозабезпечення ґрунтів, найважливішим фактором є зміна співвідношення опадів до випарування. Одним із показників, що відображає вплив цих двох факторів, є кліматичний водний баланс (КВБ), який визначається як різниця між сумою опадів і втратами води в процесі випарування [17]:

$$\text{КВБ} = \Sigma R - \Sigma E_p \quad (3.3)$$

де ΣR — сума опадів за рік (мм);

ΣE_p — потенційне випарування за рік (мм).

Кліматичний водний баланс є ефективним інструментом для характеристики гідрокліматичних умов, оскільки дозволяє описувати їх через опади та потенційну евапотранспірацію.

Аналіз динаміки сумарного за рік КВБ свідчить про те, що починаючи з початку 80-х років минулого сторіччя він має стійку тенденцію до зниження. Станом на 2013-2024 рр. дефіцит КВБ в регіоні перевищус 500 мм, а в 2023 р. сягав 756 мм (рис. 3.11).

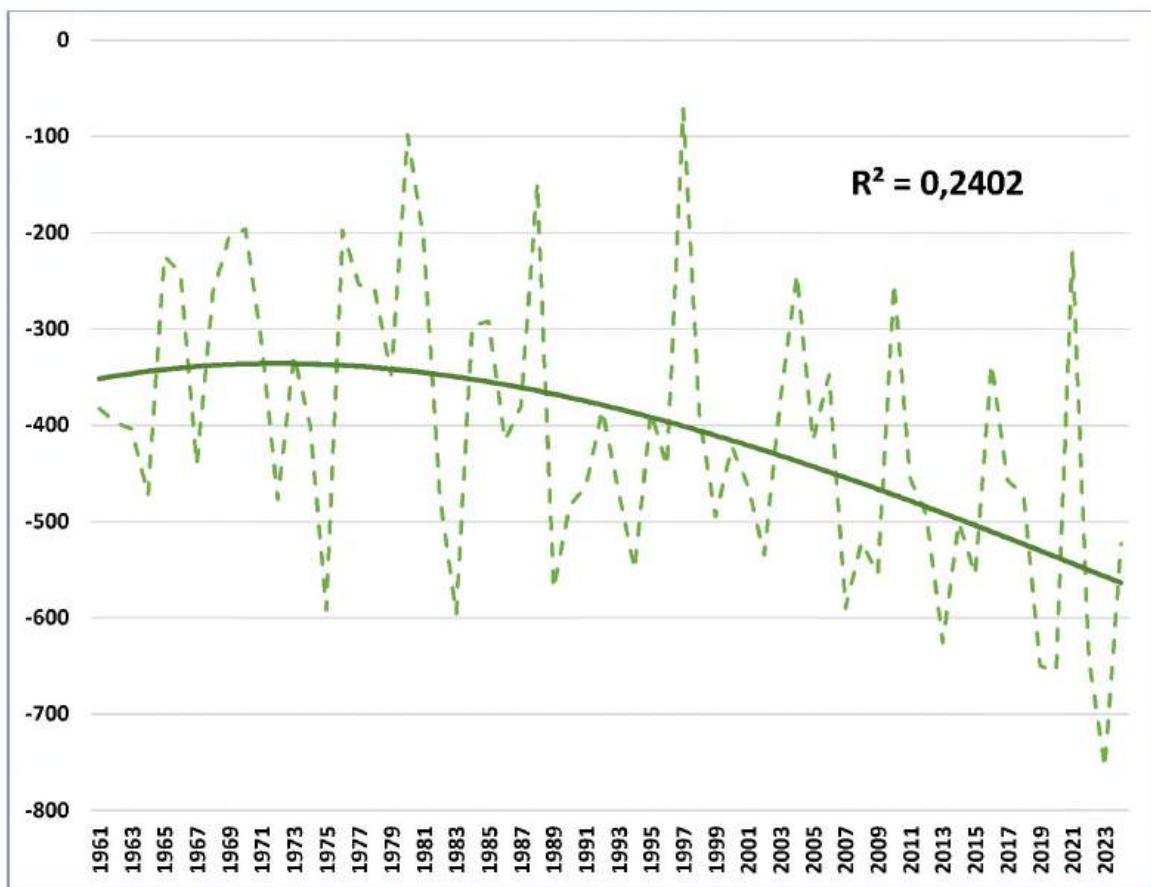


Рисунок 3.11 – Динаміка річного КВБ за 1961-2024 рр., мм

Оцінка зміни КВБ в розрізі окремих місяців року свідчить про те, що в липні та серпні відмічається найбільше зниження цього показника (рис. 3.12, додаток Г).

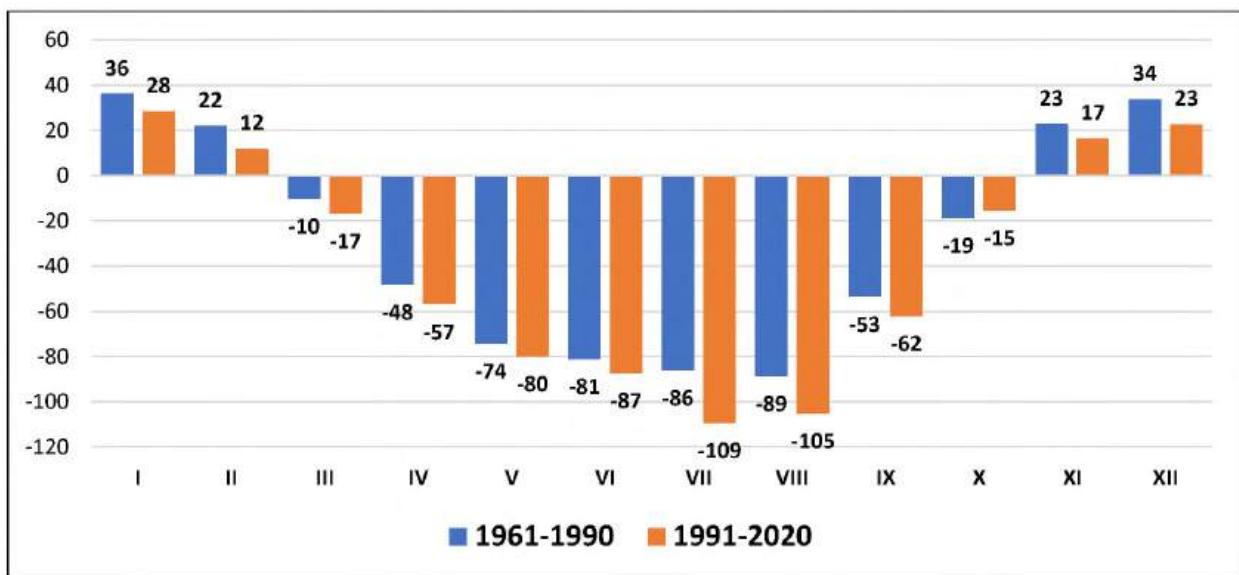


Рисунок 3.12 – Значення кліматичного водного балансу в розрізі календарних місяців, мм

Наростаючий підсумок позитивного коефіцієнта водного балансу (КВБ) з початку року в середньому за період 1991–2020 рр. фіксується до кінця березня, тоді як у попередньому періоді 1961–1990 рр. цей показник залишався бездефіцитним до кінця квітня (табл. 3.7). Така зміна свідчить про зсув у сезонності водного режиму регіону, що може впливати на строк формування вологозабезпечення агроекосистем.

Таблиця 3.7 – Зміни кліматичного водного балансу наростаючим підсумком з початку року

Роки	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII/рік
1961-1990	36	58	48	0	-74	-155	-241	-330	-383	-402	-379	-345
1991-2020	28	40	24	-33	-113	-200	-309	-414	-477	-492	-475	-452
2021-2024	23	8	2	-17	-94	-190	-296	-427	-505	-568	-553	-535
1991-2020 до 1961-1990	-8	-18	-24	-33	-39	-45	-68	-85	-93	-90	-96	-107

Необхідно відмітити, що до кінця червня, тобто на завершальних етапах вегетаційного періоду ранніх польових культур, дефіцит КВБ за останні 30 років досягає приблизно 200 мм. Це на 45 мм більше порівняно з базовим кліматичним періодом 1961–1990 рр., що свідчить про зростання посушливості у першій половині вегетаційного періоду.

До кінця серпня, коли завершуються критичні фази розвитку більшості сільськогосподарських культур, дефіцит КВБ уже перевищує 400 мм, що значно підвищує ризики водного стресу та негативно позначається на формуванні врожайності. Показник дефіциту КВБ дозволив визначити потребу в додатковому зволоженні сільськогосподарських культур, а саме розрахувати

зрошувальну норму враховуючи різні рівні природного вологозабезпечення (рис. 3.13).

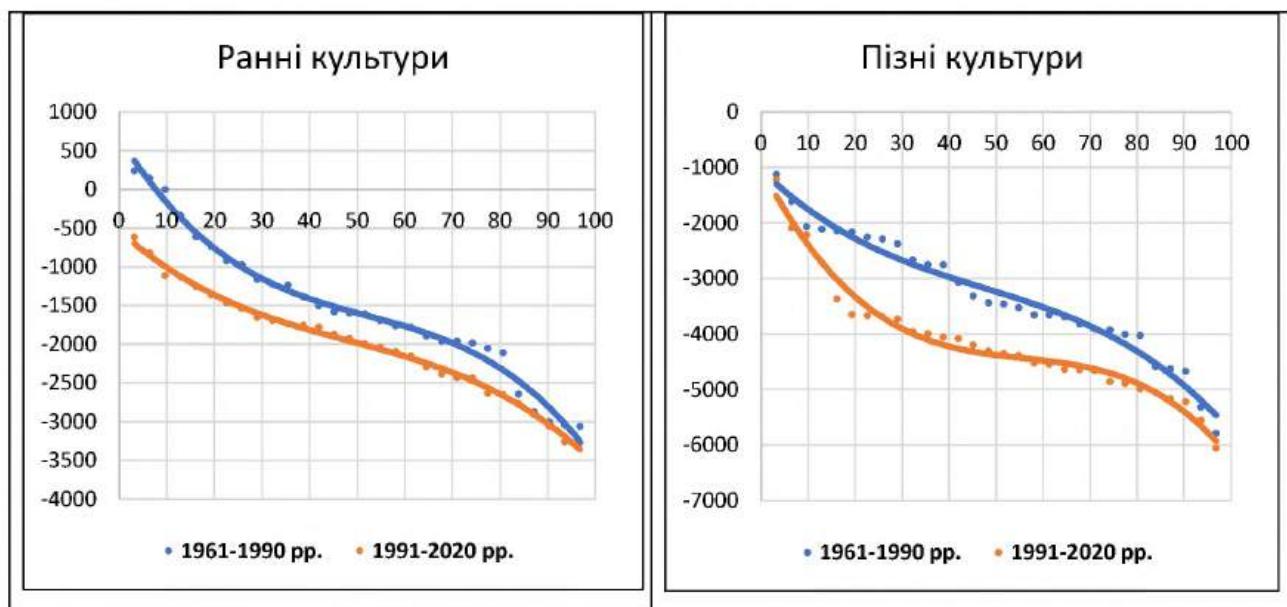


Рисунок 3.13 – Рівні забезпеченості дефіциту природного зволоження з урахуванням сучасних змін клімату різних груп сільськогосподарських культур

Встановлено, що в середньому (за умов 50% покриття дефіциту) для ранньої групи зернових і зернобобових культур розрахункова зрошувальна норма повинна становити близько $2000 \text{ м}^3/\text{га}$, що на $500 \text{ м}^3/\text{га}$ більше ніж за період 1961-1990 pp. За забезпеченості 90 % дефіциту природного зволоження ця норма зростає до $3000 \text{ м}^3/\text{га}$. Для пізньостиглих культур зрошувальні норми становитимуть відповідно 4500 та $5500 \text{ м}^3/\text{га}$.

Таким чином, сучасні кліматичні зміни, що супроводжуються підвищеннем потенційної та фактичної евапотранспірації, привели до істотного збільшення потреби в додатковому зволоженні агроекосистем. Цей аспект слід обов'язково враховувати при реконструкції існуючих та проектуванні нових зрошувальних систем, з метою забезпечення їх ефективності та адаптивності до сучасних кліматичних умов.

Висновки до розділу 3

1. Встановлено, що в регіоні досліджень протягом усіх місяців року спостерігається стабільне зростання температури повітря. У період 1990–2020 років середньорічна температура повітря зросла на 1,3 °C і на теперішній час перевищує 13,5 °C.

2. Зростання середньорічної температури повітря призвело до збільшення потенційної евапотранспірації на 93 мм у середньому за останні 30 років. У 2021–2024 pp. цей показник досяг 1074 мм, при практично незмінній кількості опадів, що обумовлює постійно зростаючий дефіцит природного зволоження. Результати оцінки кліматичного водного балансу засвідчили, що до кінця червня його дефіцит становить близько 200 мм, а до кінця серпня — перевищує 400 мм, що на 45 і 85 мм відповідно більше порівняно з умовами базового кліматичного періоду 1961–1990 pp.

3. Встановлено тісний кореляційний взаємозв'язок між SPI та врожайністю зернових і зернобобових культур, що дає підстави використовувати цей індекс у якості індикатору посух, частота яких на півдні Одеської області зросла у 2,5 рази порівняно з кліматичним періодом 1961–1990 pp.

4. За результатами аналізу дефіциту кліматичного водного балансу встановлено, що середня розрахункова зрошуvalьна норма для ранньої групи зернових і зернобобових культур становить близько 2000 м³/га. При 90%-й забезпеченості дефіциту природного зволоження ця норма зростає до 3000 м³/га. Для пізніх культур відповідні показники складають 4500 та 5500 м³/га відповідно.

Список використаних джерел до розділу 3

1. Адаменко Т. Погодні та кліматичні ризики для сільськогосподарського виробництва в Україні у сучасний період: доповідь на VII Міжнар. конф.

«Кліматичні зміни: виклики для аграрної освіти і науки», 10 квітня 2025 р., Київ. – Київ : Науково-методичний центр ВФПО, 2025.

2. Global Climate Monitor. (n.d.). Monthly air temperature anomalies, Ukraine region [Dataset]. Retrieved from <https://www.globalclimatemonitor.org>

3. World Meteorological Organization (WMO) [Електронний ресурс] / Режим доступу: https://wmo.int/sites/default/files/2024-03/Supplement_2023_200324.pdf
Дата звернення: 21.11.2024

4. Climate change Bilhorod-Dnistrovskyi [Електронний ресурс] / Meteoblue. – Режим доступу: https://www.meteoblue.com/en/climate-change/bilhorod-dnistrovskyi_ukraine_712160. Дата звернення: 21.11.2024.

5. Розвиток інтенсивних систем землеробства на зрошуваних землях України: науково-технологічне забезпечення : методичні рекомендації / за ред. чл.-кор. НААН Р.А. Вожегової. – Херсон : ОЛДІ-ПЛЮС, 2020. – 254 с <https://core.ac.uk/download/pdf/553642927.pdf>.

6. Проект «Час води». [Електронний ресурс]. — К.: Українська асоціація водного сектора, 2020. — 84 с. — Режим доступу: <https://ecolog-ua.com/sites/default/files/2020/docs/Chas-vody.pdf> (дата звернення: 04.01.2025).

7. Standardized Precipitation Index (SPI) [Електронний ресурс] // Integrated Drought Management Programme. — Режим доступу: <https://www.droughtmanagement.info/standardized-precipitation-index-spi/> (дата звернення: 04.01.2025).

8. Семенова, І. Г. Синоптичні та кліматичні умови формування посух в Україні / Н. В. Семенова. — Одеса : Одеський державний екологічний університет, 2017. — 236 с. — Режим доступу: http://eprints.library.odeku.edu.ua/id/eprint/2725/1/semenova_synoptychni_ta_klimatichni_umovy%20monog%202017.pdf

9. J. Chmisi-Sikorska, M. Kępińska-Kasprzak, P. Struzik (2022) Agricultural drought assessment on the base of Hydro-thermal Coefficient of Selyaninov in Poland. Italian Journal of Agrometeorology (1): 3-12. doi: 10.36253/ijam-1530

10. Yerdelen, C., Abdelkader, M., & Eris, E. (2021). Assessment of drought in SPI

series using continuous wavelet analysis for Gediz Basin, Turkey. *Atmospheric Research*, 260, 105687. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2021.105687>

11. Vicente-Serrano, S. M., Beguería, S., & López-Moreno, J. I. (2010). A Multiscalar Drought Index Sensitive to Global Warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index. *Journal of Climate*, 23(7), 1696-1718. <https://doi.org/10.1175/2009JCLI2909.1>

12. Tirivarombo, S., Osupile, D., & Eliasson, P. (2018). Drought monitoring and analysis: standardised precipitation evapotranspiration index (SPEI) and standardised precipitation index (SPI). *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 106, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2018.07.001>

13. Li, L., She, D., Zheng, H., Lin, P., & Yang, Z. L. (2020). Elucidating diverse drought characteristics from two meteorological drought indices (SPI and SPEI) in China. *Journal of Hydrometeorology*, 21(7), 1513-1530. <https://doi.org/10.1175/JHM-D-19-0290.1>

14. Hargreaves, G. L., Hargreaves, G. H., and Riley, J. P. (1985). "Irrigation water requirements for Senegal River Basin." *J. Irrig. Drain. Eng.*, 111(3), 265–275.

15. Hargreaves and Samani, (1985) Hargreaves GL, Samani ZA. 1985. Evapotranspiration from temperature. *Appl. Eng. Agric.* 1(2): 96–99.

16. Hargreaves, G. L. (1983). "Water requirements and agricultural benefits for the Senegal river basin. Thesis submitted in partial fulfillment of the degree of Master of Science in Engineering," Utah State Univ., Logan, Utah, 111.

17. Georgeta B., Remus P. Climatic water balance dynamics over the last five decades in Romania's most arid region, Dobrogea. *J. Geogr. Sci.* 2015. № 25(11). P. 1307–1327

РОЗДІЛ 4 ОЦІНКА ВОДНО-ФІЗИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ГРУНТІВ БАЗОВОГО ГОСПОДАРСТВА

Водно-фізичні властивості ґрунту — зокрема пористість, вологопровідність, водоутримувальна здатність і вологість в'янення — визначають режими руху та накопичення вологи в ґрутовому профілі. Ці показники є ключовими для оптимізації режимів зрошення. Розуміння їхніх характеристик сприяє раціональному використанню водних ресурсів і підвищенню продуктивності агроекосистем.

У праці *Estimation of Soil Water Properties* [1] узагальнено залежності між водним потенціалом, гіdraulічною провідністю та вологістю ґрунту. На основі даних понад 1300 зразків із 32 штатів США визначено параметри рівняння Брукса–Корі, вологість при потенціалах 33 і 1500 кПа, загальну пористість і насичену провідність для ґрунтів за класифікацією USDA. Робота є основою для оцінки доступної вологи та моделювання водного режиму за фізичними властивостями ґрунту. Ромашенко та співавтори [2] розробили методику лабораторного визначення гідрофізичних властивостей ґрунту непорушеної структури з використанням вакуумного насичення та аналізу кривої десорбції з урахуванням макропористості. Методика забезпечує комплексну оцінку водно-фізичних параметрів ґрунту для моделювання його водного режиму. Šimůnek та співавтори [3] представили програму HYDRUS-1D для моделювання вертикального руху води в ненасиченому ґрунті, підкреслюючи значення водно-фізичних властивостей і структури порового простору для точності розрахунків. Дослідження [4] порівнює традиційний підхід SAG-USDA з методами, що включають польові вимірювання та педотрансферні функції. Результати свідчать, що для ефективного проектування зрошувальних систем необхідно враховувати гідрофізичні параметри ґрунту, оскільки традиційні методи недостатньо точні при зонуванні ґрунтів для іригації.

У сучасних умовах інтенсифікації агроприродництва, кліматичної нестабільності та необхідності впровадження науково обґрунтованих систем зрошення особливого значення набуває вивчення гідрофізичних властивостей ґрунтів у їх природному стані та в процесі їх господарського використання, особливо після тривалої перерви в їх штучному зволоженні.

З метою екологобезпечного та ефективного відновлення зрошення даних територій було проведено гідрофізичні дослідження з визначення спектру водно-фізичних характеристик ґрунтів базового господарства ДП «Андріївське» Білгород-Дністровського району Одеської області. Ці дослідження необхідні для подальшого моделювання водного режиму, визначення оптимальних режимів зрошення та розробки агротехнічних заходів, спрямованих на збереження родючості ґрунту та екологічну стійкість агроекосистем.

Досліджувалися моноліти ґрунтів непорушеної структури, відібрані з трьох горизонтів двох ґрутових профілів на дослідних ділянках (поля №4/1 та №5/1). Дослідження виконувалися відповідно до затвердженої методології [2] Інституту водних проблем і меліорації НААН, з використанням сучасного лабораторного обладнання. Визначалися основні водно-фізичні константи (максимальна гігрокопічність, вологість в'янення, найменша вологомісткість, повна вологомісткість), питома поверхня ґрунтів, їх вологопровідність, а також структурні параметри порового простору, які є основою для розрахунку агрономічно обґрунтованих режимів зволоження.

Результати лабораторних гідрофізичних досліджень, наведені в цьому розділі, формують інформаційну базу для наукового обґрунтування біоенергетичних агроекосистем в умовах зрошення півдня Одеської області. Встановлені водно-фізичні параметри ґрунтів дозволять оптимізувати водний режим сільськогосподарських культур та підвищити енергетичну ефективність біоенергетичних агроекосистем при одночасному збереженні родючості ґрунтів в умовах зрошення.

4.1 Водно-фізичні властивості ґрунтів дослідних ділянок

Комплексні гідрофізичні випробування були проведені в гідрофізичній лабораторії ІВПіМ відповідно до методології, опублікованої у [2] та захищеної двома патентами на корисну модель: «Спосіб визначення структури порового простору ґрунтів (дисперсних середовищ)» [5] і «Спосіб лабораторного визначення найменшої вологомісткості ґрунтів» [6].

Комплекс лабораторних досліджень включав безпосередньо гідрофізичні випробування монолітів ґрунту непорушені структури, а також окреме визначення максимальної гігроскопічності ґрунтів порушені структури згідно з чинним стандартом ГОСТ 28268-89. Розрахунковим шляхом були отримані похідні параметри — вологість в'янення (ВВ, %) і питома поверхня ґрунту ($S, m^2/g$) відповідно до [5,6]. Враховуючи термодинамічний характер визначення максимальної гігроскопічності (МГ), яка інтегрально відображає ступінь дисперсності ґрунтів, була максимально достовірно охарактеризована крива водоутримувальної здатності кожного зразка в діапазоні від МГ до повної вологомісткості (ПВ) з ідентифікацією основних водно-фізичних констант: МГ, ВВ, найменшої вологомісткості (НВ) та ПВ.

Результатом досліджень також стали гідрофізичні функції - водоутримувальної здатності (ОГХ) $\theta = f(P)$ і вологопровідності, залежно від капілярного потенціалу $K_p = f(P)$, які є необхідною основою для проведення імітаційного моделювання водного режиму ґрунтів. Крім того отримано нові знання про будову ґрунту – криві структурної характеристики $V_{3n} = f(P) = f(r_a)$, що характеризує сумарний об'єм пор певного радіусу та встановлено стартовий розмір структурної макропористості (n) за співвідношенням характерних розмірів $n = \frac{r_{max}}{r_{min}}$.

Перша серія з шести монолітів, відібраних із полів №4/1 (площа 214,3 га) та №5/1 (186,6 га) (рис. 4.1), була випробувана у період з 14 червня по 20 липня 2022 року. Лабораторні дослідження включали визначення основних водно-

фізичних властивостей ґрунтів та розрахунок відповідних констант. За підсумками вимірювань отримано набір параметрів, узагальнених у табл. 4.1.

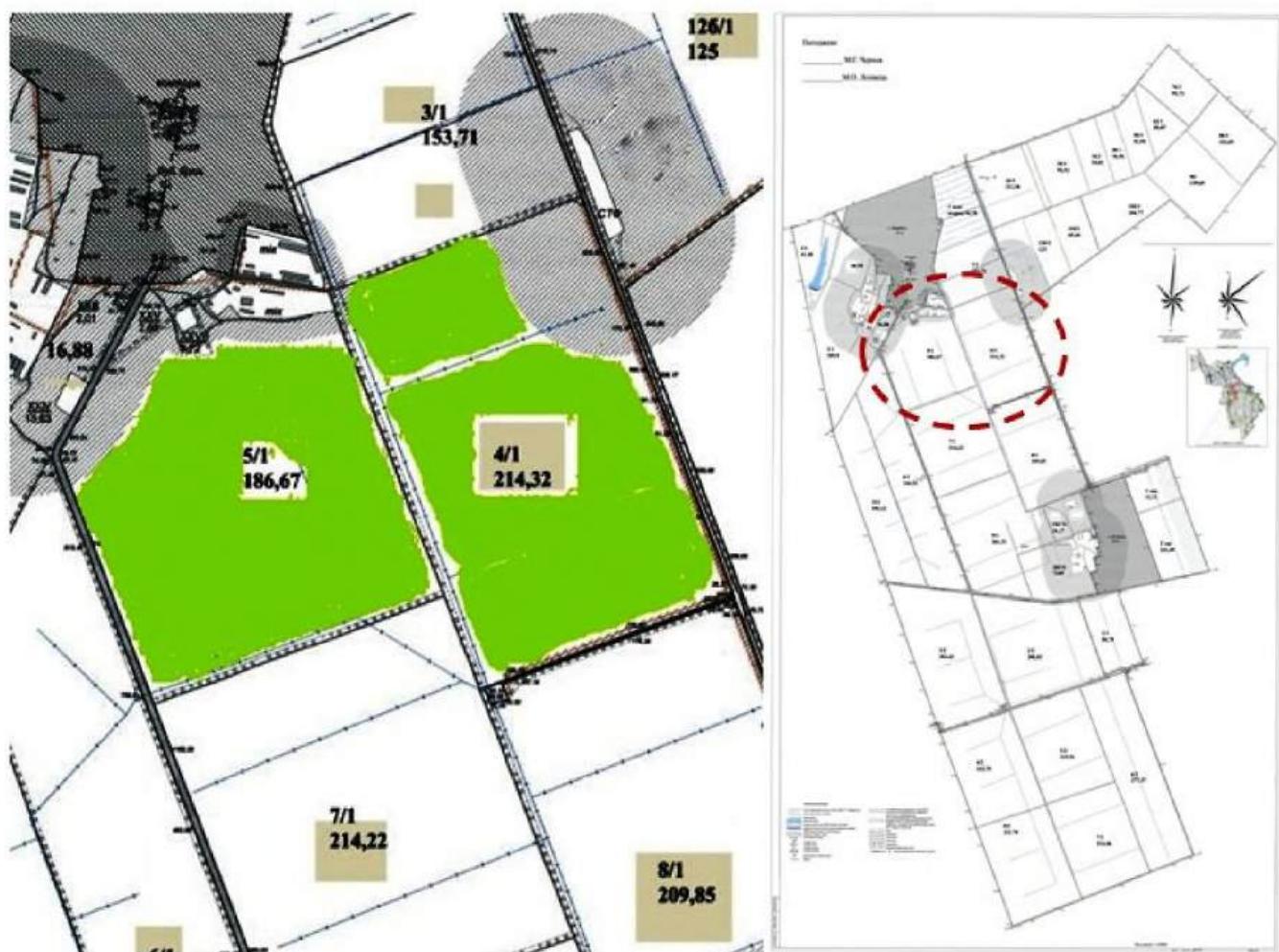


Рисунок 4.1. Розташування полів №4/1 та №5/1 у загальній структурі землекористування ДП «ДГ «Андріївське»

У цілому, дослідженні ґрунти за гранулометричним складом належать до категорії дуже важких. За значеннями вологості в'янення (ВВ), вони класифікуються як важкі суглинки та глини. Кінцева щільність складення ґрунту, визначена після завершення випробувань на монолітах, становить від 1,33 до 1,50 г/см³ і змінюється нерівномірно в межах ґрунтового профілю, з тенденцією до ущільнення в нижніх горизонтах.

За показниками питомої поверхні (S , м²/г) найвищі значення зафіксовано у підорному горизонті на глибині 0,30–0,45 м, що може свідчити про ілювіальний процес накопичення високодисперсних часток та колоїдів.

Отримані значення питомої поверхні корелюють із вмістом фізичної глини у відповідних горизонтах.

Таблиця 4.1 – Результати лабораторного визначення водно-фізичних властивостей зразків із ґрутових профілів ДП ДГ «Андріївське»

Номер зразка	Інтервал, м	Кінцева щільність складення ρ , г/см ³	Питома поверхня S , м ² /г	МГ, %, за масою	ВВ, %, за масою	ВВ, %, за об'ємом	ПВ, % за об'ємом	НВ, % за об'ємом	НВ, % за масою	ДАВ= ПВ _θ - ВВ _θ	Гранулометричний клас ґрунту за ВВ
Поле №5/1											
10	0,10-0,25	1,38	36,02	9,01	12,07	16,63	54,71	33,33	24,19	38,08	Глина
14	0,30-0,45	1,33	37,28	9,32	12,49	16,64	53,77	35,81	26,87	37,13	Глина
7	0,60-0,75	1,50	34,37	8,59	11,51	17,25	48,10	37,30	24,90	30,85	Суглинок важкий
Поле №4/1											
39	0,10-0,25	1,35	33,53	8,38	11,23	15,13	55,10	33,46	24,83	39,97	Суглинок важкий
35	0,30-0,45	1,39	36,28	9,07	12,15	16,74	53,78	32,99	23,96	37,04	Глина
37	0,60-0,75	1,35	35,87	8,97	12,02	16,19	51,75	34,70	25,75	35,56	Глина

Повна вологомісткість (ПВ), або загальна пористість, досягає високих значень — до 55,1 %, і закономірно зменшується з глибиною ґрутового профілю. Аналогічну тенденцію демонструє й діапазон активної вологи (ДАВ), який також зменшується зі збільшенням глибини. Виявлені закономірності розподілу гідрофізичних параметрів у ґрутовому профілі мають важливе значення для розрахунку режимів зрошення біоенергетичних культур в умовах півдня Одеської області.

4.2 Структура порового простору ґрунтів та її вплив на формування водного режиму агроекосистем

Результати гідрофізичних випробувань для шести монолітів з двох ґрутових профілів наведені на рис. 4.2-4.19. Для кожного зразка на першому рисунку відображено криву водоутримувальної здатності з петлею капілярного гістерезису, яку утворюють криві першої швидкої десорбції від ПВ та повільної сорбції. На другому рисунку наведено криву структурної характеристики, що графічно побудована як різниця вологонасичення між вищезгаданими кривими. На третьому рисунку представлені у напівлогарифмічному масштабі розрахункові криві вологопровідності ґрунту для фіксованих значень капілярного тиску, що змінюються на 2-3 порядки, тобто у 100-1000 разів.

Грунтовий профіль поля №5/1. Грунти на цьому полі ідентифікуються за значеннями ВВ [5] як глини і важкі суглинки. Найвищі значення повної вологомісткості (ПВ), а відповідно і пористості, становлять 54,71 % в оброблюваному шарі, поступово зменшуючись з глибиною до 48,10 %. Така висока пористість зумовлена значним розвитком структурної макропористості, яка формується на різних глибинах вище капілярного тиску -10 – -15 кПа (рис. 4.21,а).

Співвідношення характерних розмірів пор $n = \frac{r_{max}}{r_{min}}$ за значеннями при $P = -1$ кПа закономірно зростає з глибиною: від $n = 4$ в інтервалі 0,10–0,25 м до $n = 7$ у шарі 0,60–0,75 м. Це свідчить про зростання з глибиною ступеня структурованості найкрупнішої макропористості. Водночас абсолютний об'єм цієї макропористості (V_{3n}) є найбільшим саме в оброблюваному шарі — за $P = -1$ кПа він сягає 11 % об'єму (рис. 4.20). З глибиною об'єм (V_{3n}) закономірно зменшується до 6 %.

Форма кривої, що описує розподіл структурної макропористості, є типовою для чорноземів — монотонно зростаюча. Принаймні це спостерігається для двох верхніх інтервалів профілю. Для третього інтервалу

(0,60–0,75 м) крива вже починає загинатися, що свідчить про зниження інтенсивності ґрунтоутворювальних процесів (ґрутового гомеостазу).

За показниками вологопровідності спостерігається суттєве зниження провідності на 2–3 порядки в міру осушення ґрунту (табл. 2). Найнижчі значення капілярної вологопровідності фіксуються саме в оброблюваному шарі (0,10–0,25 м). Такий профільний розподіл вологопровідності є типовим для ґрунтів у природному, непорушеному стані, що має важливе значення для інфільтраційних процесів і капілярного підживлення орного шару з глибших горизонтів ґрутового профілю.

Грутовий профіль поля №4/1. Ґрунти цього поля класифікуються як важкі суглинки та глини за гранулометричним складом. На відміну від ґрутового профілю поля №5/1, де важкий суглинок трапляється лише в нижній частині оброблювального шару, у профілі поля №4/1 важкий суглинок залягає вже в оброблювальному шарі, а два нижні горизонти представлені глинами. Така диференціація профілю вказує на зміну фізичних властивостей ґрунту з глибиною, що може впливати на водний режим агроекосистеми.

Пористість оброблювального шару становить 55,10 % і закономірно зменшується з глибиною до 51,75 % в інтервалі 0,60–0,75 м. Співвідношення характерних розмірів пор при капілярному тиску $P = -1$ кПа також демонструє зростання з глибиною (рис.4.21,б), однак менш контрастно порівняно з попереднім профілем: від $n = 4,5$ в інтервалі 0,10–0,25 м до $n = 6$ в інтервалі 0,30–0,45 м.

Стартовий діапазон структурної макропористості тут зміщений у бік більших за розміром пор (порівняно з профілем поля №5/1) — у межах тисків – 4...–10 кПа (рис. 4.21,б), що може свідчити про кращу вираженість агрономічно цінної пористості у верхньому шарі. Абсолютний об'єм таких пор при $P = -1$ кПа (V_{3n}) сягає 13 % у шарі 0,10–0,25 м, поступово зменшуючись до 8 % на глибині 0,60–0,75 м (рис. 4.20,б).

Форма кривих структурної макропористості аналогічна до профілю поля №5/1 і є типовою для чорноземів. Проте перетин цих кривих чіткіше виражений у діапазоні тисків $-4\ldots-6$ кПа, що свідчить про наявність різкого переходу між порами різних діаметрів, ймовірно, внаслідок тривалого агротехнічного навантаження.

За даними табл. 4.2, значення коефіцієнта капілярної водопровідності $K_p(P)$ знижуються на 2–3 порядки (тобто в 100–1000 разів) зі збільшенням капілярного тиску з 3 до 40 кПа. У профілі поля №4/1 спостерігається інверсія профільного розподілу вологопровідності: найвищі її значення зафіксовані у верхньому оброблюваному горизонті, а з глибиною вони зменшуються. Такий тип розподілу характерний для староорних ґрунтів, що піддавалися тривалому механічному обробітку. Він свідчить про ущільнення підорного шару і негативно впливає як на інфільтраційне живлення, так і на капілярне підживлення оброблюваного шару з глибших горизонтів.

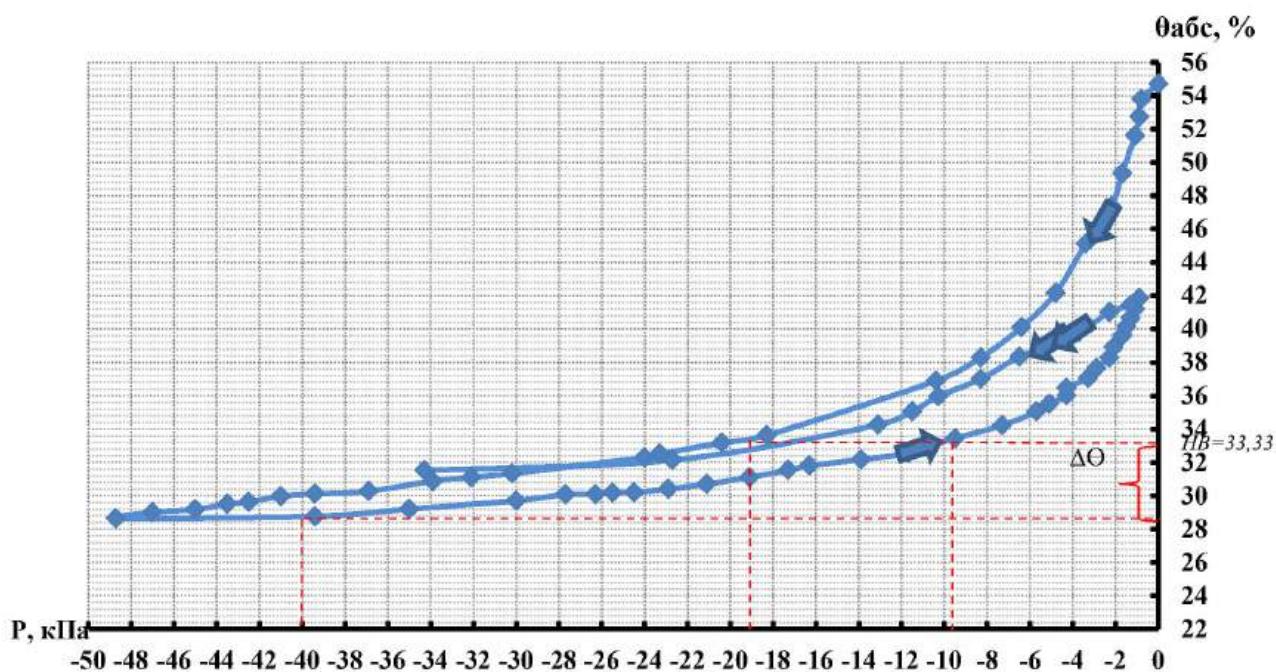


Рисунок 4.2 – Крива водоутримувальної здатності чорнозему, ОГХ $\theta = f(P)$, інтервал 0,10-0,25 м, зразок №10 (поле №5/1)

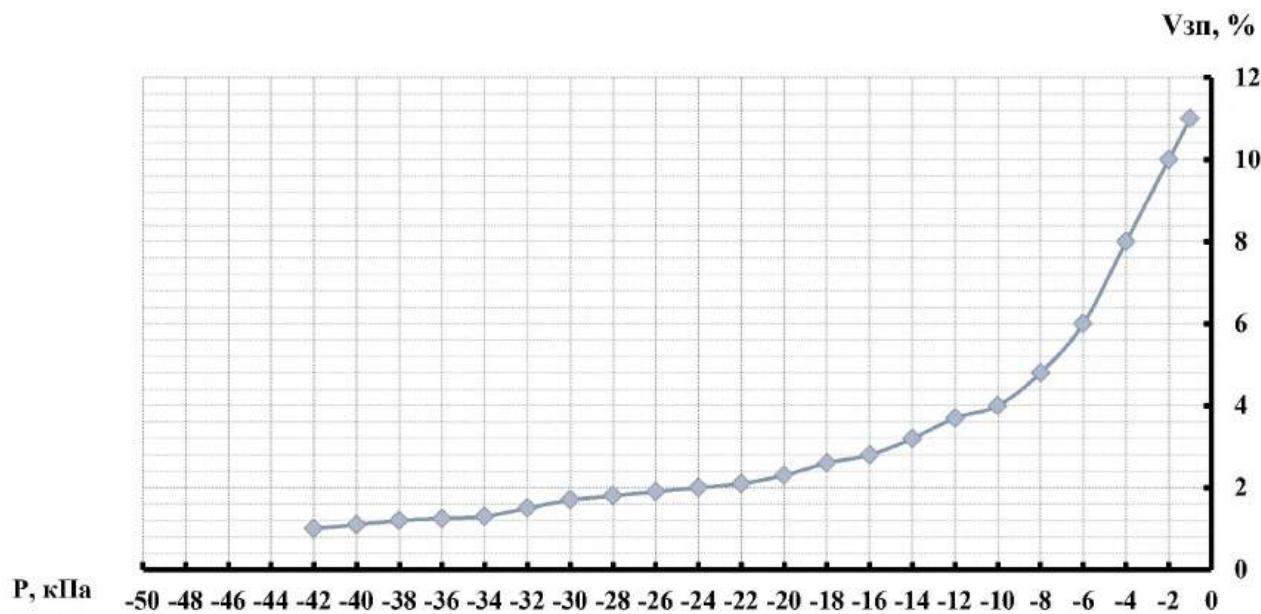


Рисунок 4.3 – Структурна характеристика порового простору ґрунту, $V_{3n} = f(P) = f(r_a)$, інтервал 0,10-0,25 м, зразок №10 (поле №5/1)

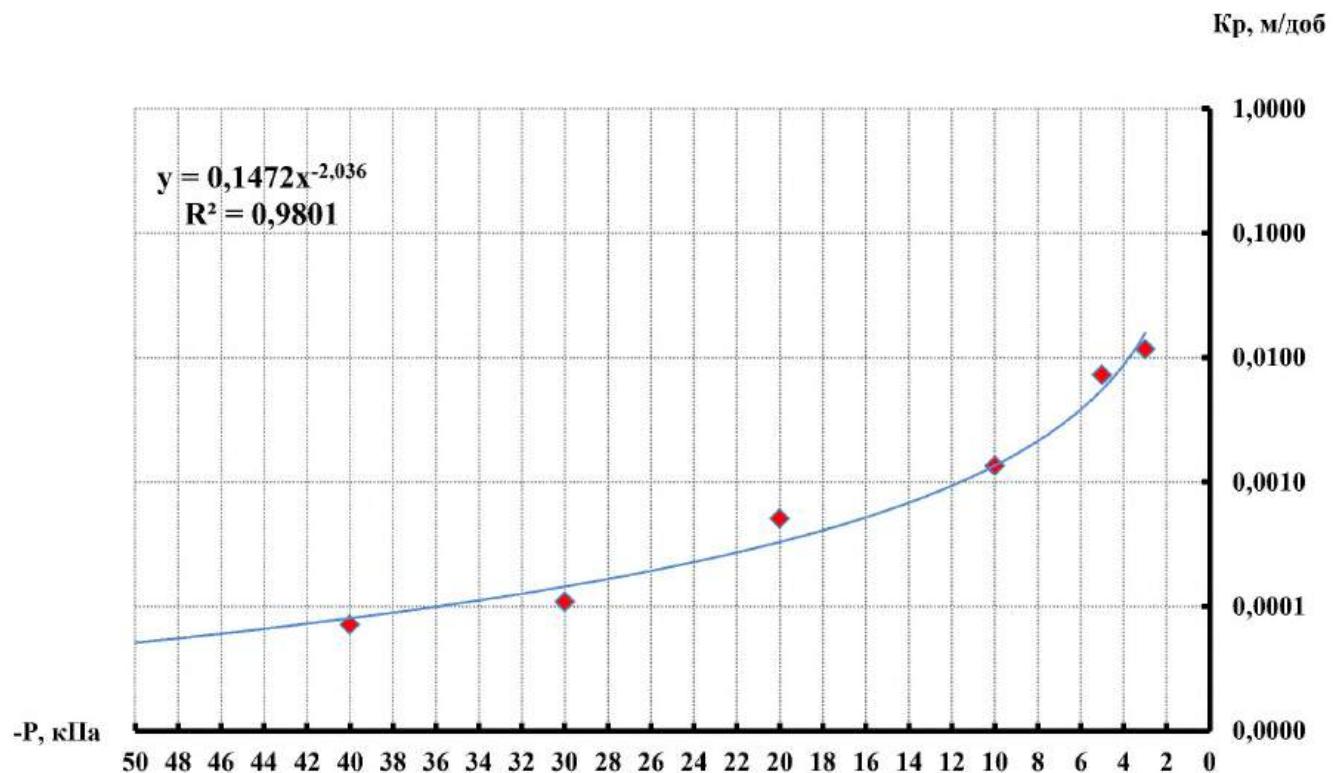


Рисунок 4.4 – Залежність вологопровідності ненасиченого ґрунту від капілярного тиску, $K_p = f(P)$, інтервал 0,10-0,25 м, зразок №10 (поле №5/1)

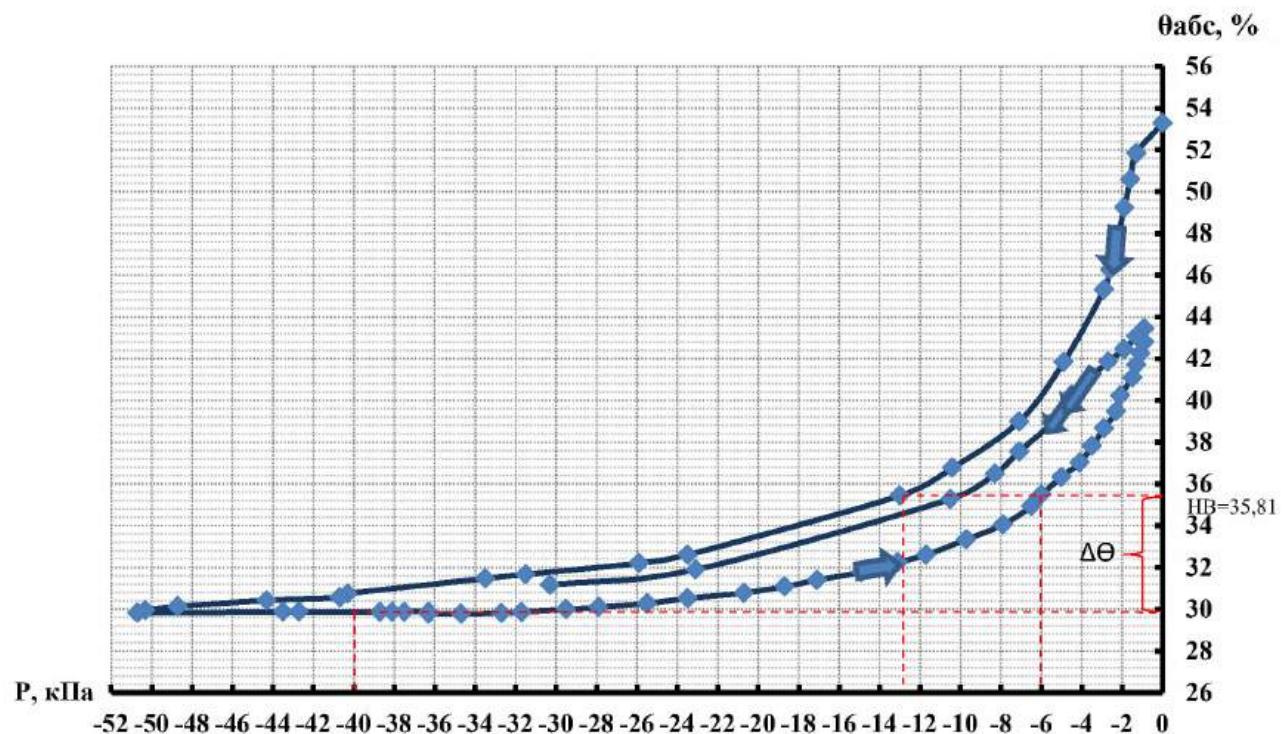


Рисунок 4.5 – Крива водоутримувальної здатності чорнозему, ОГХ $\theta = f(P)$, інтервал 0,30-0,45 м, зразок №14 (поле №5/1)

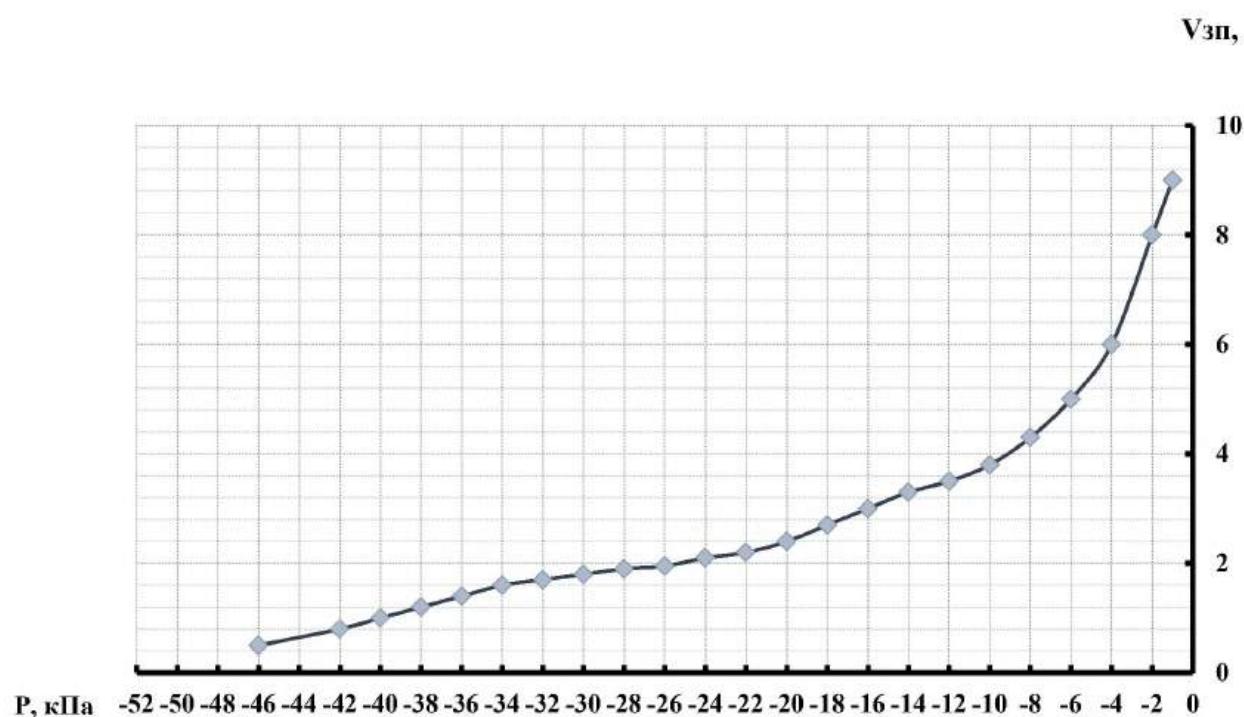


Рисунок 4.6 – Структурна характеристика порового простору ґрунту, $V_{3n} = f(P) = f(r_a)$, інтервал 0,30-0,45 м, зразок №14 (поле №5/1)

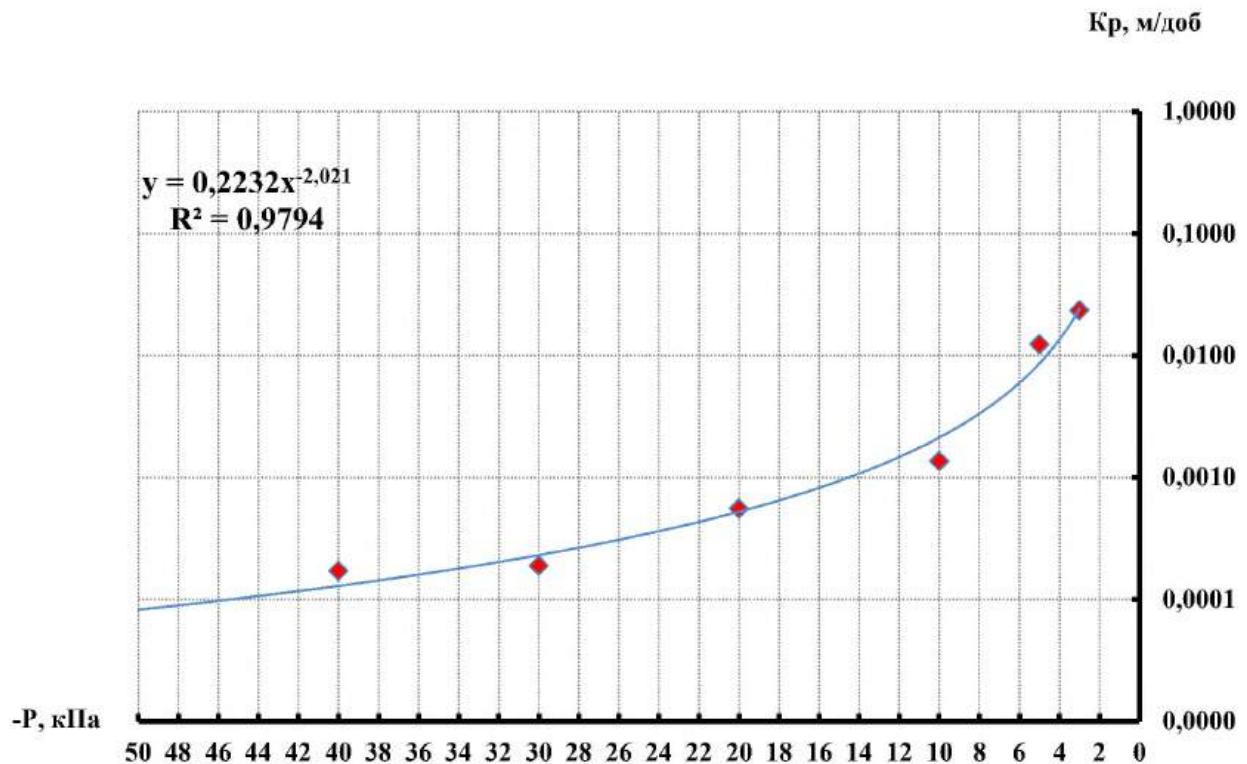


Рисунок 4.7 – Залежність вологопровідності ненасиченого ґрунту від капілярного тиску, $K_p = f(P)$, інтервал 0,30-0,45 м, зразок №14 (поле №5/1)

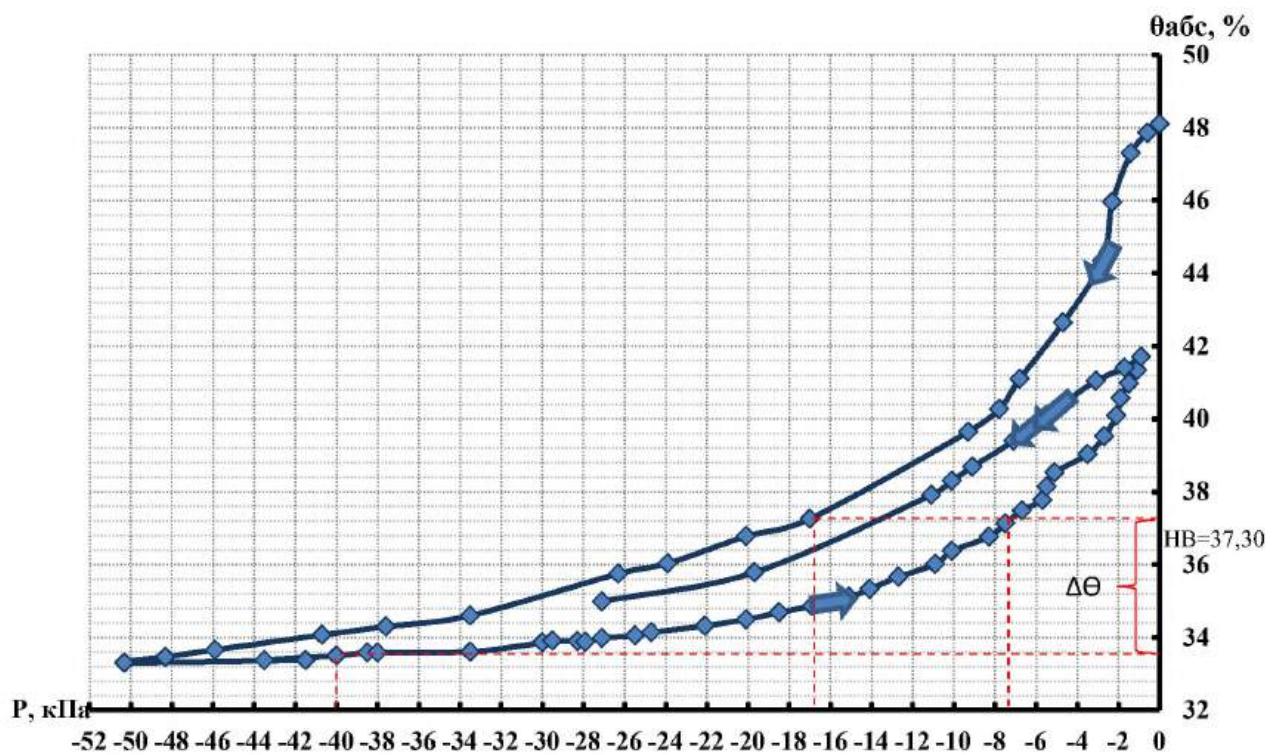


Рисунок 4.8 – Крива водоутримувальної здатності чорнозему, ОГХ $\theta = f(P)$, інтервал 0,60-0,75 м, зразок №7 (поле №5/1)

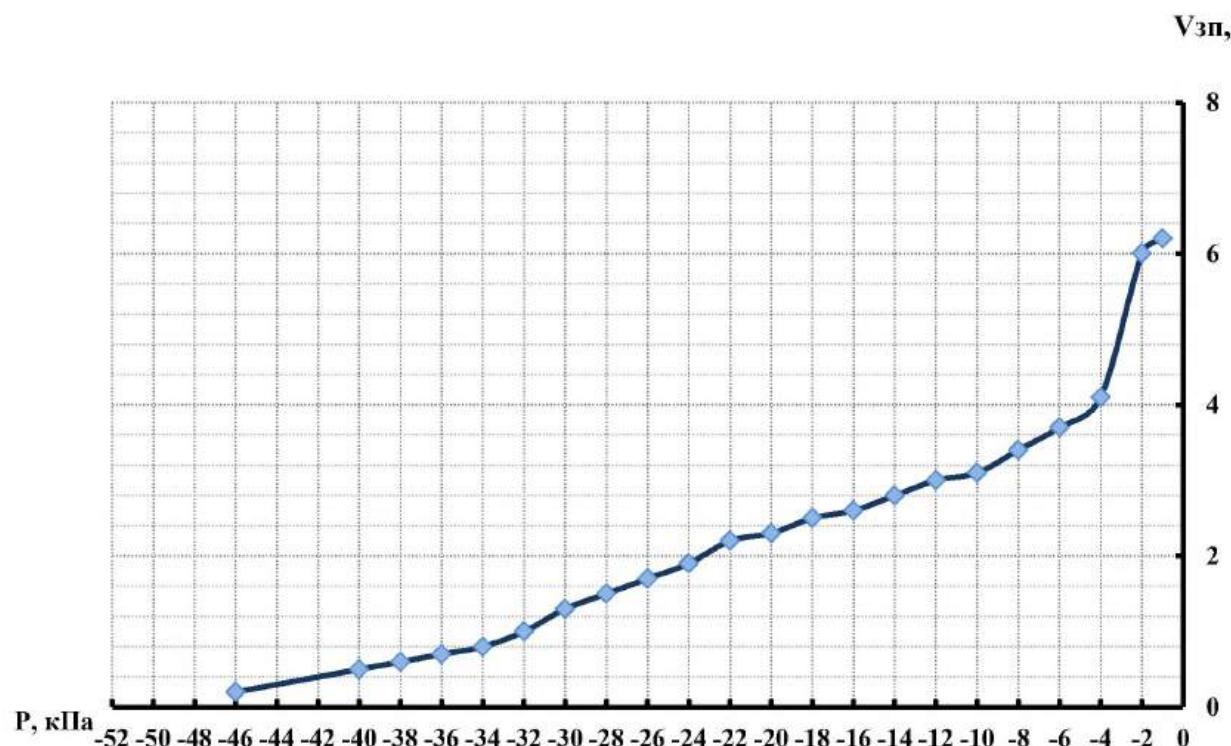


Рисунок 4.9 – Структурна характеристика порового простору ґрунту, $V_{3n} = f(P) = f(r_a)$, інтервал 0,60-0,75 м, зразок №7 (поле №5/1)

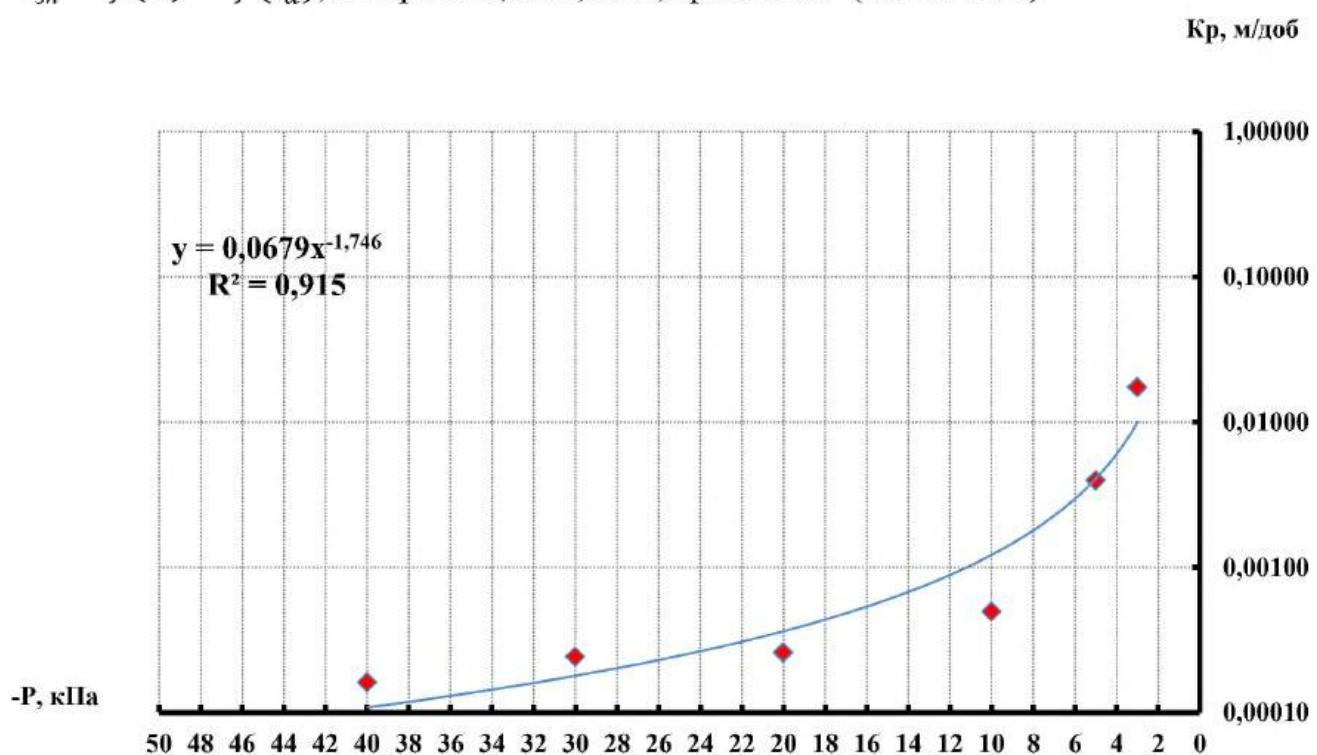


Рисунок 4.10 – Залежність вологопровідності ненасиченого ґрунту від капілярного тиску, $K_p = f(P)$, інтервал 0,60-0,75 м, зразок №7 (поле №5/1)

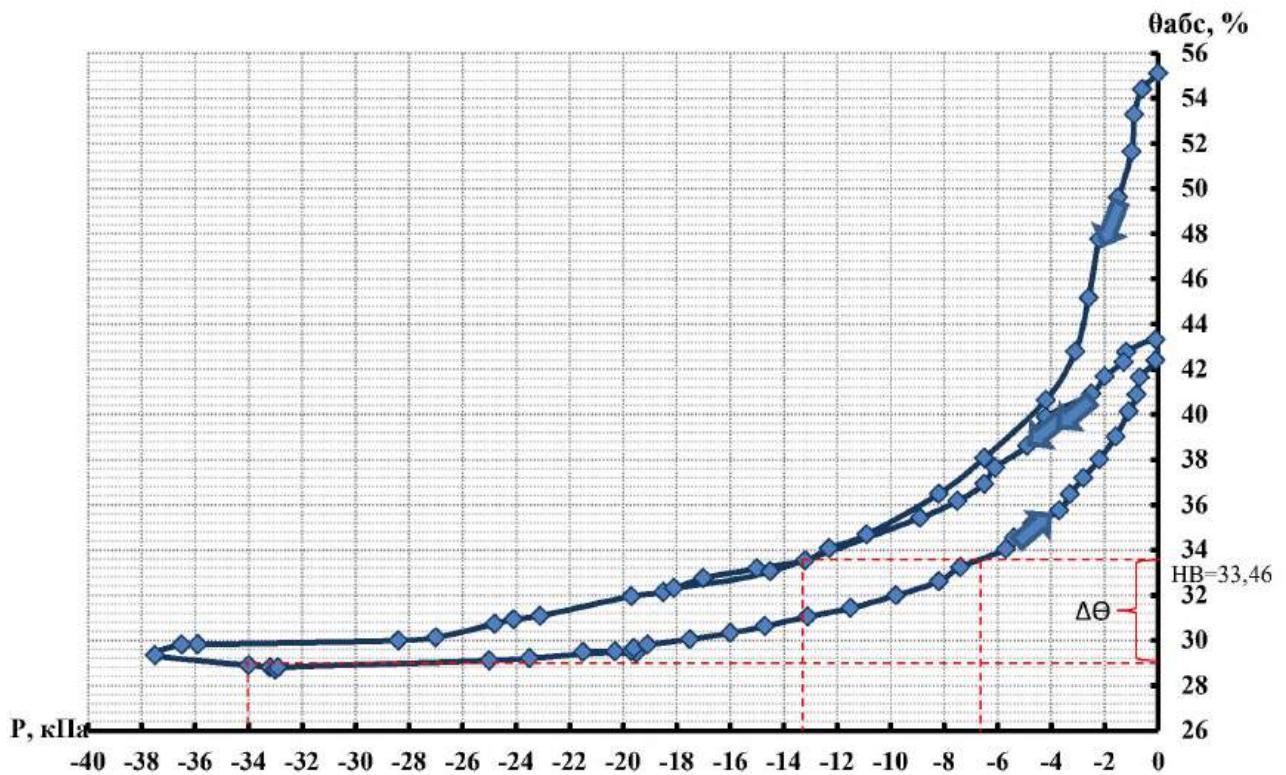


Рисунок 4.11 – Крива водоутримувальної здатності чорнозему, ОГХ $\theta = f(P)$, інтервал 0,10-0,25 м, зразок №39 (поле №4/1)

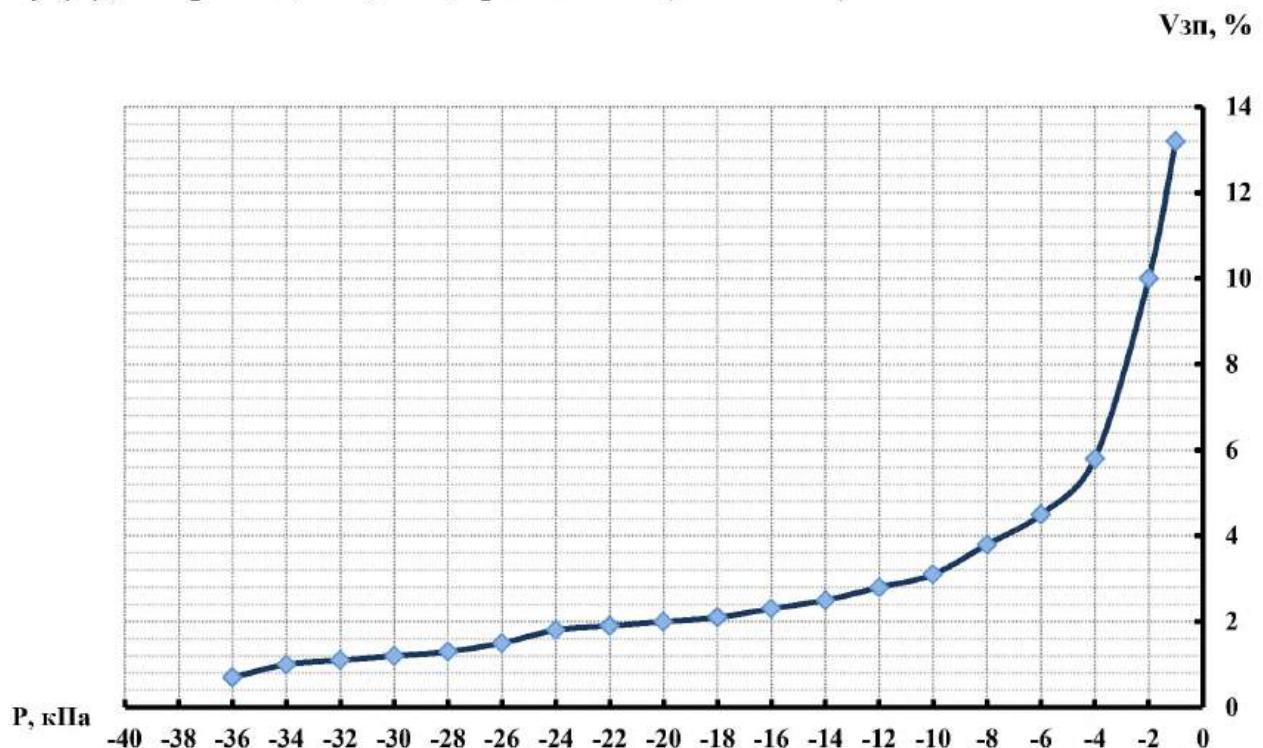


Рисунок 4.12 – Структурна характеристика порового простору ґрунту, $V_{3n} = f(P) = f(r_a)$, інтервал 0,10-0,25 м, зразок №39 (поле №4/1)

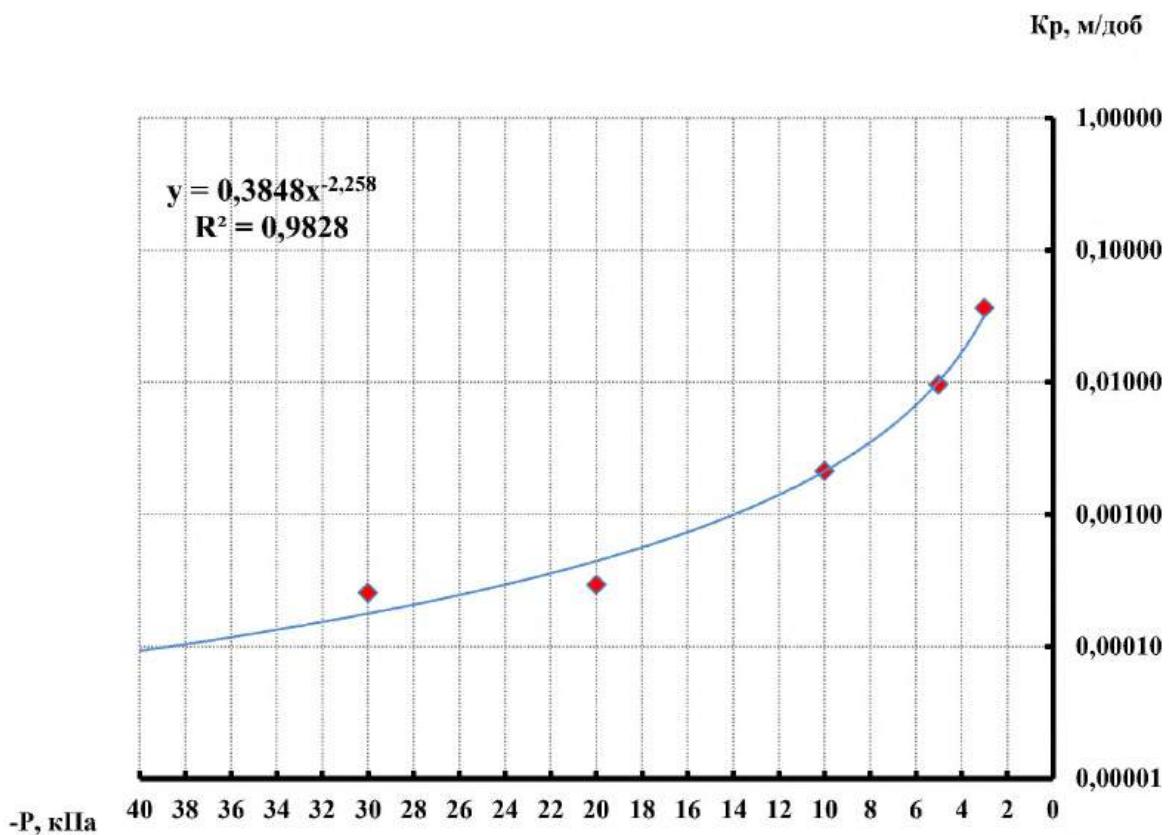


Рисунок 4.13 – Залежність вологопровідності ненасиченого ґрунту від капілярного тиску, $K_p = f(P)$, інтервал 0,10-0,25 м, зразок №39 (поле №4/1)

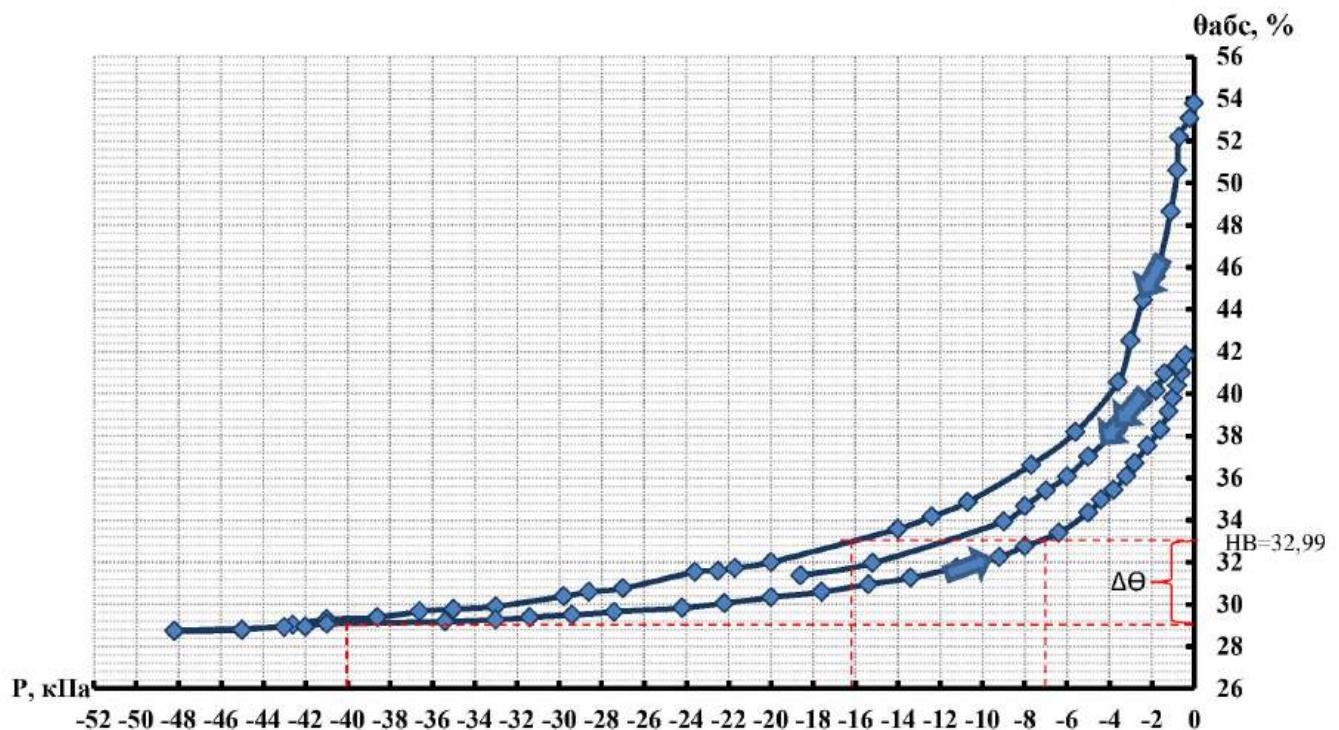


Рисунок 4.14 – Крива водоутримувальної здатності чорнозему, ОГХ $\theta = f(P)$, інтервал 0,30-0,45 м, зразок №35 (поле №4/1)

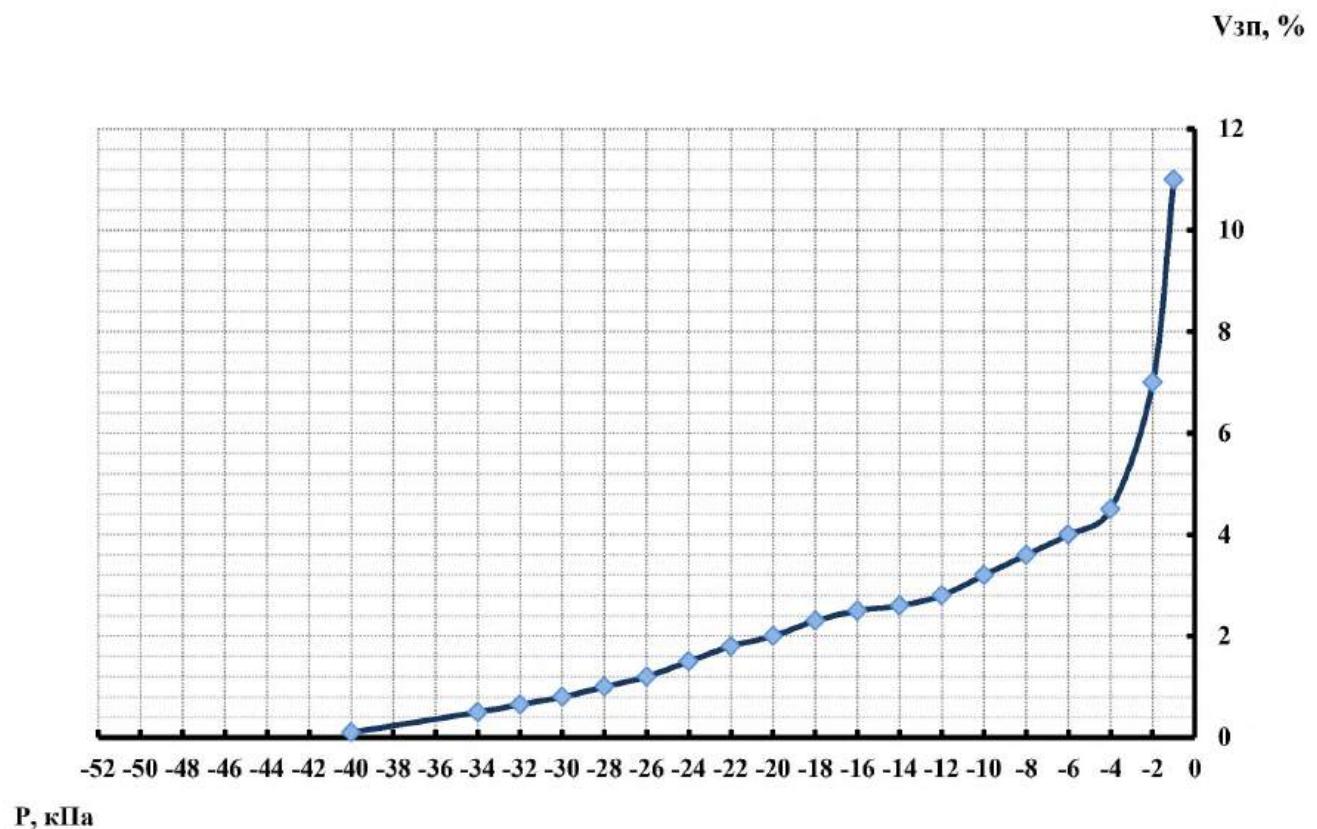


Рисунок 4.15 – Структурна характеристика порового простору ґрунту, $V_{3n} = f(P) = f(r_a)$, інтервал 0,30-0,45 м, зразок №35 (поле №4/1)

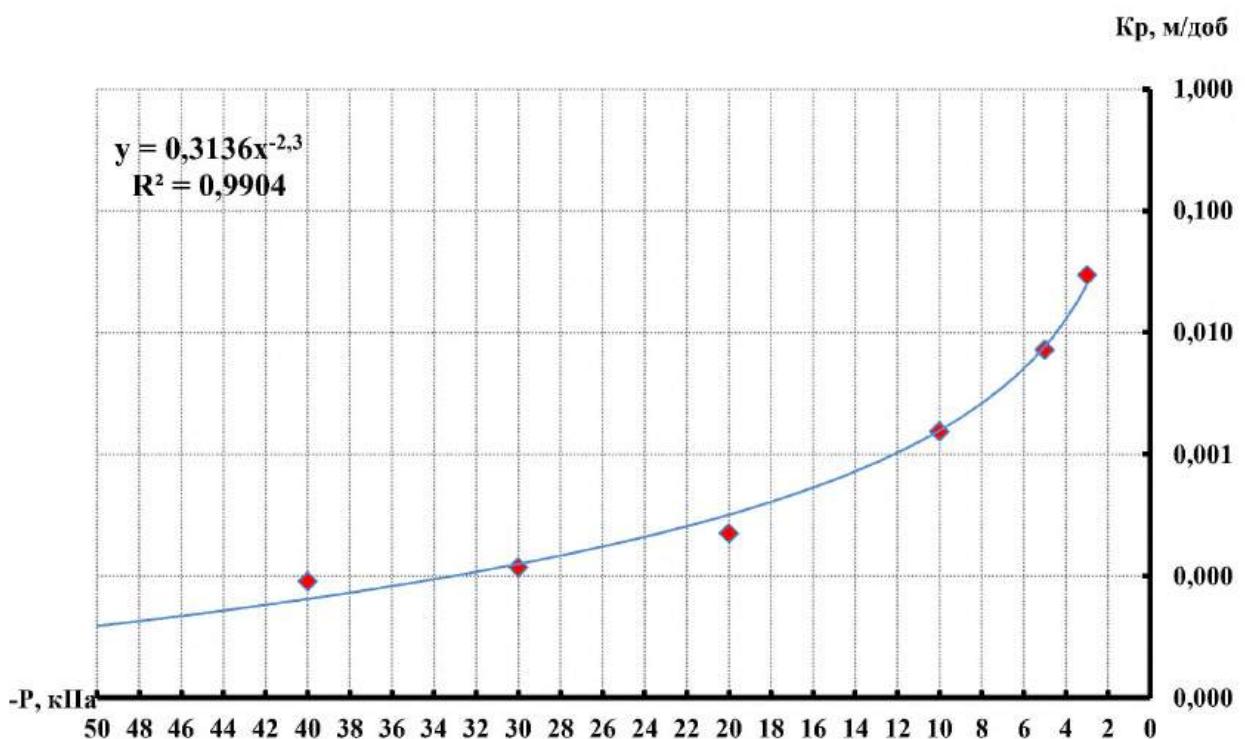


Рисунок 4.16 – Залежність вологопровідності ненасиченого ґрунту від капілярного тиску, $K_p = f(P)$, інтервал 0,30-0,45 м, зразок №35 (поле №4/1)

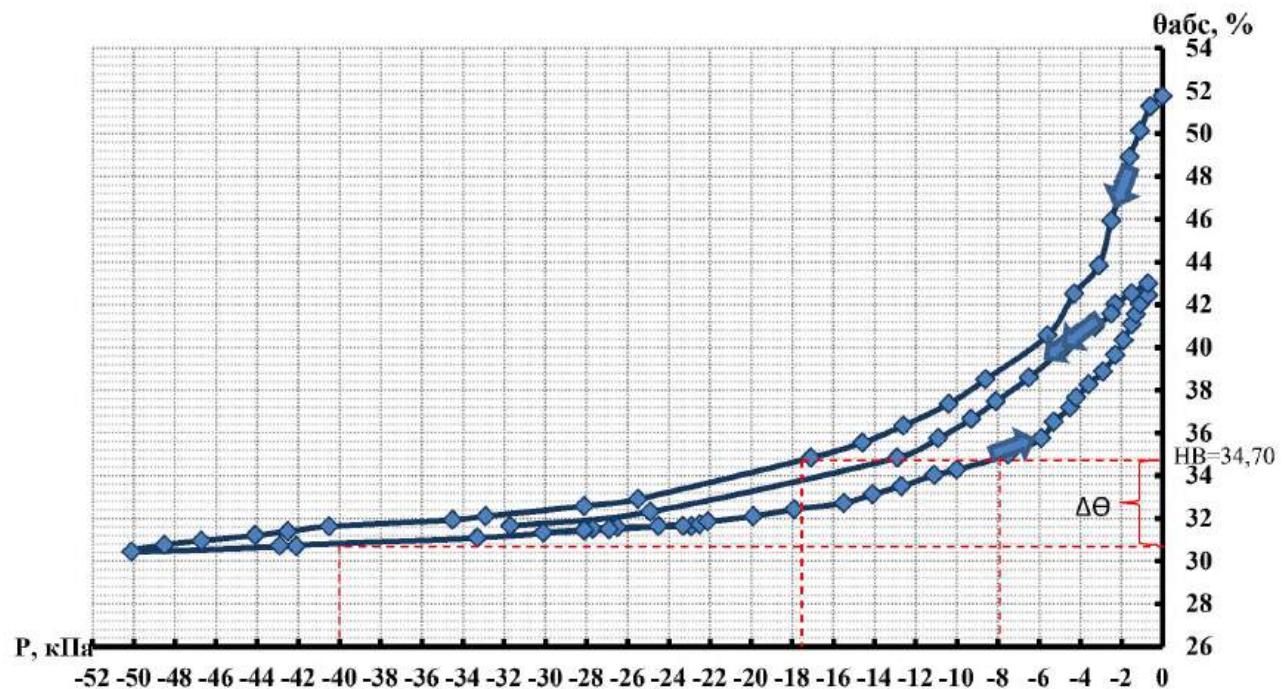


Рисунок 4.17 – Крива водоутримувальної здатності чорнозему, ОГХ $\theta = f(P)$, інтервал 0,60-0,75 м, зразок №37 (поле №4/1)

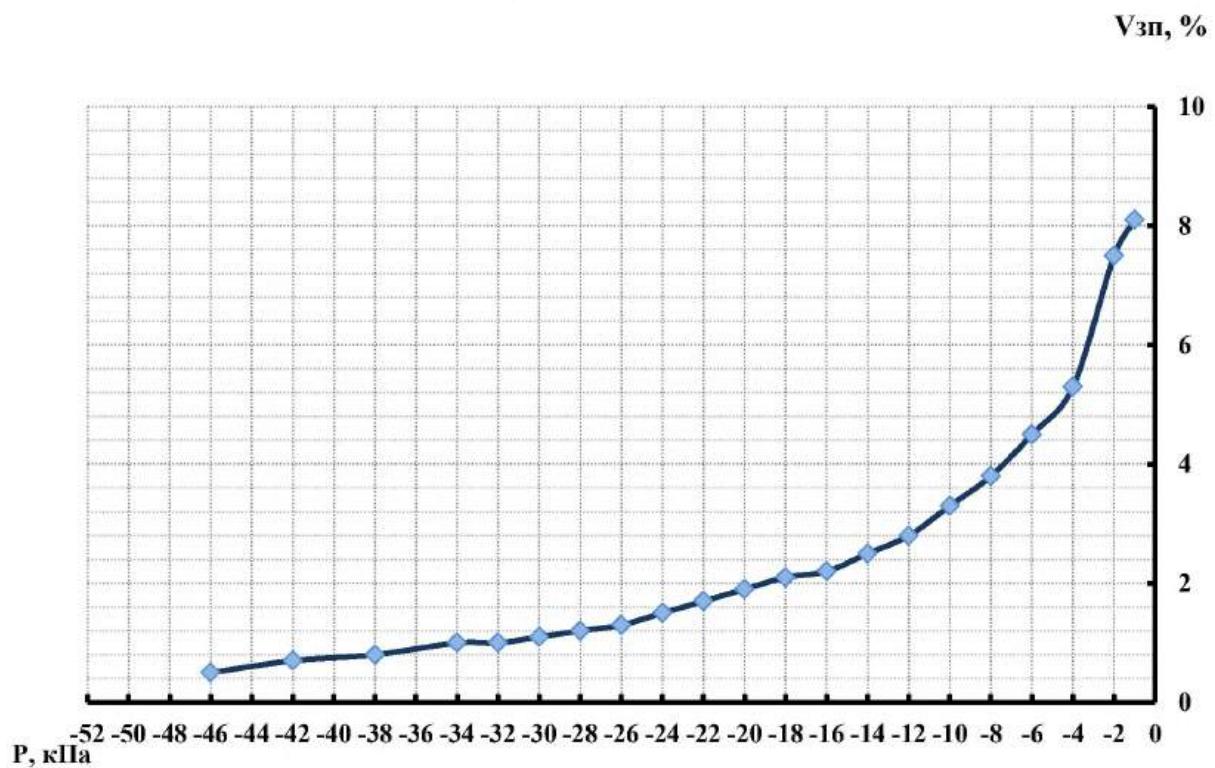


Рисунок 4.18 – Структурна характеристика порового простору ґрунту, $V_{\text{зп}} = f(P) = f(r_a)$, інтервал 0,60-0,75 м, зразок №37 (поле №4/1)

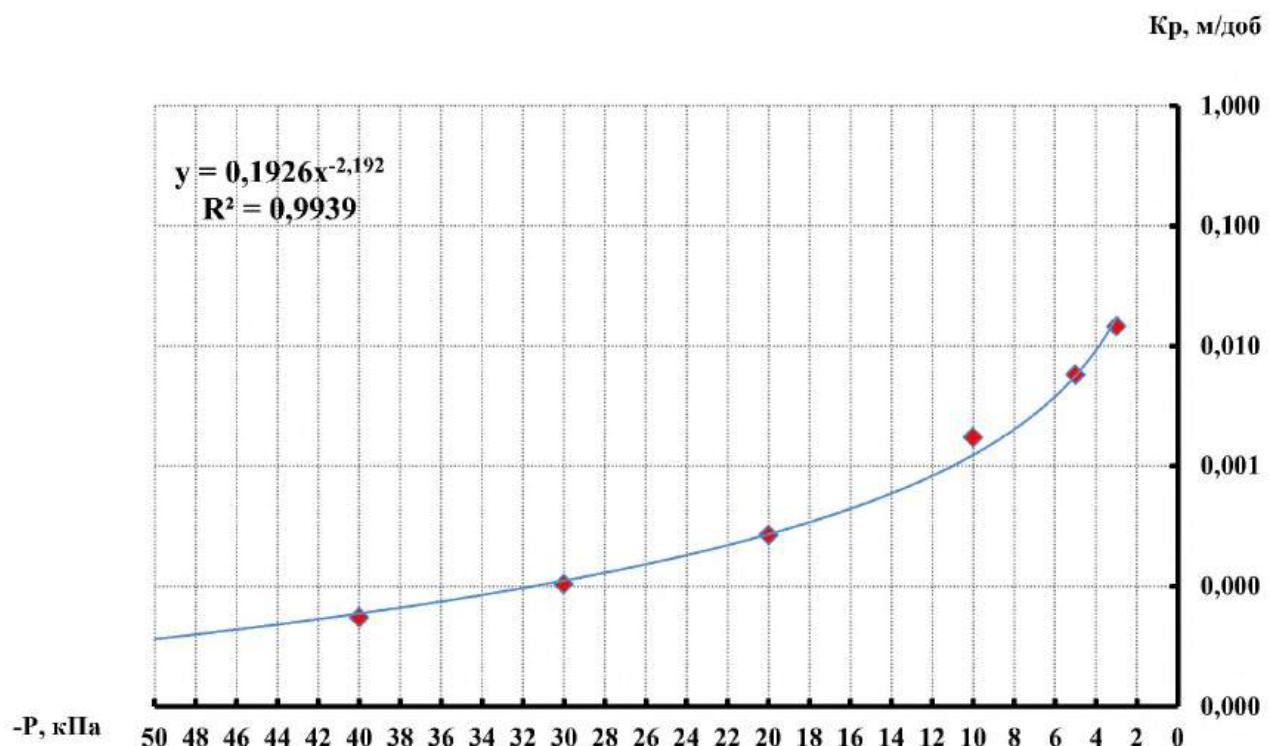


Рисунок 4.19 – Залежність вологопровідності ненасиченого ґрунту від капілярного тиску, $K_p = f(P)$, інтервал 0,60-0,75 м, зразок №37 (поле №4/1)

Таблиця 4.2 – Залежність вологопровідності ненасиченого ґрунту ($K_p, \frac{м}{доб}$) від капілярного тиску $K_p = f(P)$ при фіксованих значеннях P , кПа

Номер зразка	Інтервал, м	Капілярний тиск P , кПа						Регресійні рівняння
		-3	-5	-10	-20	-30	-40	
Поле №5/1								
10	0,10-0,25	$1,2 \cdot 10^{-2}$	$7,3 \cdot 10^{-3}$	$1,4 \cdot 10^{-3}$	$5,1 \cdot 10^{-4}$	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$7,0 \cdot 10^{-5}$	$y = 0,1472x^{-2,036}$ $R^2 = 0,9801$
14	0,30-0,45	$2,3 \cdot 10^{-2}$	$1,2 \cdot 10^{-2}$	$1,4 \cdot 10^{-3}$	$5,5 \cdot 10^{-4}$	$1,9 \cdot 10^{-4}$	$1,7 \cdot 10^{-5}$	$y = 0,2232x^{-2,021}$ $R^2 = 0,9794$
7	0,60-0,75	$1,7 \cdot 10^{-2}$	$4,0 \cdot 10^{-3}$	$5,0 \cdot 10^{-4}$	$2,6 \cdot 10^{-4}$	$2,4 \cdot 10^{-5}$	$1,6 \cdot 10^{-5}$	$y = 0,0679x^{-1,746}$ $R^2 = 0,915$
Поле №4/1								
39	0,10-0,25	$3,6 \cdot 10^{-2}$	$9,5 \cdot 10^{-3}$	$2,1 \cdot 10^{-3}$	$2,9 \cdot 10^{-4}$	$2,5 \cdot 10^{-4}$	-	$y = 0,3848x^{-2,258}$ $R^2 = 0,9828$
35	0,30-0,45	$3,0 \cdot 10^{-2}$	$7,2 \cdot 10^{-3}$	$1,6 \cdot 10^{-3}$	$2,3 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^{-4}$	$9,0 \cdot 10^{-5}$	$y = 0,3136x^{-2,3}$ $R^2 = 0,9904$
37	0,60-0,75	$1,5 \cdot 10^{-2}$	$5,7 \cdot 10^{-3}$	$1,7 \cdot 10^{-3}$	$2,7 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-4}$	$5,0 \cdot 10^{-5}$	$y = 0,1926x^{-2,192}$ $R^2 = 0,9939$

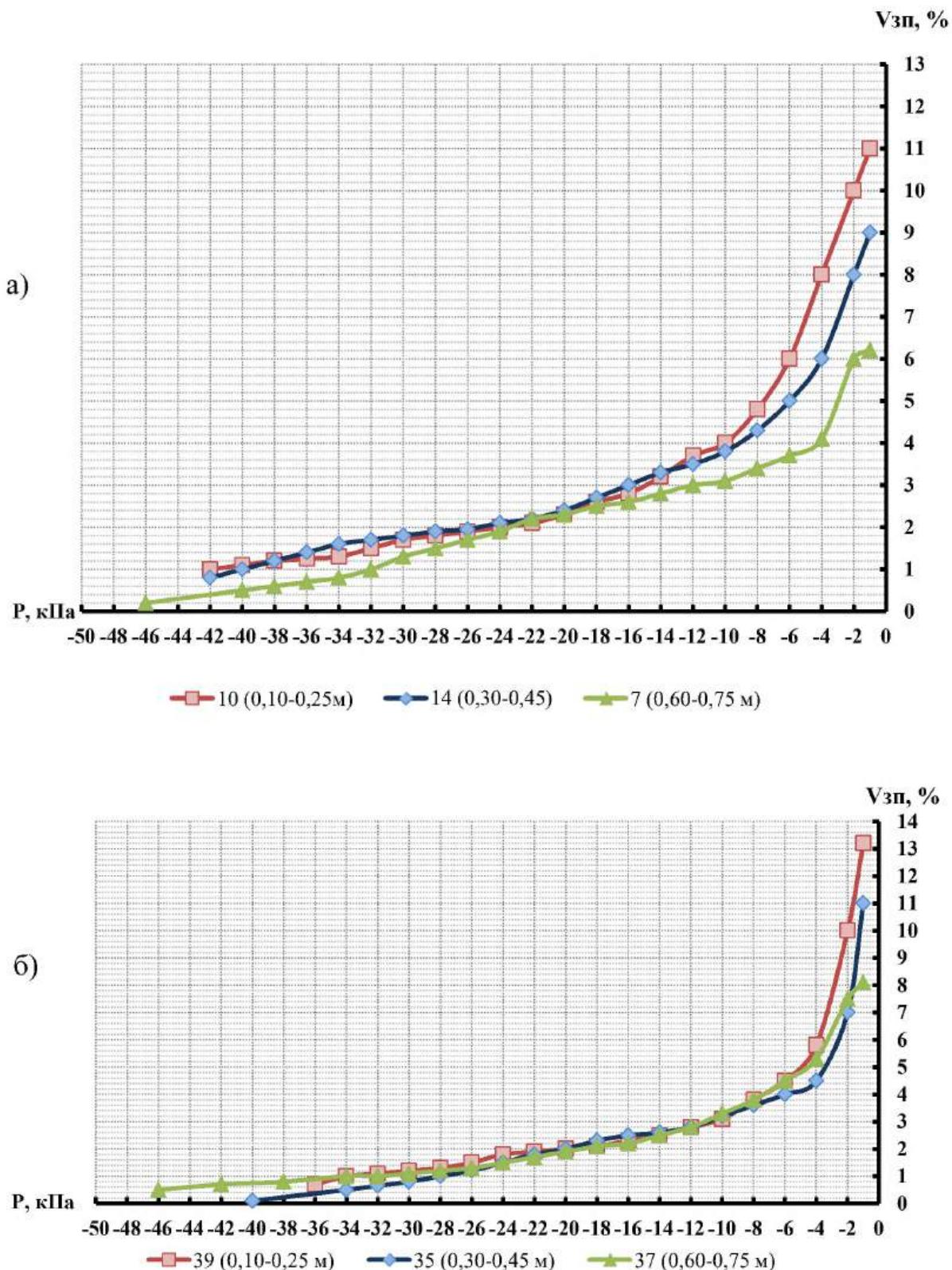


Рисунок 4.20 – Суміщені графіки структурної характеристики порового простору ґрунту, $V_{3n} = f(P) = f(r_a)$, з різних інтервалів ґрунтового профілю ділянок: а) поле №5/1; б) поле №4/1

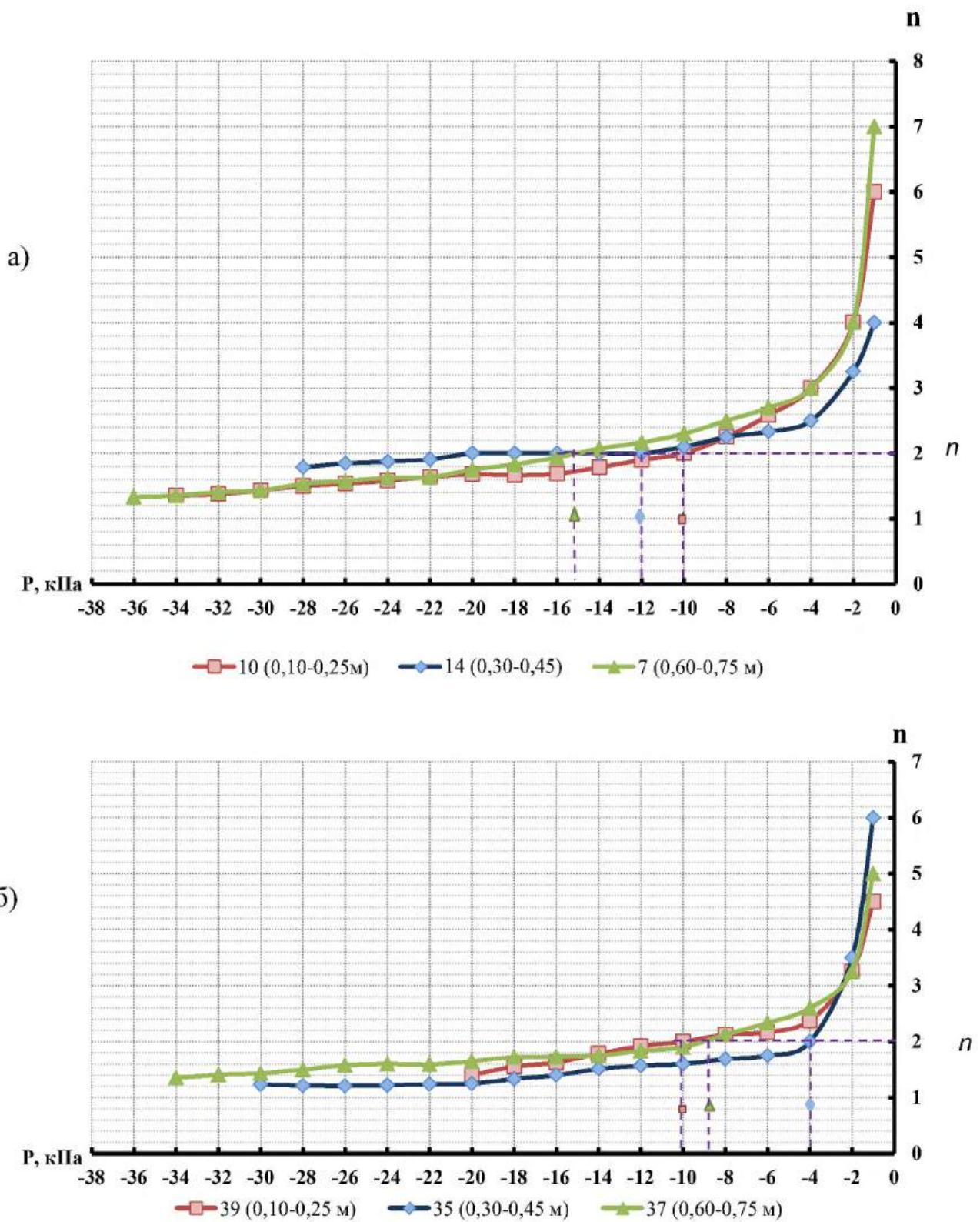


Рисунок 4.21 – Суміщені графіки показників структурної макропористості, $n = f(P) = f(r_a)$, з різних інтервалів ґрунтового профілю ділянок: а) поле №5/1; б) поле №4/1

Аналіз структурно-гідрофізичних особливостей порового простору ґрунтів на полях №4/1 та №5/1 засвідчив істотний вплив глибинного розподілу

пористості й вологопровідності на водний режим агроекосистем. Профілю поля №5/1 притаманна висока загальна пористість у оброблюваному шарі (до 54,71 %) зі зниженням до 48,10 % у глибших горизонтах, що сприяє ефективному накопиченню вологи та її капілярному переміщенню. Натомість у профілі поля №4/1 зафіксовано порівняно вищу пористість верхнього шару (55,10 %) із менш вираженим градієнтом зниження (до 51,75 %), але наявні чіткі перегини кривих макропористості в діапазоні тисків –4...–6 кПа свідчать про ущільнення нижніх горизонтів, ймовірно, зумовлене агротехнічним впливом.

Співвідношення розмірів пор та абсолютні значення макропористості підтверджують вищу агрономічну якість верхнього шару ґрунту на полі №4/1, де об'єм пор при тиску –1 кПа сягає 13 % проти 11 % на полі №5/1. Водночас у профілі поля №4/1 спостерігається інверсійний характер розподілу вологопровідності — з максимумом у верхньому шарі та значним зниженням у нижніх, що свідчить про негативний вплив тривалого механічного обробітку та ризик зниження інфільтраційної здатності. Це потенційно обмежує доступ вологи до кореневої зони рослин і потребує коригувальних агротехнічних заходів для оптимізації водного балансу.

Отримані дані щодо кривих водоутримувальної здатності, порової структури та вологопровідності (рис. 4.2–4.19, табл. 4.2) формують основу для подальшого аналізу впливу ґрунтової будови на водний режим і підкреслюють доцільність диференційованого підходу до управління зволоженням з урахуванням глибинного профілю та історії обробітку ґрунтів.

4.3 Обґрунтування параметрів управління водним режимом

На основі лабораторного аналізу гідрофізичних властивостей ґрунтів, відібраних із дослідних ділянок базового господарства ДП ДГ «Андріївське» (Білгород-Дністровський район, Одеська область), здійснено оцінку потенціалу для формування ефективного водного режиму з урахуванням потреб

біоенергетичних культур у зрошуваних агроекосистемах. Головною вимогою до режимів зрошення досліджуваних чорноземних ґрунтів є недопущення перевищення показника вільної вологомісткості у межах передполивного порогу, умовно прийнятого на рівні потенціалу водного тиску $P = -40$ кПа. Перевищення цієї межі призводить до інфільтраційних втрат поливної води за межі кореневої зони, що, у свою чергу, спричиняє підвищення рівня ґрутових вод та загрожує розвитком негативних екологічних наслідків зрошення.

Вільна ємкість, що характеризує диференційну вологомісткість кожного з трьох горизонтів обох ґрутових профілів і розрахована за залежністю ($\text{ПВ}-\theta_{40}$ кПа) наведена у табл.4.3. Проте значна частина цієї вологи не утримується каркасом ґрунту і гравітаційно стікає в глибші шари у межах вологості від повної вологомісткості (ПВ) до нижньої межі вологоутримання (НВ). У зв'язку з цим управління водним режимом доцільно розраховувати на вологомісткість ґрунту в діапазоні від НВ до θ_{40} кПа. Відповідні значення цієї «функціонально доступної» вільної ємності також наведені в таблиці 4.3. Їхній рівень є порівняно низьким — від 3,80 до 6,01 % за об'ємом. З огляду на поширену практику встановлення передполивного порогу у вигляді відсотка від НВ, у таблиці 4.3 наведено розраховані значення цього порогу, які забезпечують уникнення входження рослин у зону водного стресу. Вони коливаються у відносно вузькому діапазоні — від 83,2 % НВ до 88,5 % НВ для обох досліджуваних профілів. Недопустимим є зниження вологості навіть до рівня 80% НВ, оскільки це може привести до входження культур у фазу стресу та зниження біоенергетичної ефективності агроекосистем.. Оптимальним вважається підтримання вологості ґрунту в межах 85–90 % від НВ.

На основі рівноважної кривої сорбції проведено розрахунок максимальних поливних норм для шару зволоження глибиною 0,5 м, сформованого із двох основних генетичних горизонтів.

Для поля №5/1 ця величина становила 266 м³/га, а для поля №4/1 — 208,8 м³/га. (табл. 4.3)

Таблиця 4.3 – Обґрунтування параметрів управління водним режимом ґрунтів за їхніми водно-фізичними властивостями

Номер зразка	Інтервал, м	Найменша вологомісткість, НВ, % об	Капілярний тиск за НВ, P_{HB} , кПа	Передполовинний поріг, (вологость за $P=-40$ кПа) Θ_{-40kPa} , %	Диференційна вологомісткість ПВ- Θ_{-40} кПа, %	Діапазон вільної енергетики, $\Theta_{HB}-\Theta_{-40}$ кПа= $\Delta\Theta$, %	Передполовинний поріг % від НВ	Розрахунковий шар м	Поливна норма м, m^3/ga
Поле №5/1									
10	0,10-0,25	33,33	9,5	28,7	26,01	4,63	86,1	0,00-0,25	115,7
14	0,30-0,45	35,81	6,0	29,8	23,97	6,01	83,2	0,25-0,50	150,3
7	0,60-0,75	37,30	7,2	33,5	14,60	3,80	-	-	-
	0,00-0,50						Cp 84,4		$\Sigma=266,0$
Поле №4/1									
39	0,10-0,25	33,46	6,8	29,0	25,10	4,46	86,7	0,00-0,25	111,5
35	0,30-0,45	32,99	7,2	29,1	24,68	3,89	88,2	0,25-0,50	97,3
37	0,60-0,75	34,70	7,9	30,70	21,05	4,00	-	-	-
	0,00-0,50						Cp 88,5		$\Sigma=208,8$

З урахуванням імовірності гравітаційного стоку надлишкової вологи та потреби уникнення підтоплення і вторинного засолення, доцільно обмежити разові поливні норми в межах 200–250 m^3/ga . Таке обмеження гарантує екологічну безпеку зрошення та сприяє формуванню стійкого водного режиму в біоенергетичних агроекосистемах.

Таким чином, управління поливами в біоенергетичних агроекосистемах півдня Одеської області має базуватись на моніторингу вологості в контрольному шарі 0–60 см із дотриманням вузького інтервалу зволоження (85–90% НВ), що забезпечить як високу продуктивність культур, так і екологічну стійкість зрошення.

Висновки до розділу 4

1. Грунти дослідних ділянок (польова вологомісткість 22,5–25,7%, вологість в'янення 10,7–13,3%, продуктивна вологомісткість 11,4–12,7% об'ємно) здатні формувати запас доступної вологи в об'ємі лише 70-80 мм у шарі 0-60 см, що недостатньо для забезпечення високої та сталої продуктивності культур за сучасних кліматичних умов.
2. У досліджуваних умовах найбільш доцільним є використання низьконапірного та низькоінтенсивного дощування а також поверхневого або підґрунтового краплинного зрошення. При цьому оптимальні поливні норми становлять до 200 м³/га для дощування та до 75 м³/га для краплинного зрошення. Зволоження кореневого шару ґрунту слід підтримувати в межах 85–90% найменшої вологосмності (НВ), що відповідає значенню ґрунтового тиску –40 кПа. Такі режими зрошення забезпечують можливість отримання врожаїв с.-г. культур на рівні 0,85-0,9 потенціалу їх продуктивності за одночасної мінімізації або повного виключення втрат води на інфільтрацію.
3. Для збереження родючості ґрунтів доцільно поєднувати зрошення з систематичним внесенням органічних добрив, оскільки підвищена питома поверхня ґрунту в шарі 0,30–0,45 м вказує на акумуляцію колоїдів, що обмежує доступність поживних речовин для рослин.

Список використаних джерел до розділу 4

1. Rawls W.J., Brakensiek D.L., Saxton K.E. Estimation of soil water properties // Transactions of the ASAE. 1982. Vol. 25, No. 5. P. 1316–1320. DOI: [10.13031/2013.33720](https://doi.org/10.13031/2013.33720).
2. Ромашенко М.І., Коломієць С.С., Білоброва А.С. Система лабораторного діагностування водно-фізичних властивостей ґрунтів. Меліорація і водне господарство. 2019. №2. С. 199-208. <https://doi.org/10.31073/mivg201902-193>
3. Simunek J., van Genuchten M. Th., Sejna M. Development and Applications of the HYDRUS and STANMOD Software Packages and Related Codes. Vadose Zone Journal. 2008. Vol. 7, № 2. P. 587-600. <https://doi.org/10.2136/vzj2008.0012>
4. Valdivia-Cea W., Holzapfel E., Rivera D., Paredes J. Assessment of methods to determine soil characteristics for management and design of irrigation systems . Journal of Soil Science and Plant Nutrition. 2017. Vol. 17, № 3. P. 735–750. DOI: [10.4067/S0718-95162017000300014](https://doi.org/10.4067/S0718-95162017000300014)
5. Спосіб визначення структури порового простору ґрунтів (дисперсних середовищ) : Пат. 45287 Україна : МПК G01N15/08; заявл. 04.12.2008 : опубл. 10.11.2009, Бюл. № 21. 4 с.
6. Спосіб лабораторного визначення найменшої вологомісткості ґрунтів: пат. на корисну модель № 149414 Україна: МПК G01N 33/24 / С.С. Коломієць, М.І. Ромашенко, А.С. Білоброва; заявл. 14.05.2021 ; опубл. 17.11.2021, Бюл. № 46. — 6 с. URL: <https://iprop-ua.com/inv/pdf/9bdhrmwv-pub-description.pdf>

РОЗДІЛ 5 ОБГРУНТУВАННЯ СЦЕНАРІЙВ БІОЕНЕРГЕТИЧНОГО АГРАРНОГО ВИРОБНИЦТВА

Раціональне використання потенціалу біопродуктивності агроекосистем у зрошуваних умовах півдня Одеської області є стратегічним завданням, яке потребує комплексного наукового підходу з урахуванням агрокліматичних, агроекологічних та соціально-економічних особливостей регіону.

У цьому розділі представлені результати моделювання агроекосистем різного типу з акцентом на біоенергетичні системи, що поєднують високий рівень продуктивності, екологічну збалансованість та економічну ефективність. Моделювання базується на принципах системного аналізу, біоенергетичної та агроекологічної оцінки сільськогосподарських технологій, а також економіко-математичного прогнозування ефективності аграрного виробництва в специфічних умовах регіону.

3.1 Сучасний стан аграрного виробництва в регіоні досліджень

Аналіз статистичних даних щодо структури посівних площ в Одеській області показав, що у середньому за період 2016–2021 рр. площа посіву озимої пшениці становила 33 % від загальної посівної площи, озимого ячменю — 21 %, соняшнику — 26 %, інших культур — 20 %. На жаль, після 2021 року статистична інформація Державної служби статистики України щодо площ посіву сільськогосподарських культур, їх врожайності, собівартості та цін реалізації у відкритому доступі є обмеженою або недоступною. Разом із тим аналіз альтернативних джерел інформації (звітів департаменту аграрної політики, продовольства та земельних відносин Одеської обласної військової адміністрації, публікацій профільних установ і фахових видань) свідчить про те, що основні параметри виробничої діяльності с.-г. підприємств області та загальні закономірності їхньої динаміки після 2021 року суттєво не змінилися.

Сучасна практика ведення аграрного виробництва більшості господарств півдня Одеської області базується переважно на використанні сівозміни з чергуванням культур у такій послідовності: 1–2 — озимі зернові

культури (пшениця, ячмінь); 3 — соняшник; 4 — озимий горох та інші культури. Таке співвідношення культур пояснюється агрокліматичними особливостями регіону: за умов нестабільного зволоження озимі культури найбільш ефективно використовують осінньо-зимові запаси вологи, тоді як соняшник завдяки своїй високій посухостійкості є менш чутливим до дефіциту вологи в ґрунті в літній період. Отже, попри обмежений доступ до офіційної статистики, структура посівних площ в Одеській області залишається відносно стабільною та узгоджується з природно-кліматичними умовами регіону, що сприяє оптимальному використанню агроресурсів в умовах зростаючої посушливості.

Аналіз статистичних даних щодо врожайності сільськогосподарських культур в Одеській області за 2016–2021 рр. свідчить про високу варіабельність цього показника за змінних погодних умов, насамперед рівня зволоження (рис.5.1). Так, врожайність озимої пшениці коливалася від 19,4 до 38,5 ц/га, середній рівень становив 31,4 ц/га; кукурудзи — від 16,9 до 47,5 ц/га (середній рівень — 34,1 ц/га); озимого ріпаку - від 13,1 до 20,9 ц/га (18,2 ц/га); соняшнику — від 12,2 до 21,4 ц/га (17,4 ц/га); сої — від 6,1 до 28,8 ц/га (16,0 ц/га).

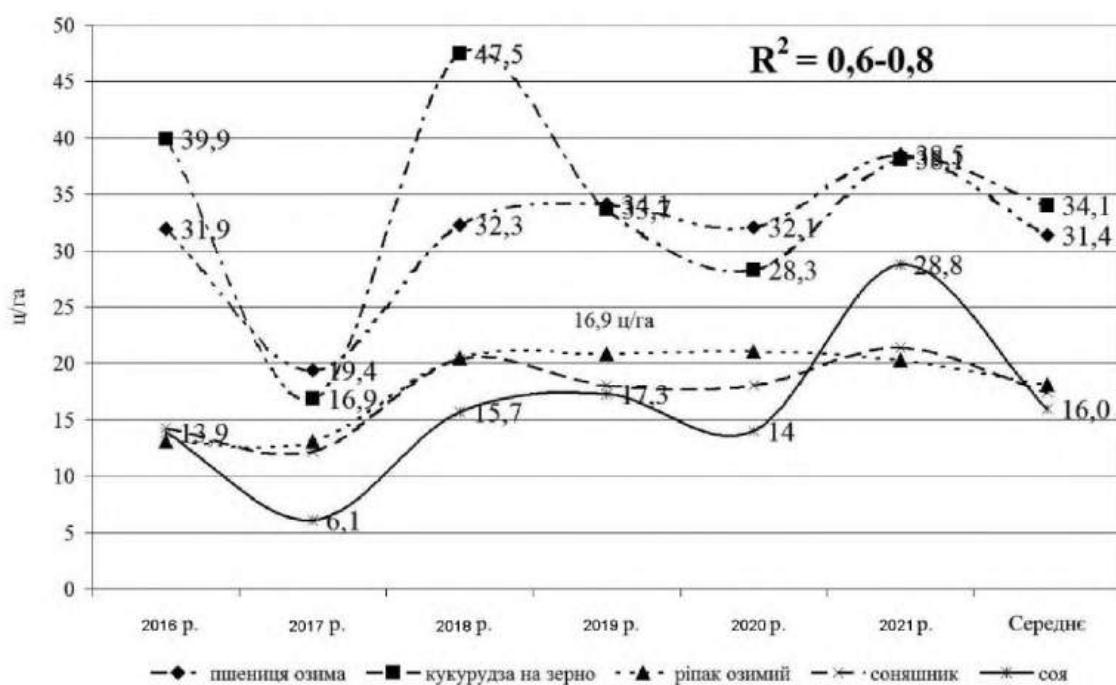


Рисунок 5.1 – Динаміка врожайності окремих сільськогосподарських культур в Одеській області

Ступінь достовірності апроксимації залежності врожайності культур від погодних умов (зволоження) характеризується значенням $R^2 = 0,6-0,8$. Крім того, можна відзначити, що у найбільш сприятливий рік кукурудза за продуктивністю істотно переважає озиму пшеницю, а соя - озимий ріпак і соняшник. У найбільш несприятливий рік спостерігається зворотна картина.

За статистичними даними по Одеській області за 2016–2021 pp. собівартість продукції окремих культур також істотно коливалася: озимої пшениці — від 63 до 182 \$/т, кукурудзи — від 63 до 218 \$/т, ріпаку — від 147 до 430 \$/т, соняшнику — від 136 до 364 \$/т, сої — від 180 до 542 \$/т, середні показники відповідно становили 120, 120, 286, 239 і 342 \$/т. Амплітуда коливання собівартості продукції окремих культур достовірно корелює зі зміною сприятливості умов вирощування по роках ($R^2 = 0,7-0,8$) (рис. 5.2).

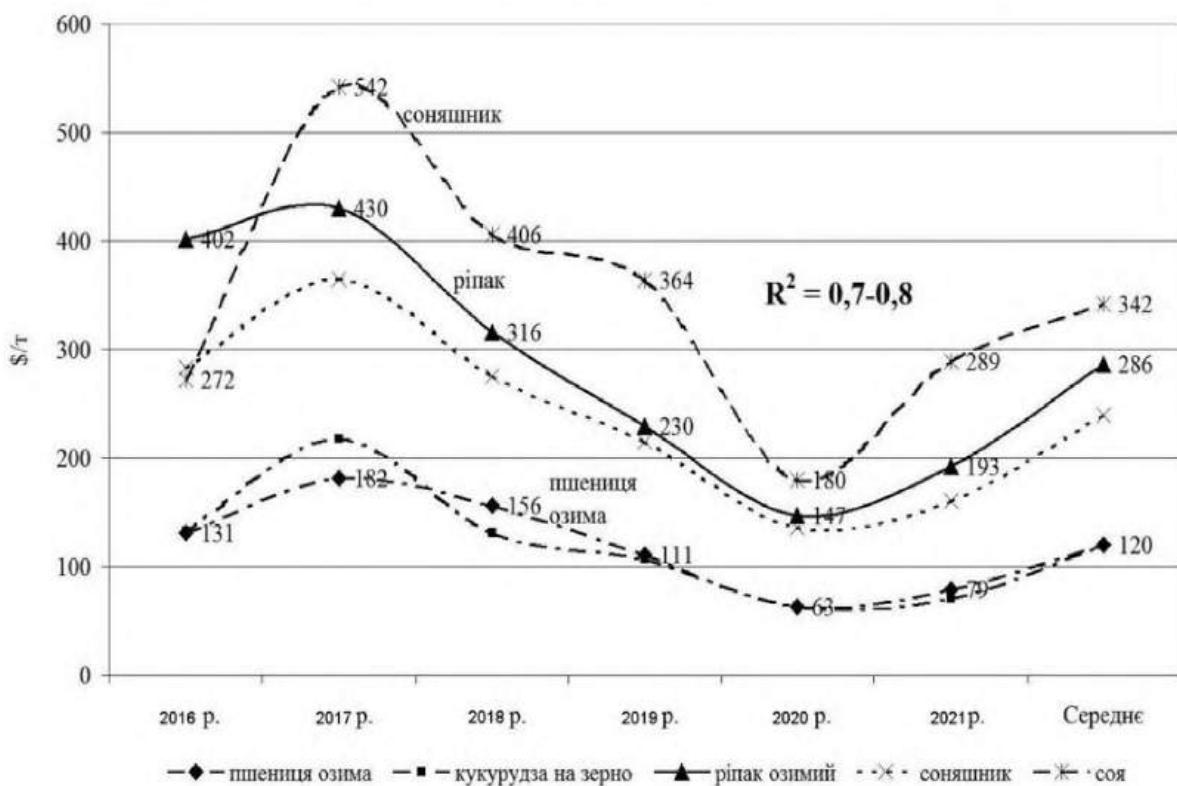


Рисунок 5.2 – Динаміка собівартості сільськогосподарських культур стосовно змін умов вирощування по Одеській області

Аналогічна ситуація спостерігається з ціною реалізації продукції. Цей показник для озимої пшениці коливався в межах 100–191 \$/т, кукурудзи — 99–

193 \$/т, ріпаку — 275–493 \$/т, соняшнику — 264–460 \$/т та сої — 246–418 \$/т. Середні значення відповідно становили 148, 141, 378, 349 та 356 \$/т. Таким чином, ціна реалізації продукції всіх культур демонструє тісний опосередкований зв'язок із погодними умовами через вплив останніх на рівень урожайності. При цьому коефіцієнт достовірності апроксимації залежності цін реалізації від урожайності (як наслідку погодних умов) є ще вищим і становить $R^2 = 0,7-0,9$ (рис. 5.3).

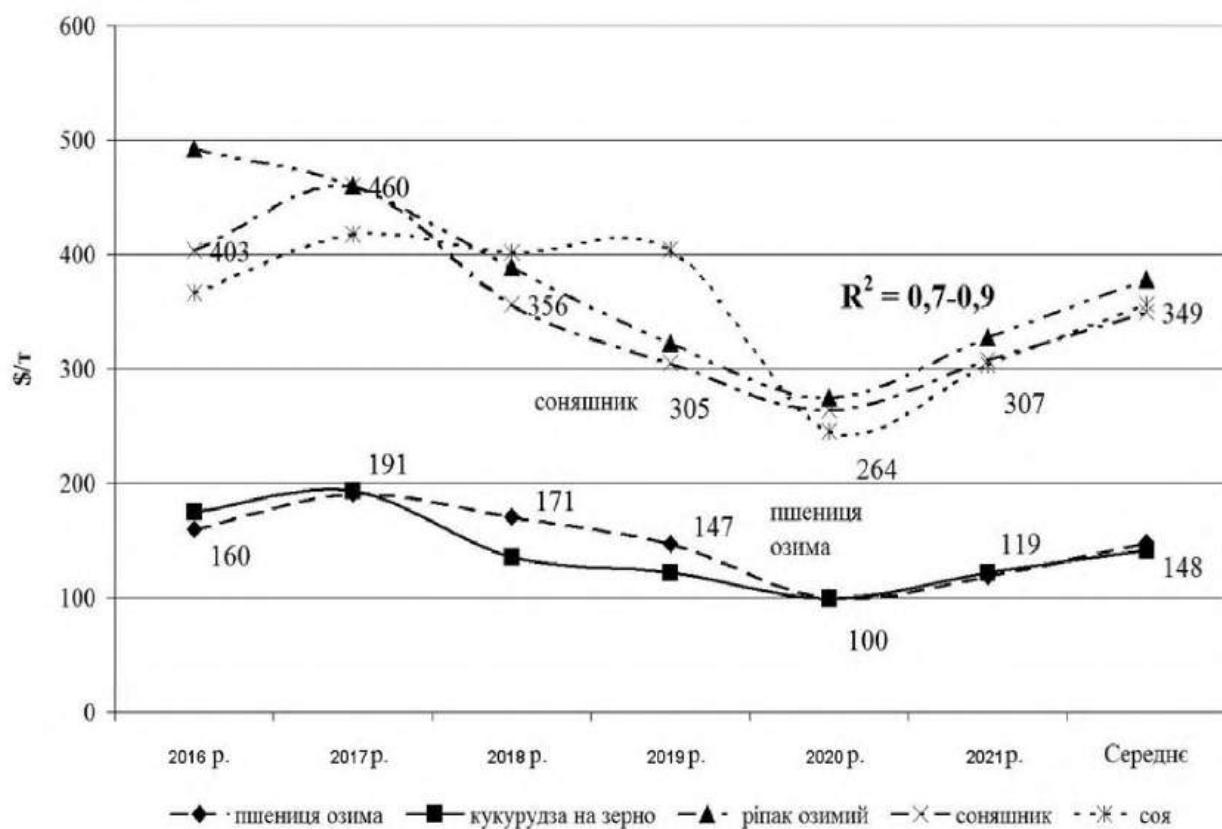


Рисунок 5.3 – Динаміка цін реалізації продукції залежно від умов вирощування в Одеській області

У результаті прибутковість озимої пшениці за 2011–2016 рр. коливалася від 17 до 153 \$/га (середнє значення — 86 \$/га), озимого ріпаку — від 39 до 273 \$/га (166 \$/га), соняшнику — від 116 до 315 \$/га (192 \$/га). Кукурудза та соя в окремі роки виявилися збитковими, а середні значення чистого прибутку від їх вирощування становили відповідно 71 і 23 \$/га (рис. 5.4). Такі результати, очевидно, і визначають обмеження площ посіву цих культур у регіоні.

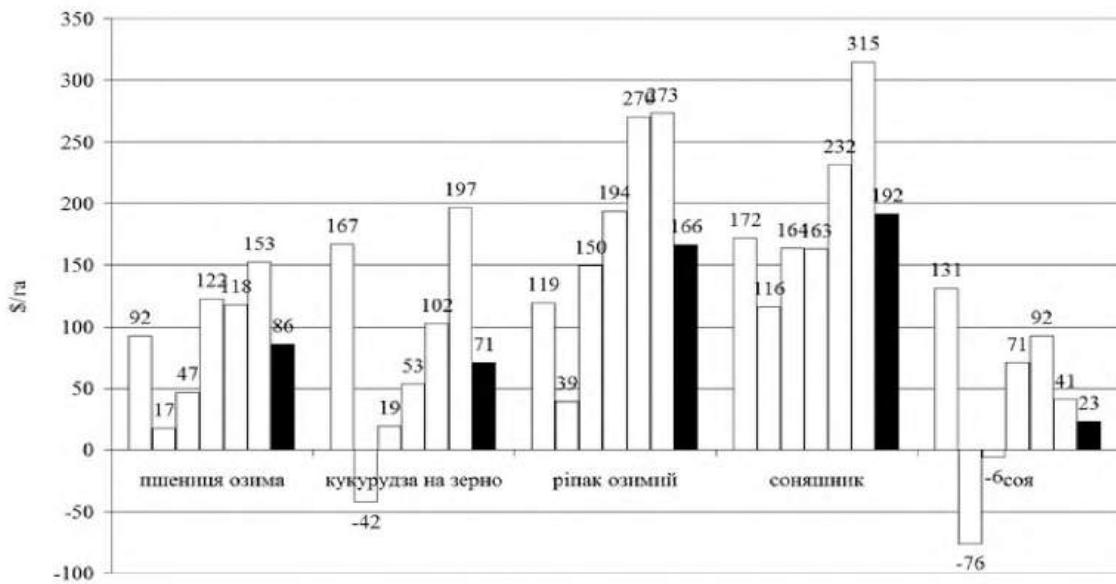


Рисунок. 5.4 – Прибутковість і збитковість сільськогосподарських культур залежно від умов вирощування в Одеській області

Таким чином, за чистим прибутком культури розташовуються у порядку зростання наступним чином: соя, кукурудза, озима пшениця, озимий ріпак, соняшник. Якби ці культури займали однакову частку в структурі посівних площ області, то чистий прибуток на гектар ріллі становив би 108 \$/га; без сої цей показник складав би 129 \$/га; без сої й кукурудзи — 148 \$/га; без сої, кукурудзи й озимої пшениці — 179 \$/га (рис. 5.5).

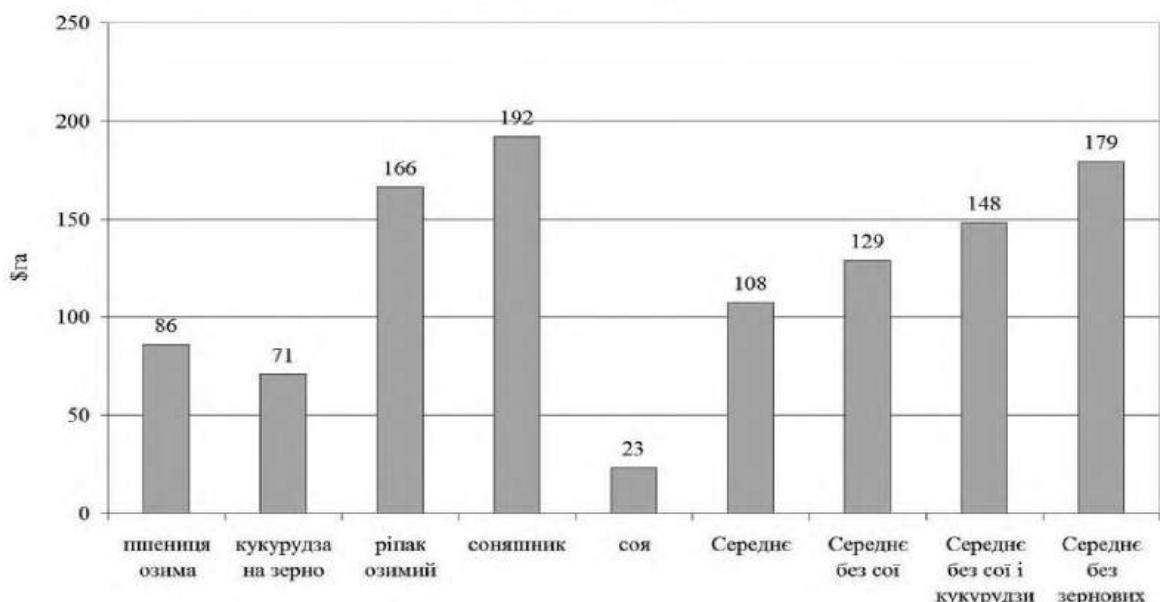
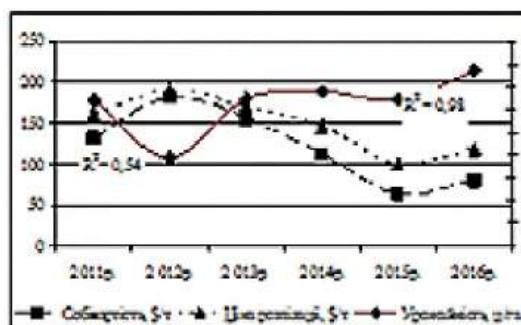


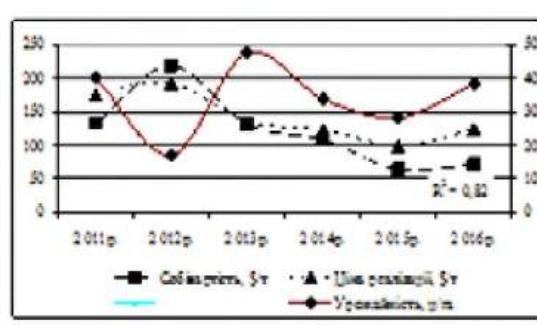
Рисунок 5.5 – Потенціал прибутковості ріллі за різної структури посівних площ при сучасній практиці ведення аграрного виробництва

Як зазначалося вище, на даний час в області пріоритет віддається озимим зерновим. Наведений аналіз свідчить, що структуру посівів з погляду підвищення економічної ефективності рослинництва доцільно змінювати в бік розширення площ озимого ріпаку.

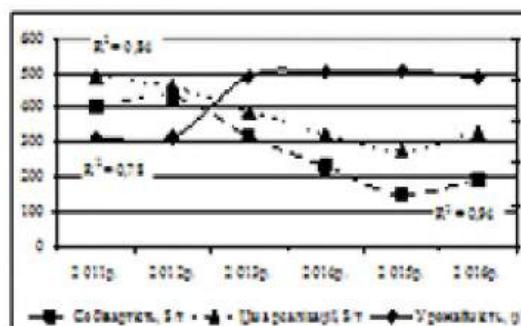
Аналіз статистичних даних в області також показав існування тісної прямої залежності між ціною реалізації продукції всіх досліджуваних культур і їх собівартістю, а також зворотної залежності цих показників від урожайності посівів (рис. 5.6). Тобто чим менш сприятливі погодні умови й нижча врожайність культур, тим вищі собівартість продукції та ціна її реалізації. Причини такої залежності (закони ринкової економіки, політика монополістів-трейдерів чи інші чинники) потребують подальшого вивчення.



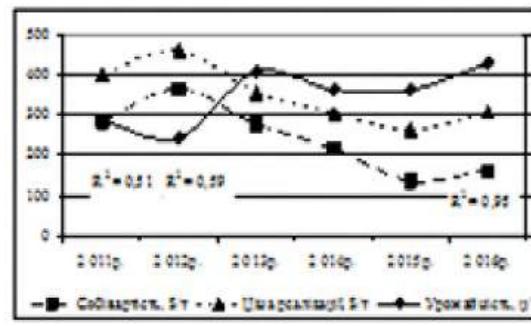
пшениця озима



кукурудза



ріпак



соняшник

Рисунок 5.6 – Взаємозв'язок ціни реалізації, собівартості та врожайності сільськогосподарських культур в Одеській області

Очевидним є одне: за сучасної пошиrenoї виробничої практики чистий прибуток виробників продукції рослинництва в області обмежений і залежно від структури посівних площ у середньому за роками може коливатися в межах 100–200 \$/га зі значними перепадами між окремими роками.

Так, за фактичною структурою посівних площ, урожайністю, собівартістю продукції та ціною її реалізації чистий прибуток на 1 га ріллі в Одеській області у 2011–2016 рр. варіював від 33 до 188 \$/га із середнім значенням 111 \$/га (рис. 5.7). Це свідчить про економічну нестабільність виробничої діяльності в умовах змінного зволоження й пов'язані з цим значні ризики для виробників, особливо при залученні кредитних ресурсів. Своєю чергою, таке положення призводить до обмеженого використання засобів виробництва, зокрема мінеральних добрив, що неминуче супроводжується агрохімічною деградацією ґрутового покриву.

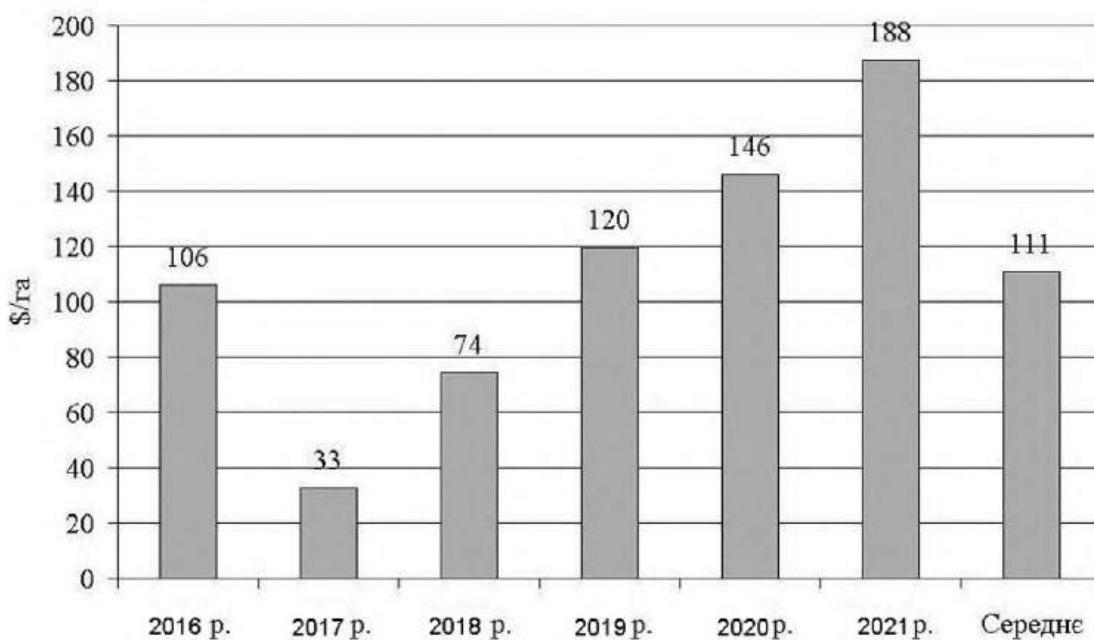


Рисунок 5.7 – Динаміка та середнє значення прибутковості 1 га ріллі за фактичною структурою посівних площ в Одеській області

Отримані результати характеризують стан і динаміку економічних показників сільськогосподарського виробництва на рівні області. Водночас важливе значення для обґрунтування напрямів підвищення ефективності агроекосистем має аналіз діяльності конкретного господарства, на базі якого

проводилися дослідження. Далі подано характеристику виробничих параметрів ДП ДГ «Андріївське» за 2010–2021 рр.

За останні 10 років частка ярих зернових і зернобобових культур у структурі посівних площ скоротилася з 40 % до 15 %, тоді як частка озимих зернових (пшениці та ячменю) зросла з 30 % до 50 %. (рис 5.8).

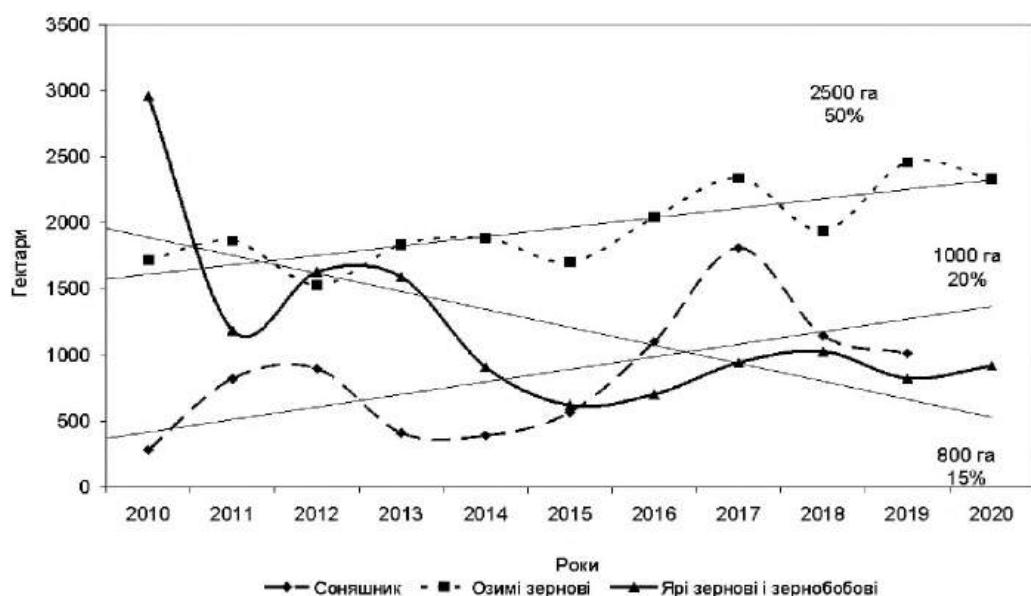


Рисунок 5.8 – Динаміка посівних площ сільськогосподарських культур

Площа під соняшником зросла з 10 % до 20 %. Середня врожайність озимих зернових за вказаній період становила 28 ц/га, ярих зернових — 19 ц/га, зернобобових — 11 ц/га, соняшнику — 12 ц/га (рис 5.9).

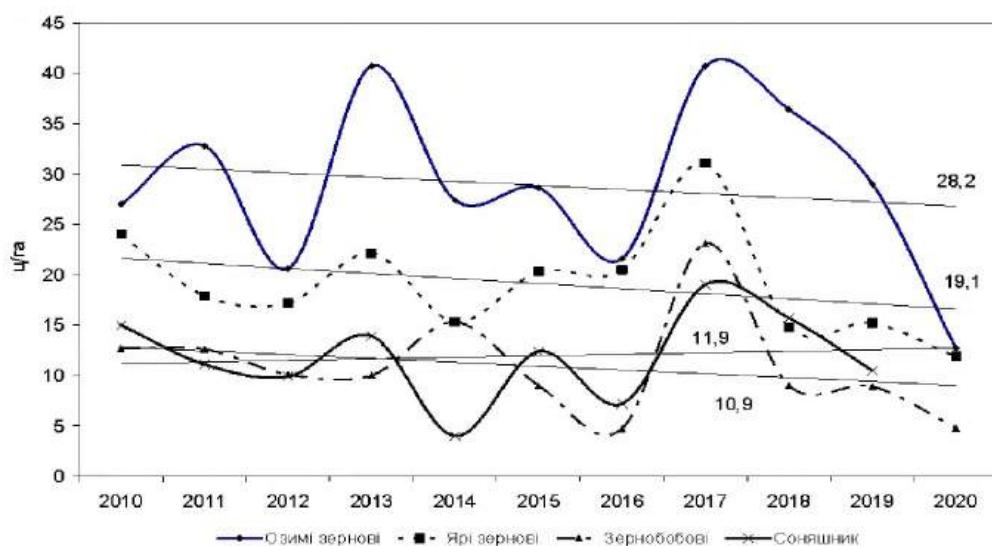


Рисунок 5.9 – Динаміка врожайності за 2010–2021 рр.

Порівняння структури посівних площ у ДП ДГ «Андріївське» та в цілому по Одеській області показало, що в обох випадках частка озимої пшениці й соняшнику є практично однаковою й становить відповідно близько 30 % і 20 %. Це свідчить про те, що сучасна практика ведення виробничої діяльності підприємства є типовою для регіону.

Врожайність пшениці озимої за останні 10 років істотно коливалася залежно від погодних умов та агрокліматичних факторів, у середньому становлячи близько 30 ц/га (рис.5.10).

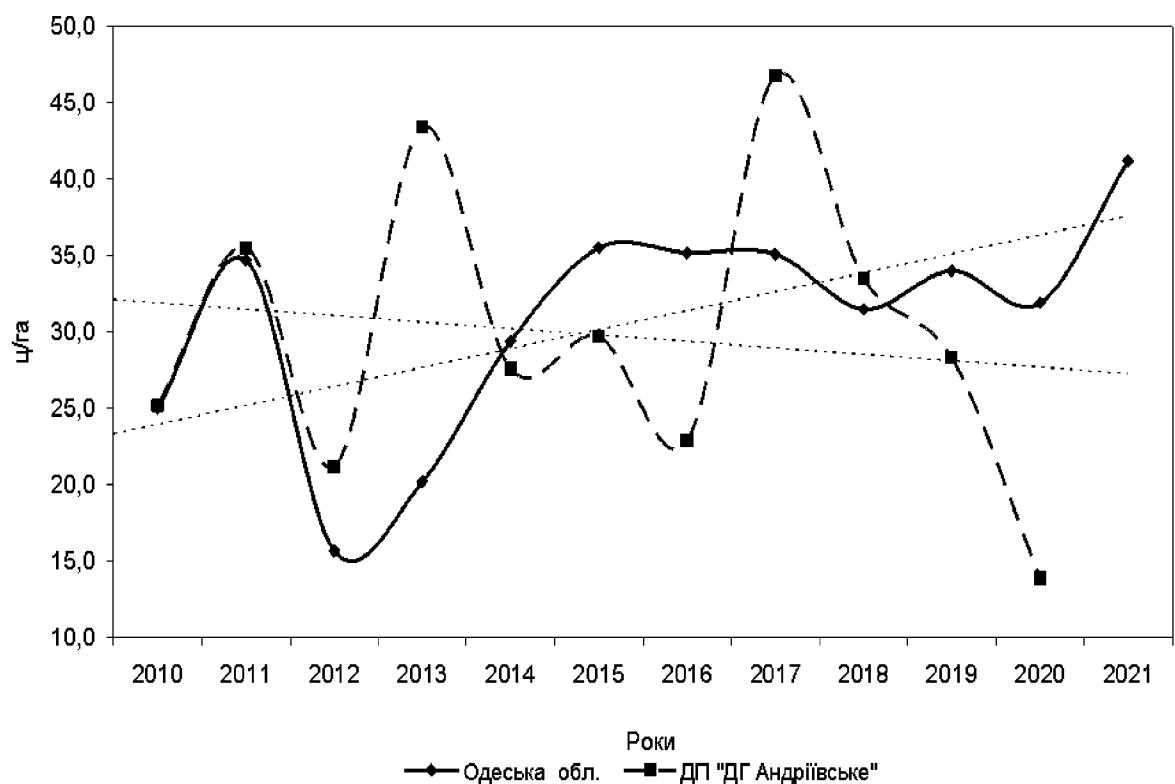


Рисунок 5.10 – Динаміка врожайності пшениці озимої

Врожайність соняшнику по Одеській області в середньому за 10 років дорівнювала 18 ц/га, тоді як по ДП ДГ «Андріївське» - близько 12 ц/га (рис 5.11).

Таким чином, виходячи з нинішньої структури посівних площ як по Одеській області, так і по підприємству, можна виділити типове чергування культур у регіоні: 1 - пшениця озима; 2 - соняшник; 3 - ячмінь озимий; 4 - ярі зернові, зернобобові, кормові та інші культури.

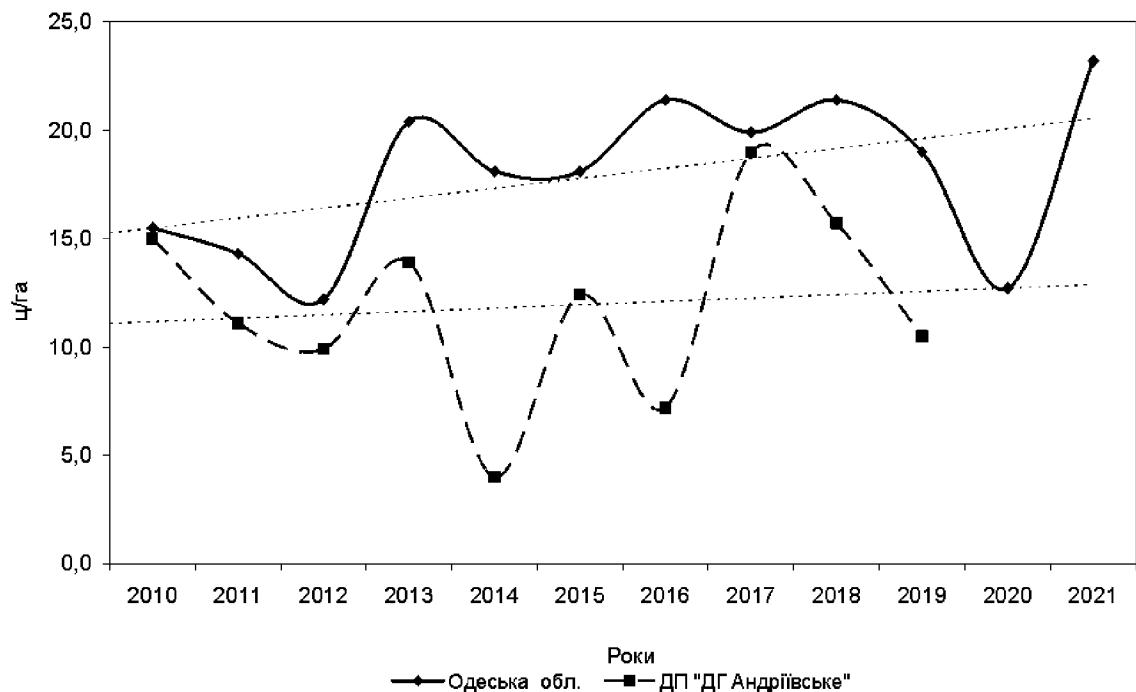


Рисунок 5.11 – Динаміка врожайності соняшнику

Найбільша частка посівів озимих зернових зумовлена їх здатністю ефективно використовувати наявні запаси вологи, зокрема накопиченої в осінньо-зимовий період. Соняшник також відрізняється здатністю ефективно використовувати вологу, зокрема важкодоступну з глибших шарів ґрунту.

5.2 Оптимізація галузевої структури аграрного виробництва

Одним із ключових чинників підвищення ефективності біоенергетичного аграрного виробництва є оптимізація галузевої структури агроекосистеми з урахуванням особливостей кругообігу макроелементів (азоту, фосфору, калію). Галузева структура визначає баланс, рециркуляцію та втрати біогенних елементів, ступінь їх відчуження за межі агроекосистеми та потребу у зовнішніх джерелах живлення.

Для ілюстрації цього впливу наведено схему (рис. 5.12) типових варіантів організації агропромислового комплексу та пов'язаних із ними втрат макроелементів.

При повному відчуженні всієї біомаси з поля втрати становлять у середньому: N – 150 кг/га, P – 50 кг/га, K – 100 кг/га. Якщо основна продукція (ОП) відчужується, а побічна продукція (ПП) залишається на полі як добриво, за межі системи вилучається близько N – 80%, P – 70%, K – 60% від первинного виносу. У разі використання ПП у тваринництві та повернення частини органічних добрив до ґрунту відбувається повернення приблизно N – 15%, P – 30%, K – 30–40%.

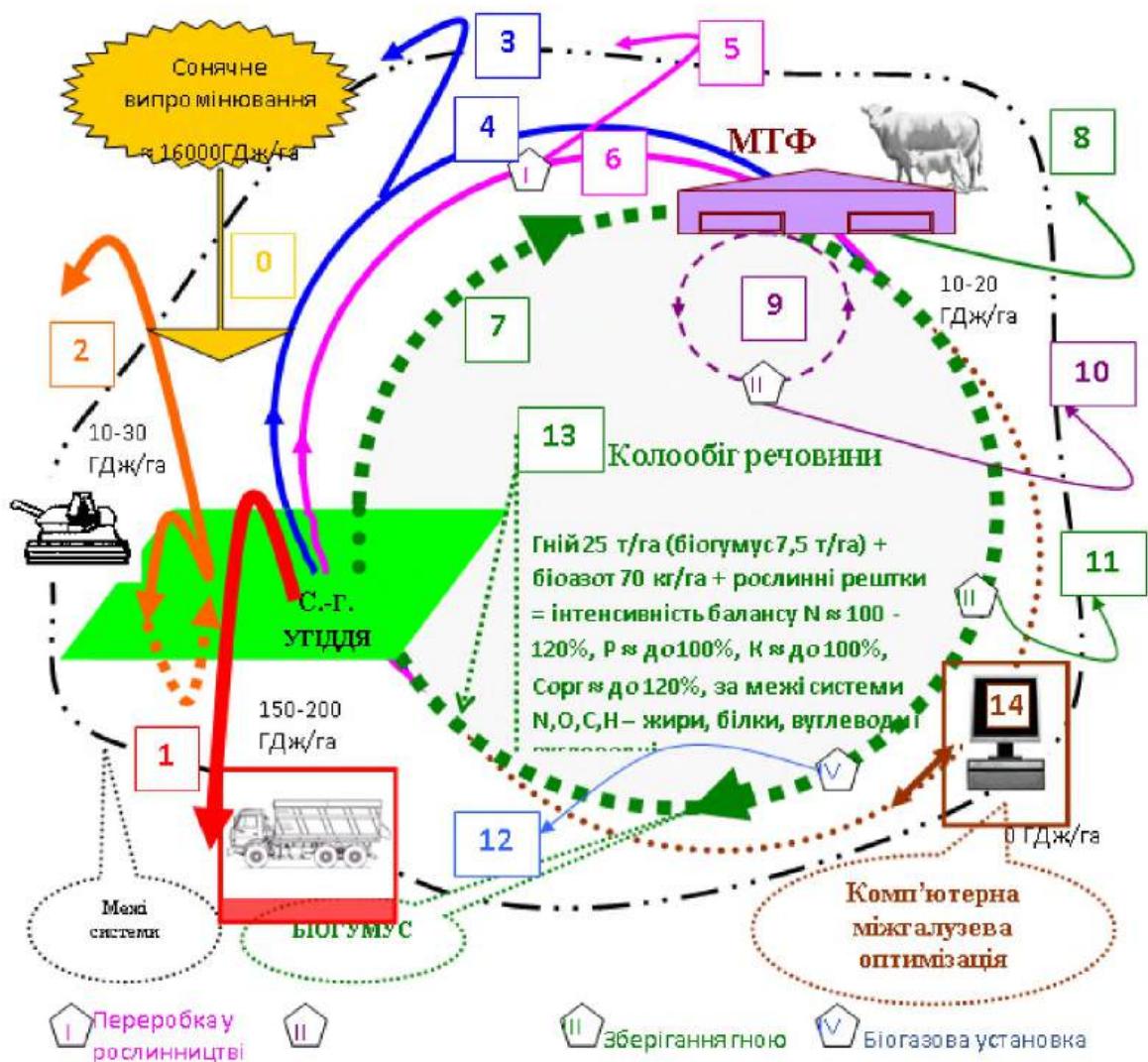


Рисунок 5.12 – Схема впливу галузевої структури агроекосистеми на кругообіг основних макроелементів

При переробці ОП на продукти (борошно, крупу, олію тощо) за межі агроекосистеми виноситься близько N – 40%, P – 30%, K – 20%, тоді як відходи переробки використовуються на корм.

Використання всієї ОП і ПП у тваринництві сприяє зменшенню втрат біогенних елементів: із живою вагою та незбираними залишками втрачається N – 25%, P – 35%, K – 5%. При переробці продукції тваринництва на молоко, м'ясо та використанні відходів переробки на корм з готовою продукцією відчукується N – 15–20%, P – 10%, K – 2%.

У разі переробки органічних відходів на біогазових установках (БГУ) з агроекосистеми вилучається переважно енергетично цінна органічна речовина, тоді як біогенні елементи здебільшого залишаються у складі дигестату. Таким чином, підвищення ефективності використання макроелементів може забезпечуватися за рахунок міжгалузевої оптимізації та управлінням агроекосистемою, що сприяє розвитку систем рециркуляції, біологічної азотфіксації та обмеженим використанням мінеральних добрив в умовах органічного землеробства.

5.3 Моделювання виробничої структури з урахуванням біоенергетичного потенціалу

Перспективні варіанти розвитку галузевої структури агропромислового комплексу в умовах Степової зони півдня Одещини розроблено з урахуванням зростаючого теплового ресурсу території [1]. Водночас головним лімітуючим фактором продуктивності сільськогосподарських культур залишається недостатнє зволоження [2]. За умов обмежених водних ресурсів і високих витрат на зрошення, які можуть сягати 1,0 тис. і більше у.о. на гектар (залежно від вартості води, електроенергії, амортизації зрошувальних систем та інших складових) [3], економічна доцільність зрошення безпосередньо залежить від високого рівня агротехніки та врожайності культур. Зокрема, для забезпечення рентабельності при дощуванні необхідно досягати мінімальної урожайності: пшениці озимої — не менше 6 т/га, кукурудзи — 7 т/га, сої, ріпаку, соняшнику — 3 т/га, томатів — 60 т/га [4]. Застосування інтенсивних технологій краплинного зрошення забезпечує істотне підвищення врожайності у

порівнянні з багарними умовами: овоче-баштанні культури та картопля — у 5 разів, кукурудза — у 3,4 рази, соя — у 2,2 рази, цукрові буряки — у 2,4 рази, лікарська сировина — майже у 4 рази [5]. За таких умов чистий прибуток може перевищувати 700 у.о. на гектар.

Розроблені моделі агровиробництва враховують сукупність регіональних факторів: агрокліматичний потенціал, структуру земельного фонду, забезпеченість водними ресурсами, технічний стан зрошувальної інфраструктури та можливості її модернізації, а також потенціал вирощування біомаси як відновлюваного джерела енергії. Особливу увагу приділено адаптивності моделей до кліматичних трансформацій, характерних для південних регіонів України, що є ключовою умовою забезпечення довгострокової стабільності та ефективності аграрного виробництва. Здійснено порівняльний аналіз розроблених моделей за сукупністю критеріїв: продуктивність біомаси, енергетична ефективність, економічна віддача інвестицій, рівень ресурсозбереження. Це дозволяє визначити найбільш збалансовані підходи для впровадження у практику господарської діяльності сільськогосподарських підприємств регіону. Запропоновані науково-практичні рішення формують методологічну основу трансформації традиційних агроекосистем у високопродуктивні біоенергетичні комплекси, здатні забезпечити не лише ефективне виробництво сільськогосподарської продукції, а й генерацію відновлюваної енергії за умов збереження екологічної стабільності агроландшафтів півдня Одеської області.

Для більш повної реалізації агроресурсного потенціалу та підвищення ефективності використання земельних ресурсів у зрошуваних умовах було переглянуто виробничу структуру господарства з урахуванням вирощування біоенергетичних культур. Дослідження включало аналіз організаційно-економічних умов ефективного функціонування моделей шляхом оптимізації структури посівних площ, адаптації сівозмін, інтеграції тваринництва і рослинництва, а також застосування ресурсозберігаючих технологій.

Для проведення комп'ютерного багатоваріантного імітаційного моделювання використовували програмний модуль «Агроекосистема» у складі комплексу «Агроресурси» (додаток Д). Як зазначалося вище, комп'ютерне імітаційне моделювання дає змогу досліджувати, прогнозувати (рис. 5.13) та формувати оптимальні управлінські рішення ще до їх практичної реалізації в складних системах, для яких фізичний експеримент є утрудненим, економічно недоцільним або навіть небезпечним, оскільки може спричинити значні матеріальні, соціальні чи інші втрати, а в окремих випадках — повну втрату системи.

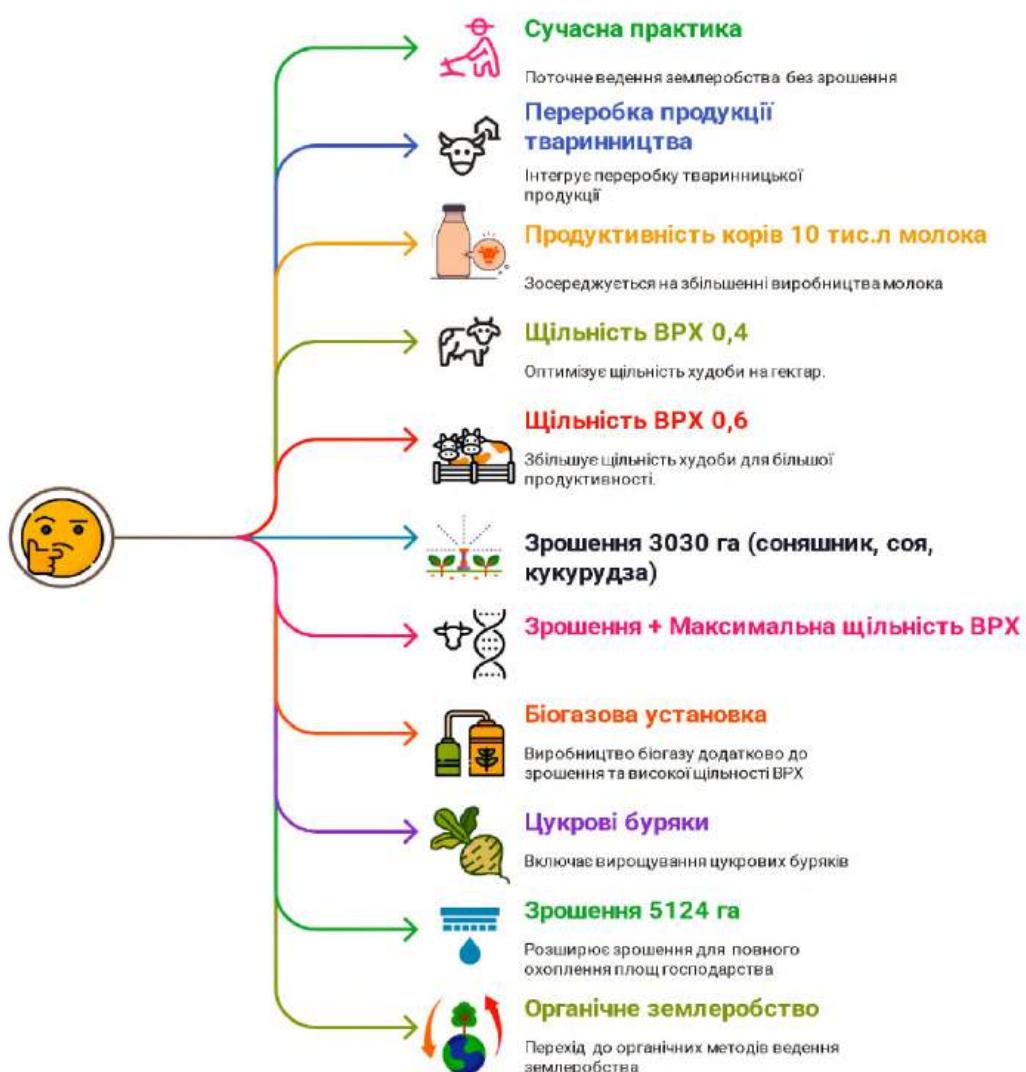


Рисунок 5.13 – Схематичне представлення запропонованих 11 сценаріїв розвитку базового агропідприємства

Крім того, слід зазначити, що для проведення натурного експерименту в більшості випадків необхідно мати великий проміжок часу, що особливо

стосується сільськогосподарського виробництва, а це суттєво подовжує строки виконання науково-дослідних робіт і, таким чином, не дає можливості коректного розв'язання проблеми у необхідні терміни. Зрозуміло, що варіантів вдосконалення виробничої діяльності підприємства може бути незліченна кількість. Однак обрані для аналізу гіпотетичні варіанти ґрунтуються на багаторічних експериментальних і теоретичних дослідженнях, сучасних технологічних досягненнях та можливостях використання фінансових ресурсів. Їх порівняння дає змогу проаналізувати особливості функціонування окремих складових аграрного виробництва як окремо, так і в єдиній системі. Виявлені переваги і недоліки використовуються на наступному етапі проектування реконструкції виробничої системи в напрямку найбільш раціонального використання усіх наявних ресурсів в оптимальному їх поєднанні [6].

Модель №1 – «Сучасна практика без зрошення».

Аналіз динаміки посівних площ у ДП ДГ «Андріївське» за останнє десятиріччя свідчить про стабільне домінування озимих зернових культур (43 %), значну частку соняшнику (23 %) та відносну різноманітність у групі інших культур (34 %). (рис. 5.14). Співставлення цієї структури з середніми показниками по області свідчить про незначну різницю у сучасній практиці ведення аграрного виробництва, що характерна для більшості агропідприємств регіону. Типова сівозміна включає: 1–2 роки – озимі зернові; 3-й рік – соняшник; 4-й рік – зернобобові та інші культури.



Рисунок 5.14 – Структура посівних площ ДП ДГ «Андріївське» порівняно з Одеською областю (%)

Упродовж 2010–2020 рр. урожайність озимих пшениці та ячменю в господарстві коливалася в межах 12,7–40,7 ц/га і в середньому становила близько 29 ц/га (рис. 5.15).



Порівняння середніх, максимальних і мінімальних значень врожайності



Рисунок 5.15 – Динаміка врожайності основних культур у ДП ДГ «Андріївське» (ц/га)

Зокрема, урожайність пшениці озимої становила 13,9–46,8 ц/га, у середньому – 38 ц/га; соняшнику – 4,0–15,7 ц/га, у середньому – 11,9 ц/га; гороху – 4,8–23,1 ц/га, у середньому – 10,9 ц/га.

Наразі для забезпечення дійного стада у 80 корів із річною продуктивністю 4 тис. л молока на одну голову, а також відповідної кількості телят і нетелів, у господарстві необхідно щорічно заготовляти обсяг кормів, який, за середньої врожайності кормових культур на рівні 120 ц/га зеленої маси, потребує використання близько 250 га ріллі.

Модель №2 - «Модель №1 + переробка продукції тваринництва».

Результати проведених розрахунків свідчать про те, що наявне поголів'я великої рогатої худоби у базовому господарстві дозволяє щорічно отримувати понад 300 т молока та близько 50 т живої ваги відгодованих бугайців і вибракуваних корів. Для обґрунтування доцільності впровадження переробки сільськогосподарської сировини розглянуто можливості отримання кінцевої продукції з молока і м'яса безпосередньо у межах агропідприємства. У частині молочної продукції припускається, що основними видами переробки будуть виробництво твердого сиру з масовою часткою жиру 30% та вершків жирністю 20%. Виходячи з типового вмісту жиру в молоці (3,5%) та умовного розподілу жиру між вершками (1,2%) та сиром (2,3%), прогнозований вихід продукції становить близько 21 т вершків та 27 т сиру на рік (Додатки Є та Ж).

Виробничі модулі для переробки молока представлені на ринку широким асортиментом рішень. З огляду на наявний обсяг сировини, доцільним є впровадження міні-заводу потужністю 0,6 т/добу. Обладнання постачається у вигляді модульної лінії з можливістю комплектації відповідно до потреб замовника, з повним циклом монтажу, налагоджувальних робіт та навчання персоналу. Молочний модуль включає повний комплект обладнання для переробки та зберігання молока, змонтований у вигляді єдиної конструкції, що дозволяє подальше масштабування виробництва.

У контексті м'ясної переробки найбільш перспективним є впровадження модульного м'ясного цеху типу КОЛАКС. Він адаптований до умов переробки ВРХ, свиней, птиці та інших видів тварин, з можливістю отримання натуральних м'ясних напівфабрикатів і делікатесної продукції. При середньому виході м'яса з живої маси на рівні 42% для телятини і яловичини та 54% для свинини, щорічне виробництво м'ясних напівфабрикатів може перевищити 10 т. Важливою складовою м'ясопереробного комплексу є утилізація побічної продукції (кістки, сухожилля, хрящі тощо), яка за допомогою спеціалізованої лінії переробляється на м'ясо-кісткове борошно, що використовується у

виробництві комбікормів. Супутнім продуктом також є шкіряна сировина, що становить 7–8% маси тварин.

Таким чином, Модель №2 передбачає комплексне вдосконалення галузевої структури підприємства через інтеграцію модулів з переробки молока і м'яса, включаючи обладнання для утилізації побічної продукції (м'ясо-кісткове борошно, кормовий жир), а також будівництво складу для зберігання готової продукції. Реалізація цієї моделі дозволяє забезпечити замкнутий виробничий цикл, підвищити додану вартість продукції та зміцнити економічну стабільність господарства.

Модель №3 – «Модель №2 + продуктивність корів 10 тис. л молока».

На сьогодні рівень продуктивності дійного стада в господарствах залишається відносно низьким: середній вихід молока на одну дійну корову щороку коливається в межах 3–4 тис. літрів. Оцінка ефективності молочного скотарства значною мірою залежить саме від цього показника. Вважається, що досягнення продуктивності на рівні 5–6 тис. літрів на рік уже дозволяє вважати галузь рентабельною та відносно успішною.

Однак для досягнення рівня 9–10 тис. літрів на рік необхідне комплексне вдосконалення виробничої системи. Зокрема, йдеться про закупівлю високопродуктивного маточного поголів'я або організацію тривалої селекційної роботи, оптимізацію годівлі через використання збалансованих раціонів, уdosконалення ветеринарного забезпечення та загальної технології утримання тварин. Усі ці заходи потребують значних капіталовкладень, однак, як показують розрахунки, вони мають потенціал для істотного підвищення економічної віддачі в галузі. Особливо важливим чинником у забезпечені високої продуктивності є повноцінне протеїнове живлення. У цьому контексті доцільною є організація переробки технічних культур, передусім соняшнику, для отримання шроту — незамінного компонента високопродуктивних раціонів.

Важливо підкреслити, що підвищення продуктивності сприяє також зменшенню питомих витрат кормів. Так, за річного надою 4 тис. літрів на одну

корову витрачається орієнтовно 1 кормова одиниця на літр молока. За середньорічної продуктивності 6 тис. літрів молока на одну корову цей показник зменшується до 0,8 к. од., а за 10 тис. літрів — до 0,6 к. од. (табл. 5.1).

Таблиця 5.1 – Залежність показників ефективності молочного виробництва від продуктивності дійних корів

Показник	4 тис. л/корову	6 тис. л/корову	10 тис. л/корову
Необхідна кількість корів, голів *	7 500	5 000	3 000
Витрати корму на 1 л молока, к. од.	1,0	0,8	0,6
Загальні кормові витрати, млн к. од.	30,0	24,0	18,0
Вихід вершків, т	450	450	450
Вихід сиру, т	600	600	600

* *розрахунок кількості дійних корів виконано з урахуванням потреби в 30 тис. т молока на рік.*

Таким чином, підвищення продуктивності з 4 до 10 тис. літрів дає змогу істотно збільшити обсяг валового виробництва без додаткових витрат на розширення кормової бази чи інфраструктури.

Разом із тим, необхідно враховувати, що перехід навищий рівень продуктивності супроводжується зростанням інвестицій у переробну інфраструктуру та системи утримання тварин. Наприклад, для досягнення річного обсягу виробництва молока на рівні 30 тис. тонн при продуктивності 6 тис. літрів необхідно створити комплекс на 5 тис. дійних корів. При продуктивності 10 тис. літрів — лише на 3 тис. голів. Це дозволяє суттєво зменшити потребу в капітальних витратах на одиницю продукції.

Схематична модель галузевої структури сільськогосподарського виробництва з інтеграцією високопродуктивного дійного стада та власної переробки молока і м'яса для господарства наведена на рисунку 5.16.

Загалом, підвищення продуктивності дійного стада до рівня 10 тис. літрів на рік створює умови для зростання обсягів виробництва молока з 300 до 800 тонн, виходу вершків — до 50 тонн, а сиру — до 60 тонн. Це свідчить про значний потенціал ефективності та рентабельності галузі за умови комплексного підходу до її модернізації.

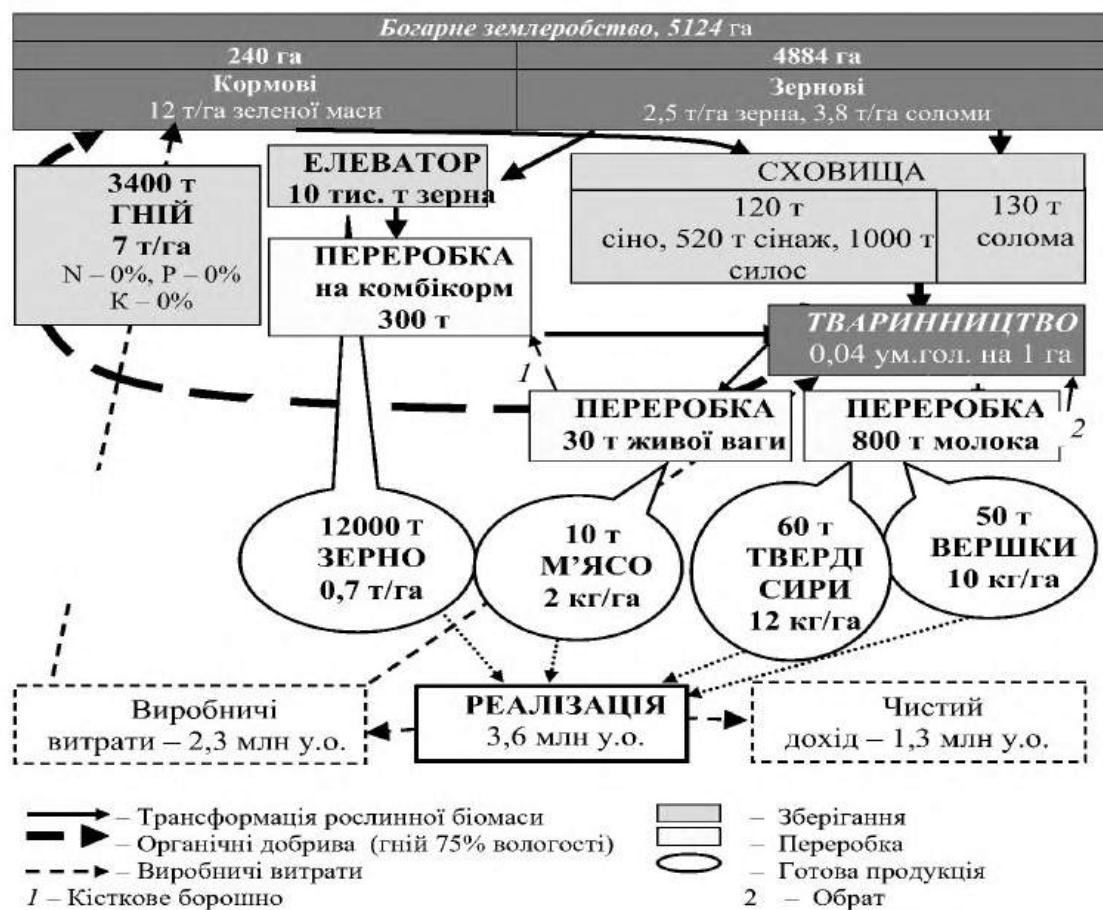


Рисунок 5.16 – Схематична модель галузевої структури сільськогосподарського виробництва з інтеграцією високопродуктивного дійного стада та власної переробки молока і м'яса (Модель №3)

Модель №4 – «Модель №3 + щільність ВРХ 0,4 ум. гол./га». Цей сценарій розглянуто з метою порівняння прибутковості рослинництва і тваринництва, а також визначення пріоритетів між розвитком тваринництва та створенням системи зрошення. У разі збільшення чисельності високопродуктивного дійного стада, наприклад до 830 голів, за середньої врожайності кормових культур 12 т/га, а зернових - 2,5 т/га, для забезпечення виробництва концентрованих і основних кормів знадобиться близько 3800 га ріллі.

Вартість тварин і відповідної інфраструктури за таких умов буде співставною з капітальними витратами на створення зрошувальної системи. Реалізація зазначеної моделі дозволить збільшити валове виробництво молока до 8 тис. т, отримати 280 т живої маси ВРХ, а їхня переробка забезпечить вихід

до 500 т вершків, 600 т сиру та 100 т телятини і яловичини. З решти площ вдається зібрати близько 3,5 тис. т зерна озимих культур і насіння соняшнику. Очікуваний обсяг виробництва гною стандартної якості становитиме 37 тис. т, що відповідає 12,3 т/га ріллі. Рециркуляція елементів живлення з органічними добривами становитиме: азоту - 56%, фосфору - 63%, калію - 74%. (рис. 5.17).

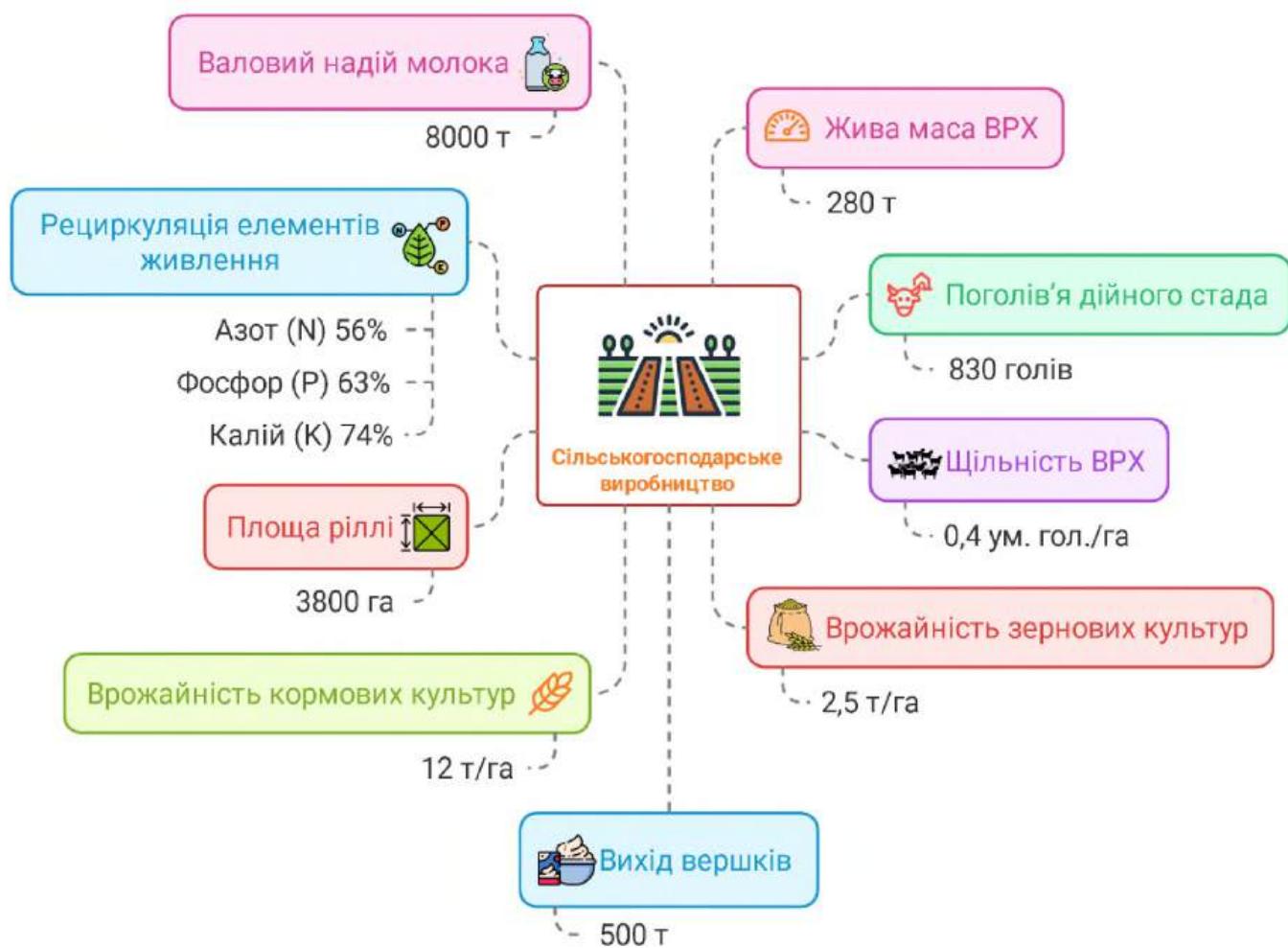


Рисунок 5.17 – Виробничий цикл агроекосистеми з розширенім дійним стадом до 830 голів (Модель №4)

Зазначені показники рециркуляції елементів живлення (азоту, фосфору та калію) характеризують рівень збалансованості агроекосистеми, зокрема - ефективність повернення поживних речовин у ґрунт через використання органічних добрив. Вони відображають частку елементів, яка, після вилучення разом з урожайною масою сільськогосподарських культур, не відчужується з господарства разом із реалізованою продукцією, а залишається у внутрішньому

кругообігу речовин системи. Ця частка акумулюється переважно у вигляді гною та інших органічних залишків, що надалі повертаються у ґрунт у складі добрив. Таким чином, досягається часткове компенсування виносу основних елементів живлення та підтримується родючість ґрунтів.

У структурі посівних площ господарства передбачено 2400 га під кормові культури з урожайністю 12 т/га зеленої маси, що повністю забезпечує потреби дійного стада. З решти площі — 2724 га із загальної ріллі 5124 га — вирощуються зернові культури, середня врожайність яких становить 2,5 т/га зерна та 3,8 т/га соломи. Зібране зерно частково спрямовується на переробку для потреб тваринництва, тоді як солома використовується як об'ємний корм або підстилка й повертається в агроекосистему як органічна складова кругообігу поживних речовин.

Модель №5 – «Модель №4 + підвищена щільність ВРХ до 0,6 ум. гол./га» Дано модель розроблена для оцінки максимального потенціалу розвитку молочного скотарства на основі наявної продуктивності орних земель в умовах багарного землеробства (без застосування зрошення). При сучасній врожайності сільськогосподарських культур та за умов дотримання оптимальних раціонів годівлі і забезпечення належного рівня продуктивності тварин, агроекосистема здатна забезпечити утримання: 1200 дійних корів, 600 нетелей та приблизно 1700 телят.

Для реалізації моделі необхідне масштабне розширення всієї виробничої інфраструктури, зокрема: будівництво додаткових тваринницьких ферм і дооснащення наявних, збільшення ємностей для зберігання кормів і органічних добрив, створення нових модулів для переробки сировини, модернізація логістичних і складських приміщень тощо (рис. 5.18).

На завершальному етапі виробничого циклу відбувається трансформація отриманої рослинної біомаси у високоякісну продукцію тваринництва. Очікуваний обсяг готової продукції становить 720 т вершків, 910 т твердих сирів і 160 т м'яса. У процесі виробництва також формується близько 50 тис. т гною стандартної якості (орієнтовно 10 т/га), що повертається в ґрунт як

органічне добриво. Завдяки цьому забезпечується рециркуляція 82% азоту, 95% фосфору та 99% калію від загального виносу з урожаєм, що істотно підвищує рівень замикання біогенних елементів у межах агроекосистеми та сприяє відновленню родючості ґрунтів.

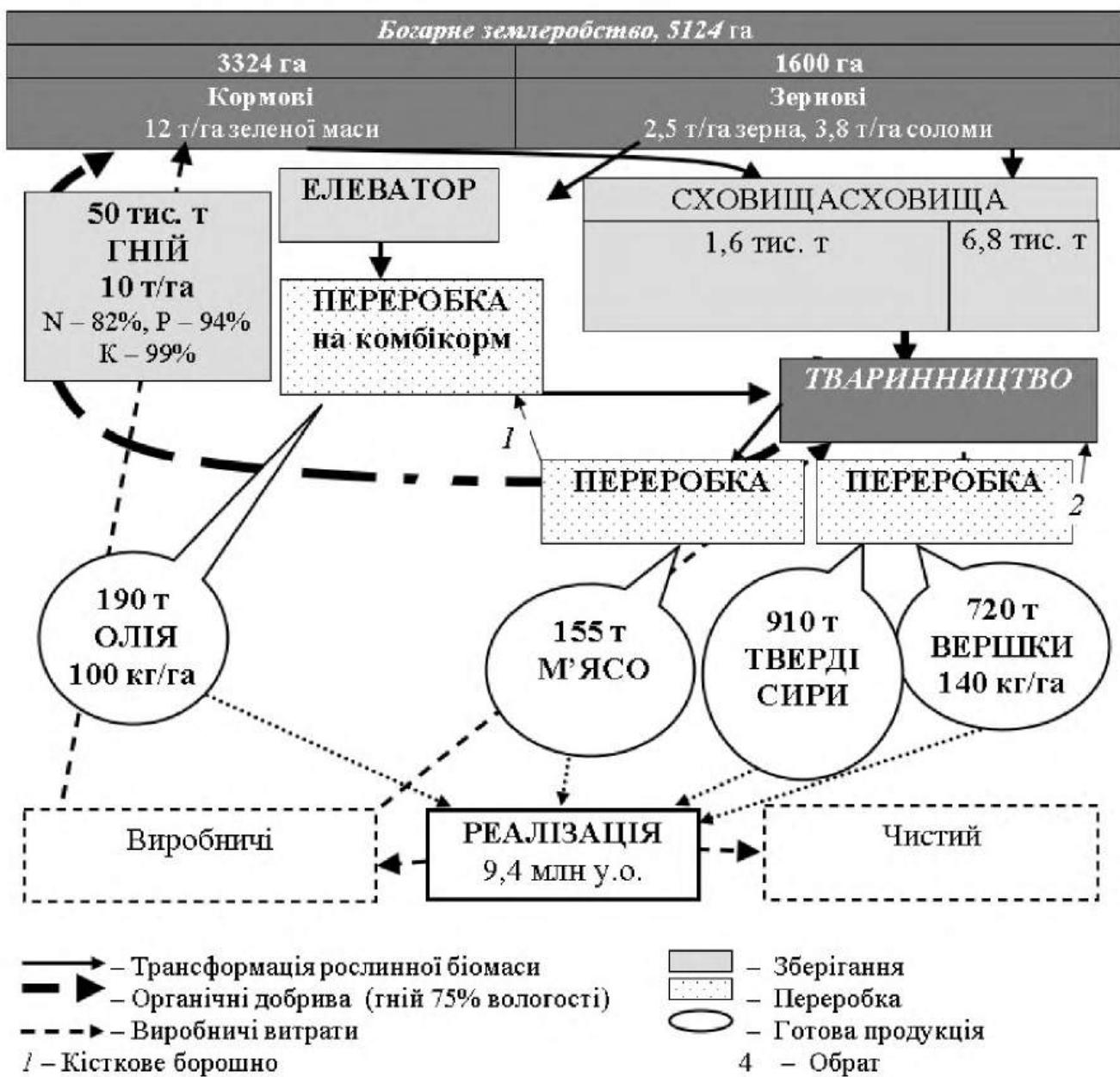


Рисунок 5.18 – Модель виробничого циклу агроекосистеми з розширенім дійним стадом до 1200 голів (модель 5)

Оскільки у ДП ДГ «Андріївське» планується відновлення меліоративної системи, то Моделі №1-№5 розглядаються як ретроспективні для оцінки потенціалу богарного землеробства, встановлення значення виробництва

продуктів тваринництва у регіоні та для можливого використання іншими сільськогосподарськими підприємствами Одеської області, що не мають зрошення. Як відзначалося, нині за середньої врожайності кормових культур 12 т/га зеленої маси для утримання 80 голів дійних корів потрібно відводити 240-260 га орних земель. Це дає змогу для заготівлі порядку 120 т сіна, 500 т сінажу і 1000 т силосу, що буде достатнім для забезпечення продуктивності корів на рівні 4 тис. л молока на рік та годівлі телят і нетелів. В додатку наведена оптимізована схема сівозмін для сучасної практики ДП «ДГ Андріївське» без зрошення (Додаток 3).

Модель №6 — «Зрошення 3030 га: соняшник, соя, кукурудза».

Ця модель розроблена для оцінки ефективності впровадження зрошення з переважною орієнтацією на рослинництво. Ключова особливість моделі – висока ефективність використання земельних ресурсів. На площі 5124 га ми досягаємо значних показників виробництва зерна, кормів та тваринницької продукції при мінімальних витратах. Відповідно до проєктних даних ТОВ «Іrrігатор Україна», яке здійснила проєктування та формування меліоративної системи, площа земель, придатних для зрошення в межах ДП ДГ Андріївське, становить 3030 га.

Найбільш ефективним вважається використання цієї площи за допомогою впровадження комбінованої системи зрошення, що передбачає інтеграцію: дощувальних машин — на площі 2430 га та краплинного зрошення — на площі 600 га.

Планова врожайність культур (за умов дощування): кукурудза — 10 т/га, соя — 4 т/га, соняшник — 3,5 т/га.

На решті площи 2094 га, яка не охоплена зрошенням, передбачається збереження існуючої структури землекористування, з вирощуванням озимих зернових культур і соняшнику, з урахуванням середньої багаторічної врожайності, зафіксованої у господарстві (рис. 5.19).

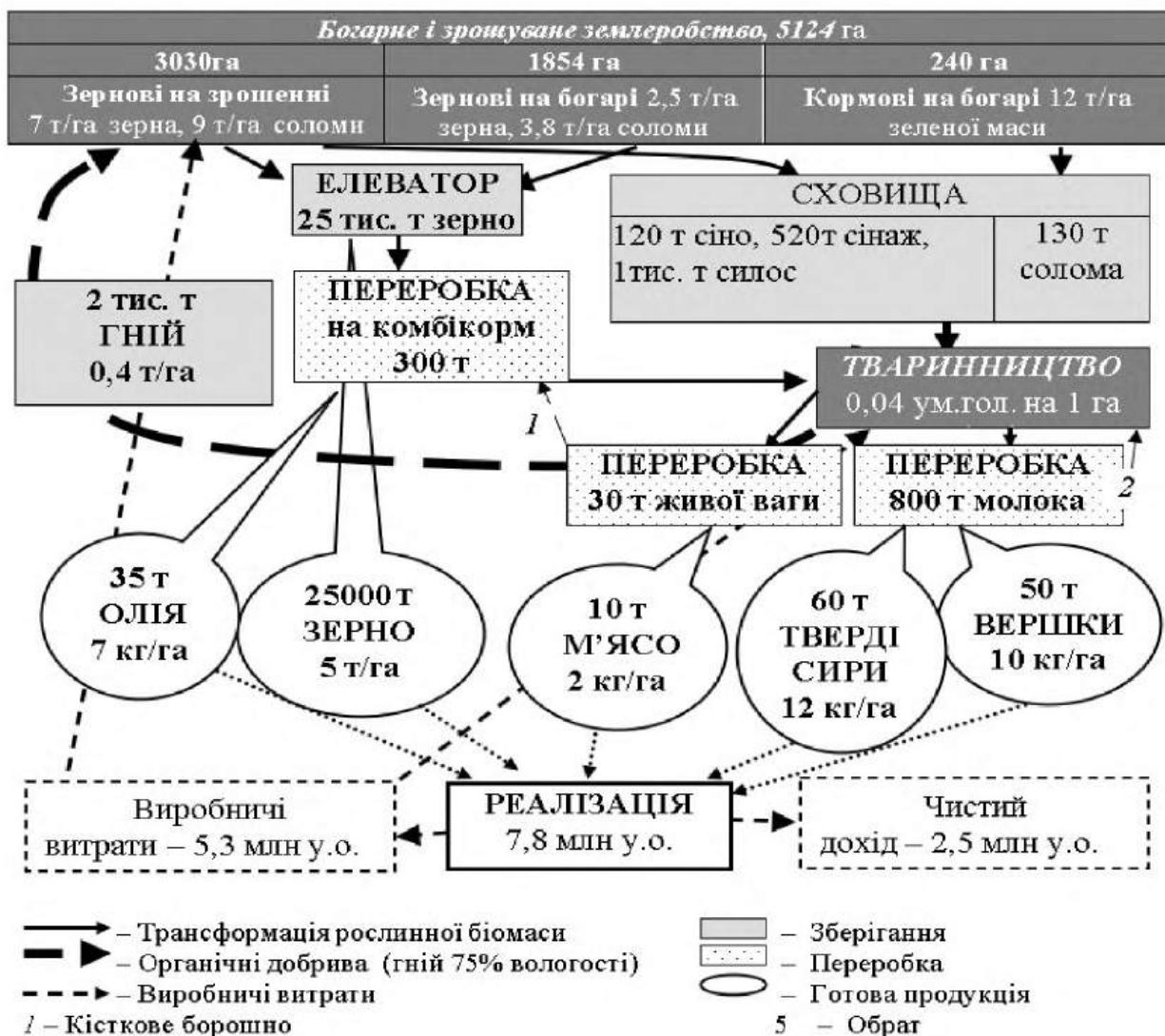


Рисунок 5.19 – Модель виробничого циклу агроекосистеми із вирощуванням на комбінованому зрошенні та на богарі (Модель №6)

Модель №7 – «Модель №6 + ВРХ максимальна щільність».

Запропонована Модель №7 є розширенням Моделі №6 та передбачає принципово новий підхід до розвитку тваринницької галузі — впровадження максимальної щільності великої рогатої худоби (ВРХ). Вона базується на використанні потенціалу кормової бази, сформованої на зрошуваних (3030 га) та богарних (2094 га) землях із урахуванням їхньої прогнозованої врожайності.

Для зрошуваних площ потенційна врожайність кормових культур (силосна кукурудза, багаторічні трави) оцінено на рівні до 80 т/га зеленої маси, зернових культур (кукурудза на зерно, соя, соняшник) — до 7 т/га. Для

незрошуваних земель середня врожайність озимих зернових та соняшнику становить близько 2,5 т/га.

З урахуванням зазначених агровиробничих показників, чисельність дійного поголів'я, здатного забезпечити річну продуктивність на рівні 10 тис. л молока на корову, може бути доведена до 3,9 тис. голів, із пропорційною кількістю телят і нетелів для підтримки поголів'я. Для цього необхідно передбачити розміщення кормових культур на зрошуваних землях на площі близько 1,6 тис. га, а зернових — на 1,4 тис. га. (рис. 5.20).

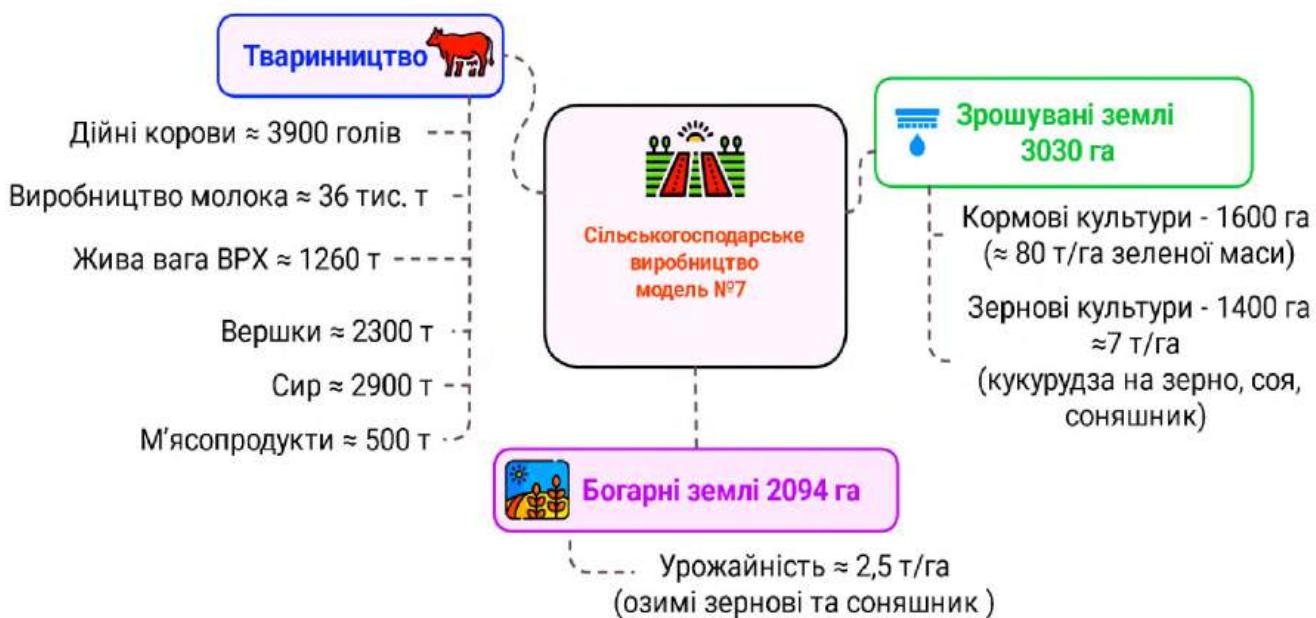


Рисунок 5.20 – Модель виробничого циклу агроекосистеми Зрошенні + ВРХ з максимальною щільністю (модель №7)

Модель також передбачає розширення інфраструктури тваринницької галузі, зокрема: закупівлю високопродуктивних тварин, нарощування потужностей з переробки молока і м'яса, будівництво сховищ для кормів і органічних добрив, а також модернізацію логістичних і виробничо-переробних об'єктів.

Очікувані результати впровадження моделі:

валове виробництво молока — до 36 тис. тонн на рік;

жива вага ВРХ — до 1260 тонн;

річний обсяг продукції після переробки:

- вершки — 2,3 тис. тонн (450 кг/га),
- тверді сири — 2,9-3,0 тис. тонн (585 кг/га),
- м'ясопродукти — 500 тонн (100 кг/га).

Модель також передбачає виробництво близько 130 тис. тонн гною (приблизно 25 т/га), з високим вмістом поживних речовин (азот — 84%, фосфор — 94%, калій — 99%). Отримані органічні добрива спрямовуються на підвищення родючості ґрунтів.

Зернова частина врежаю зі зрошуваних земель (приблизно 15 тис. т) використовується для виробництва комбікормів. Кормова база також включає:

- 25 тис. т сіна і 45 тис. т силосу, отриманих зі зрошуваних площ;
- 5 тис. т сіна і 3 тис. т соломи, заготовлених із богарних угідь.

Модель №8 — «Модель №7 + біогазовий комплекс». Зрозуміло, що за навантаження на 1 гектар ріллі 3 умовні голови ВРХ у підприємстві будуть накопичуватися значні обсяги відходів тваринництва. Якщо прийняти, що приблизно половина сухої речовини кормів трансформується у гній, то з урахуванням надлишків соломи і зіпсованих у процесі зберігання основних кормів (20%), його щорічні обсяги в перерахунку на 75% вологість сягатимуть 130 тис. т або 26 т/га. Для забезпечення бездефіцитного балансу гумусу достатньо 10-12 т/га.

З іншого боку, свіжий гній є цінною сировиною для отримання тепло- та електроенергії. Саме для оцінки доцільності доповнення інфраструктури біоенергетичним комплексом розглядається цей варіант інфраструктури (рис. 5.21). Під час проведення розрахунків виходили з того, що в процесі газогенерації 45% сухої органічної речовини гною перетворюється в біогаз, який у середньому містить 60% метану і 40% вуглекислого газу. Якщо брати до уваги те, що вага 1 м³ біогазу становить 1,2 кг, то під час газогенерації біомаса буде трансформуватися у 12 млн м³ продукту. При його спалюванні на

тригенераційній теплоелектростанції з кожного м³ отримується 2,4 кВт·год електроенергії та 2,8 кВт·год теплової енергії, а з усієї наявної енергетичної сировини відповідно 30 млн. кВт·год електрики та 35 тис. Гкал тепла.

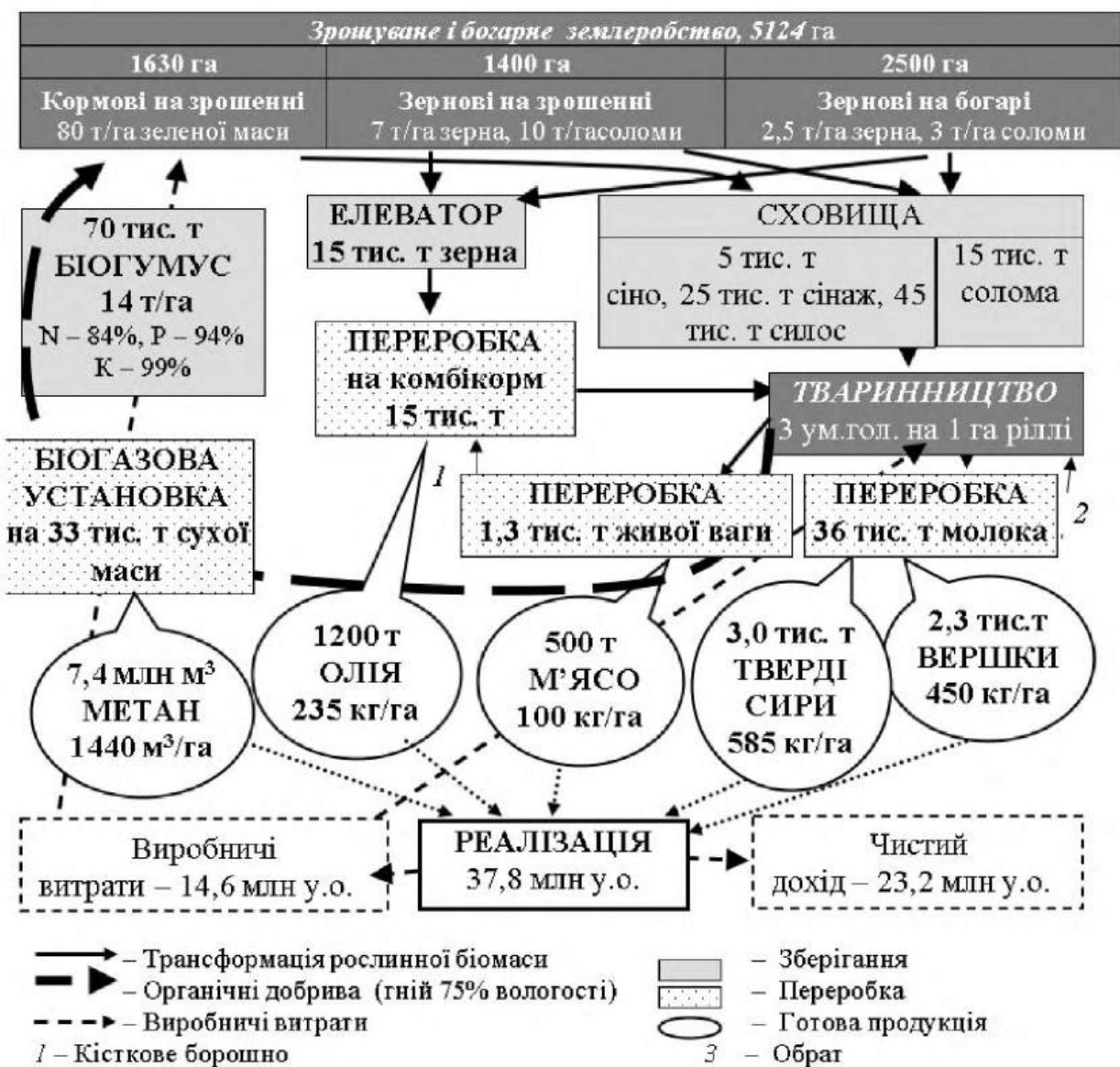


Рисунок 5.21 – Схема галузевої структури із вирощуванням кормових на площі 1630 га і кукурудзи, сої і сояшнику на площі 1400 га на зрошенні та озимих зернових і сояшнику на 2094 га богарі з біогазовою установкою

(Модель №8)

Якщо електроенергія реалізується за «зеленим тарифом», то теплоенергія є супутньою і має використовуватися на внутрішні потреби, зокрема в холодний період року - на опалювання тваринницьких приміщень, житла мешканців села та ін. Влітку тепло використовується для отримання

холоду. Реактори метанового бродіння діють безперервно з систематичним закачуванням свіжої біомаси. Водночас, по мірі розкладання енергетичної сировини більш важкі частинки, насычені мінеральними речовинами сідають на дно з наступним видаленням у спеціальний резервуар. Цей не розкладений залишок, так званий біогумус, містить у собі всі винесені з ґрунту рослинами макро- і мікроелементи і є цінним, повністю знезараженим органічним добривом. Навіть насіння бур'янів втрачає схожість.

Співставлення різниці між виносом з ґрунту елементів живлення рослинною біомасою та їх відчуженням за межі господарства з продукцією, що реалізується з кількістю біогумусу дає змогу точно встановити вміст у ньому азоту, фосфору і калію. Так, за вологості цього органічного добрива 75% кількості останніх відповідно становитиме 1,27, 0,57 та 1,80%, що у 3 рази більше ніж у вихідній сировині – гноєві такої самої вологості. Тобто витрати на їх повернення у ґрунт будуть в 3 рази меншими.

Загальне виробництво біогумусу становитиме 18 тис. т або 3,5 т/га сухої речовини або 14 т/га в перерахунку на гній 75% вологості, що цілком вистачає для стабілізації гумусного стану ґрунту. При цьому рециркуляція або багаторазове використання азоту становить 83%, фосфору – 94% і калію – 99%.

Модель №9 – «Модель №8 + цукрові буряки». Сценарій розглядається для оцінки доцільноті впровадження цукрових буряків у структуру сівозміни та залучення міні цукрозаводу до виробничої інфраструктури господарства. Для моделювання було прийнято середню урожайність коренеплодів на рівні 80 т/га (рис. 5.22). Особливістю цієї моделі є те, що ключовою метою вирощування цукрових буряків виступає не виробництво цукру як основного продукту, а використання вторинної сировини — передусім гички, яка становить близько 40 % маси від коренеплодів і є цінним кормовим ресурсом за умов наявності тваринництва. Переробка коренеплодів безпосередньо на території підприємства дозволяє отримувати три продукти: жом, мелясу та цукор, при цьому останній розглядається як додаткове джерело доходу, що підвищує

економічну ефективність моделі без зсуву її функціонального фокусу.

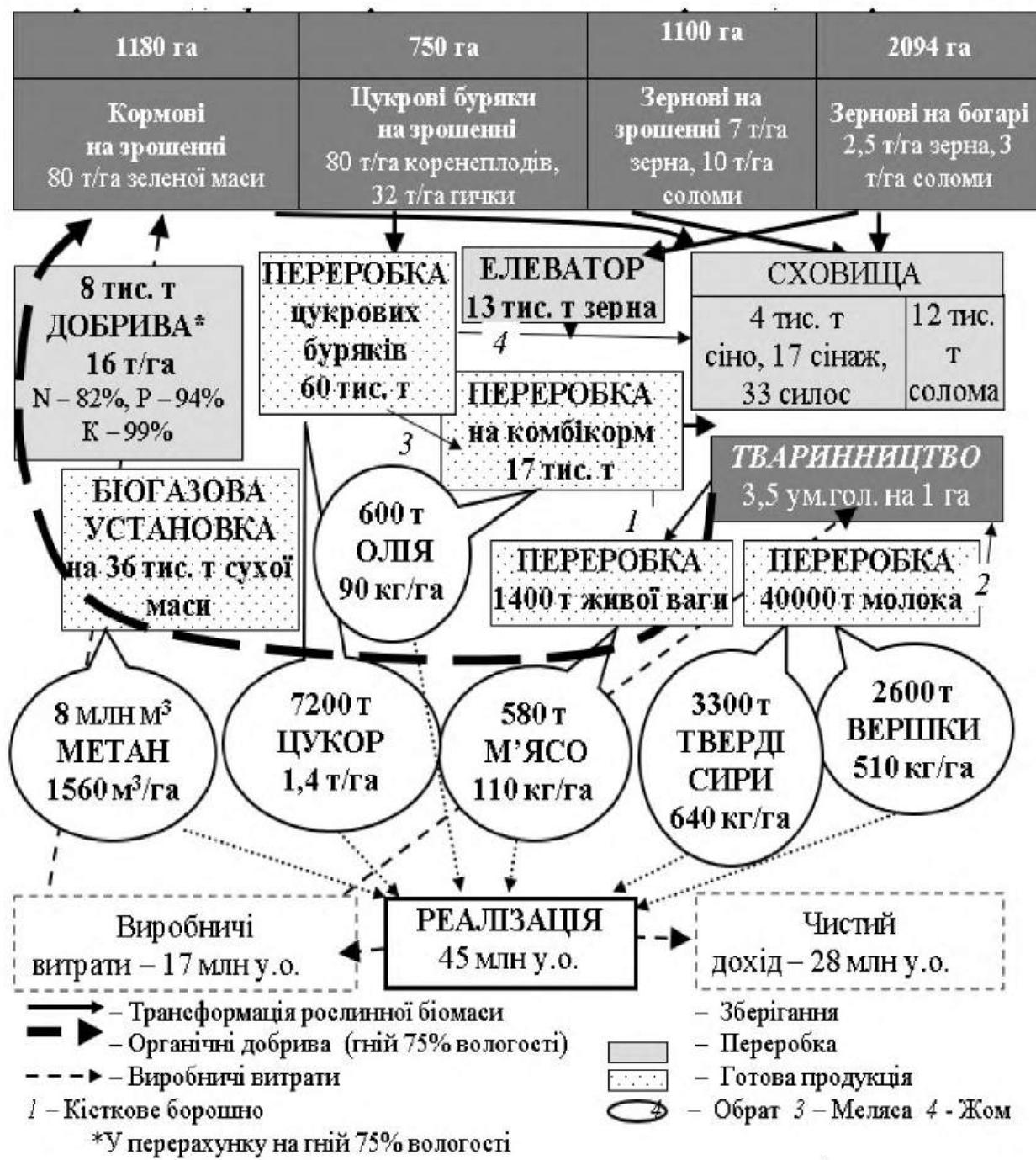


Рисунок 5.22 – Схема галузевої структури з вирощуванням кормових культур (1180 га), кукурудзи, сої, соняшнику (1100 га), цукрових буряків (750 га) на зрошенні та озимих зернових і соняшнику (2094 га) без зрошення
(Модель №9)

За кормової цінності кукурудзи на силос 0,18 к. од./кг з 1 га буде отримано приблизно 14 т к.од./га. Analogічними за сумарною поживністю будуть отримані з одного гектара гичка, жом і меляса з додатковим

виробництвом цукру. За такої трансформації слід також враховувати необхідність впровадження сучасних технологій тривалого зберігання коренеплодів, що надасть можливість значно підвищити ефективність роботи цукрових заводів, з іншого боку за наявності розвинutoї тваринницької галузі упродовж всього осінньо-зимового періоду тварини забезпечується свіжим жомом. Поряд з використанням меляси при виробництві комбікормів таке положення буде супроводжуватися істотним зростанням їх засвоюваності та досягненням максимальної продуктивності дійного стада.

Оптимальний період повернення цукрових буряків на попереднє поле 1 раз на 4 роки з їх часткою в структурі посівів у зрошуваній сівозміні 25%. Таким чином для забезпечення повноцінної годівлі наявного поголів'я ВРХ основними кормами потрібно під кормові культури, зокрема люцерну, відводити 1180 га, під цукрові буряки 750 га, під зернові – 1100 га. Отже даний варіант розвитку підприємства передбачає залучення до інфраструктури цукрового заводу потужністю переробки 200 т коренеплодів на добу. Це дасть змогу додатково до передбаченого Моделлю №8 асортименту отримувати 7,0-7,2 тис. т даного продукту. Крім того розширення кормової бази за рахунок жому і гички дасть змогу збільшити дійне стадо іще приблизно на 500 голів та наростити виробництво готових продуктів тваринництва на 10-12%.

Модель №10 – «Модель №9 + зрошення 5124 га».

Варіант галузевої структури передбачає поширення меліоративної системи на усі 5124 га ріллі підприємства за рахунок підземного краплинного зрошення. З них зернові будуть займати 2200 га, кормові – 1644 га і цукрові буряки – 1280 га. Це дасть змогу істотно розширити кормову базу тваринництва і збільшити чисельність молочного стада до 6,7 тис. голів. Відповідно валове виробництво молока сягне 65 тис. т, живої ваги ВРХ – 2,1-2,2 тис. т. На виході щорічно можна буде отримувати 1,3-1,4 тис. т олії, близько 12 тис. т цукру, майже 10 тис. т молочних продуктів та 0,8-0,9 тис. т телятини і яловичини (рис. 5.23).

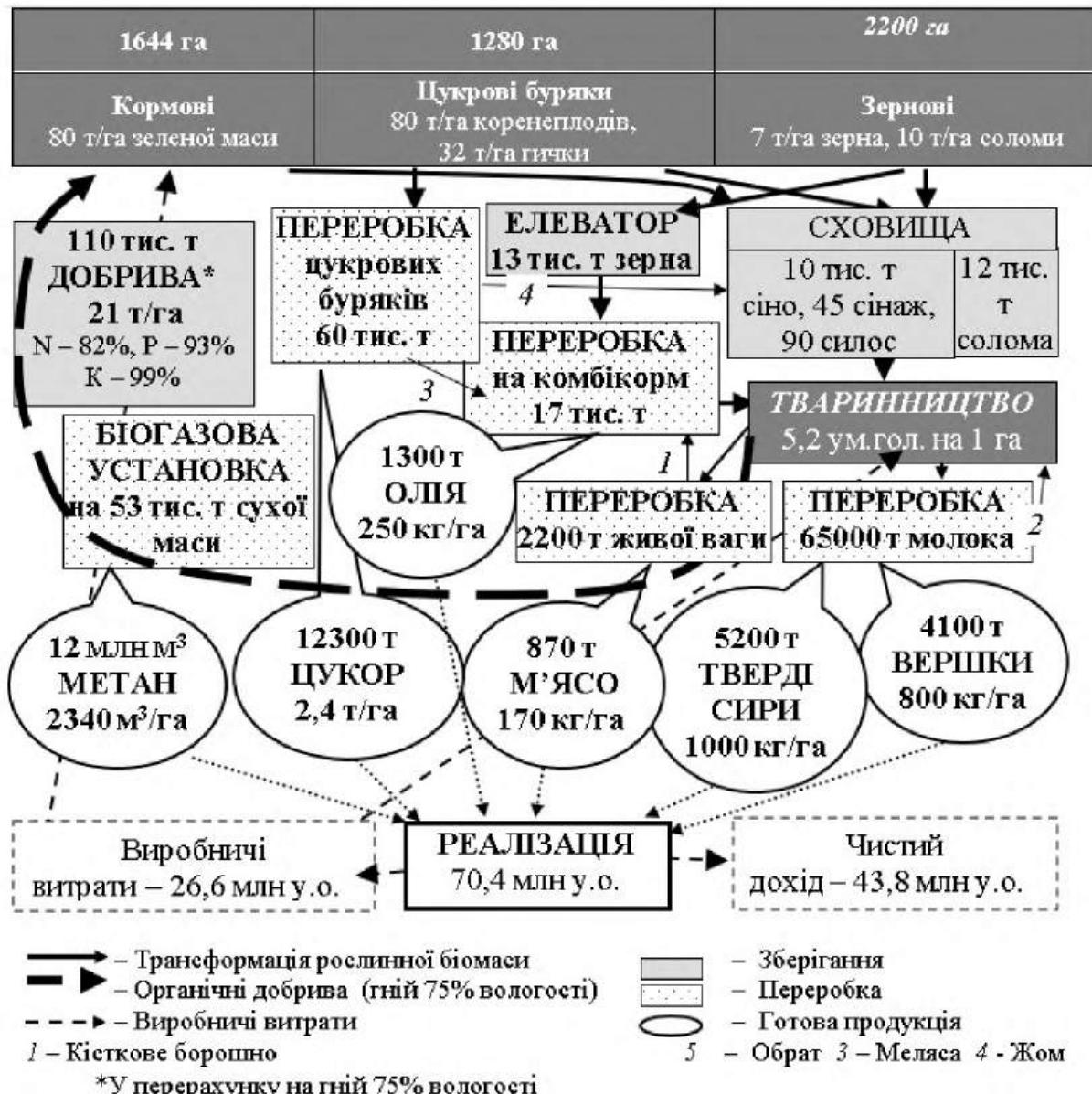


Рисунок 5.23 – Схема галузевої структури із вирощуванням на зрошенні кормових на площі 1644 га, кукурудзи, сої і соняшнику на площі 2200 га, цукрових буряків на площі 1280 га (Моделі №10 і №11)

Біоенергетичний потенціал агроекосистем включає не лише рослинні рештки, а й побічні продукти переробки сільськогосподарської сировини. Одним із таких джерел є соапсток — відход, що утворюється під час лужної нейтралізації у процесі виробництва соняшникової олії. Через складність і екологічну небезпеку його утилізації соапсток доцільно переробляти з отриманням вільних жирних кислот, які можуть використовуватись як доступна сировина для синтезу ефірів низькомолекулярних спиртів — основи

альтернативного біодизельного палива. У дослідженні [8] вивчали вплив умов етерифікації жирних кислот, отриманих із соапстоку соняшникової олії (CAS Number 61788-66-7), бутанолом (CAS Number 71-36-3) у присутності катализатора алкілбензолсульфокислоти на кислотне число реакційної суміші. Цей показник відображає ступінь утворення бутилових ефірів.

Жирні кислоти, виділені із соапстоку шляхом кислотного гідролізу з використанням сірчаної кислоти, відповідали вимогам ДСТУ 4860 [9] для жирних кислот першого гатунку. Їх основні характеристики: число нейтралізації — 186,0 мг КОН/г; вміст вологи та летких речовин — 1,7 %; загальний вміст жиру — 97,5 %; глибина розщеплення — 67,1 % (вміст олеїнової кислоти). Показовим прикладом є використання соапстоку для одержання бутилових ефірів — форми альтернативного біодизеля (рис. 5.24).



Рисунок 5.24 – Спрощена схема дослідження біоенергетичного потенціалу соапстоку

Розрахунки свідчать про те, що в процесі переробки насіння соняшнику виробленого в господарстві обсяг соапстоку може сягати до 1000 т/рік. Це забезпечить вихід 200-300 кг/т ефірів, які в результаті переробки на біоенергію

можуть додатковий дохід, а головне на 40-60% знизити викиди CO₂ в атмосферу (табл. 5.2).

Таблиця 5.2 – Біоенергетичний потенціал соапстоку базового господарства для виробництва бутилових ефірів

Показник	Одиниця виміру	Потенційний обсяг	Вихід ефірів з соапстоку	Вплив біоенергетики
Обсяг соапстоку	т/рік	~500–1000	200–300 кг/т	+15–25% доходу* -40–60% CO ₂ **
Кислотне число суміші	мг KOH/г	50–150 → 5–10	-	Зниження на 90–95% ***
Викиди парникових газів	т CO ₂ -екв./т	0,8–1,2	-	Зниження на 40–60% ****

* Оцінка додаткового економічного ефекту від переробки соапстоку в бутилові ефіри, які використовуються як біодизельне паливо залежно від обсягу сировини, вартості біодизеля та витрат на переробку.

** Екологічний ефект від утилізації соапстоку для зменшення техногенного навантаження. Скорочення викидів від складування/спалювання соапстоку (0,8–1,2 т CO₂-екв./т, оцінка для органічних відходів). Заміщення викопного дизеля, який має вищі викиди (близько 2,7–3,0 кг CO₂/л), біодизелем із нижчим вуглецевим слідом (1,0–1,5 кг CO₂/л для біоетерів).

*** Зниження кислотного числа соапстоку з 50–150 мг KOH/г до 5–10 мг KOH/г на 90–95% забезпечує високу якість бутилових ефірів як основи біодизеля, зменшуючи корозійний вплив.

**** У процесі етерифікації жирних кислот соапстоку бутанолом із використанням каталізатора (алкілбензолсульфокислота) вільні жирні кислоти реагують із бутанолом, утворюючи бутилові ефіри. Це значно знижує

кількість вільних жирних кислот у реакційній суміші, що зменшує кислотне число [10,11]

У результаті досліджень встановлено, що біоенергетичний потенціал агроекосистем базового господарства формується не лише за рахунок рослинних решток (28–42 ц/га соломи пшениці, 24–30 ц/га стебел соняшнику), а й побічної продукції олієпереробки, зокрема соапстоку (орієнтовно 500–1000 т/рік). Це створює передумови для формування замкнених енергетичних циклів у зрошуваних умовах півдня Одеської області. Слід підкреслити, що в умовах регіону дослідження (південь Одеської області) досягнення зазначених рівнів урожайності соняшнику та виходу стеблової маси можливе лише за умови застосування зрошення.

Розрахунки на основі аналізу діяльності господарства за 2010–2021 рр. засвідчили, що впровадження моделі агровиробництва з використанням місцевих біоенергетичних ресурсів дає змогу підвищити економічну ефективність на 15–30 % (залежно від обсягу ресурсу), скоротити викиди CO₂ на 40–70 %, а також повністю або частково забезпечити енергопостачання для потреб зрошення. Вироблене біопаливо — як тверда біомаса з рослинних решток, так і рідке пальне у вигляді бутилових ефірів жирних кислот, отриманих із соапстоку шляхом етерифікації з бутанолом у присутності алкілбензолсульфокислоти — може використовуватися для живлення двигунів насосних станцій, автобілів, тракторів та ін. Це дає змогу зменшити використання викопного палива, знизити енергозалежність та підвищити стабільність водозабезпечення агроекосистем в умовах дефіциту вологи.

Експериментальні дослідження [8] підтвердили ефективність технології: кислотне число соапстоку знижується на 90–95 % (від 50–150 до 5–10 мг KOH/g), що забезпечує високу якість отриманого біодизеля. За врожайності соняшнику 2 т/га та вмісту олії 40 % (800 кг/га) господарство може виробляти до 720 л біопалива з одного гектара, що повністю покриває власні потреби (300–400 л/га на сезон) та дає можливість реалізовувати надлишок.

Впровадження зазанченої технології у моделі №9 та №10 передбачає повну утилізацію побічних продуктів. Зокрема, макуха, яка залишається після віджиму олії, містить 35–40 % білка і є цінним кормом для худоби. За даними [12], при урожайності соняшнику 2 т/га вихід макухи становить близько 1,2 т/га, що дозволяє зменшити витрати на закупівлю протейнових кормів на 20–30 %, особливо в умовах молочного скотарства.

Іншим побічним продуктом є гліцерин, що утворюється під час трансестерифікації (приблизно 100 кг з 1 т олії). Його можна використовувати як сировину для біогазових установок. Зокрема, 1 кг гліцерину забезпечує вихід 0,4–0,45 м³ біогазу з вмістом метану близько 60 %, що еквівалентно 2,5–3 кВт·год енергії. Отже, з 80 кг гліцерину з 1 га посіву можна виробити 200–240 кВт·год електроенергії — достатньо для живлення переробного обладнання або обігріву господарських приміщень.

Таким чином, органічні відходи (рослинні рештки, гліцерин, макуха) можуть бути ефективно перероблені у тверде паливо, компост або біогаз. Це дозволяє мінімізувати втрати речовин, замикати кругообіг енергії та поживних речовин в межах господарства, забезпечуючи сталій розвиток агроекосистем. Наприклад, біогазова установка потужністю 50 кВт здатна переробляти до 10 т органічних відходів на місяць, повністю забезпечуючи енергією весь процес виробництва біопалива. Отримані результати підтверджують перспективність впровадження замкнених циклів переробки агровідходів як одного з ключових напрямів біоенергетичної трансформації аграрних підприємств [13,14]. Використання біоенергетичних рішень у структурній модернізації зрошуваних агроекосистем сприятиме не лише ефективній утилізації вторинної сировини олієжирової галузі, а й створенню додаткової економічної цінності через виробництво біопалива, що, у свою чергу, підвищить сталість та ресурсоefективність агровиробництва.

Модель №11 – «Модель №10 + органічне землеробство». Одним із важливих напрямів екологізації аграрного виробництва є розробка та

впровадження технологій органічного землеробства, що враховано в межах запропонованої моделі.

За умови практичного впровадження галузевої структури, описаної вище, вилучення речовин за межі підприємства з готовою продукцією обмежується переважно жирами, білками та вуглеводами. Ці сполуки у своєму молекулярному складі складаються здебільшого з елементів, які входять до складу атмосферного повітря — вуглецю, кисню, водню та азоту. Уміст у них мінеральних макро- та мікроелементів незначний, і майже вся їх кількість повертається в ґрунт у складі органічних добрив після процесу газогенерації. Такий підхід не лише знижує потребу в застосуванні мінеральних добрив, але й дає змогу отримати додатковий прибуток завдяки підвищенні вартості органічної продукції. Наприклад, рециркуляція фосфору і калію в такій виробничій системі буде відповідно 95 і 99%. Крім того в структурі посівних площ багаторічні бобові трави будуть займати не менше 20%, що забезпечить, з урахуванням вмісту азоту в органічних добривах, значно позитивний баланс цього елемента без застосування мінеральних промислових туків. Чергування культур у сівозмінах з оптимальними попередниками (частка бобових сої і люцерни 30-35%), (Додаток I), повне знезараження усіх відходів в процесі метанового бродіння будуть супроводжуватися систематичним покращенням фітосанітарного стану землекористування. Це дасть змогу відмовитися від мінеральних добрив і впровадити систему біологічного захисту рослин. Таке положення зробить доцільним здійснити перехід на засади органічного землеробства і у цілому виробництва з відповідними сертифікацією і маркуванням отриманої продукції.

5.4 Економічна ефективність моделей аграрного виробництва

Економічну ефективність запропонованих моделей оцінювали на основі комплексного аналізу таких показників:

- капітальні витрати на створення або модернізацію інфраструктури (одноразові інвестиції в матеріально-технічну базу, включаючи системи зрошення, обладнання для збирання, обробки та зберігання біомаси, біоенергетичні установки та супутні об'єкти);
- технологічні та виробничі витрати, пов'язані з вирощуванням сільськогосподарських культур, переробкою біомаси, утилізацією побічних продуктів і забезпеченням енергетичних процесів;
- амортизаційні відрахування на основні засоби, що враховують поступову втрату вартості інфраструктурних об'єктів і обладнання;
- валовий дохід від реалізації основної та побічної продукції, включаючи біопаливо, кормові компоненти (макуха), органічні добрива й інші продукти переробки;
- чистий прибуток, розрахований як різниця між загальними доходами та сукупними витратами, включно з амортизацією, податками та змінними операційними витратами;
- рівень рентабельності, що визначає доцільність упровадження відповідної моделі в конкретних господарських умовах.

При формуванні структури аграрного виробництва враховуються також чинники, що визначають характер взаємодії його елементів, зокрема послідовність і погодженість їх функціонування в часі. У результаті система набуває ознак гнучкості до зовнішніх дестабілізуючих впливів, стабільності функціонування у динамічних умовах, а також високої надійності та конкурентоспроможності порівняно з аналогічними суб'єктами господарювання.

Модель №1. Як відзначалося, на підприємстві за розрахунками виробляється біля 300 т молока і 25 т живої ваги ВРХ на рік. За даними Держкомстату їх ціна реалізації у середньому за 5 років становить 327 і 1215 у.о./т. Собівартість цієї продукції відповідно складає 1926 та 257 у.о./т. Відтак, чистий прибуток від галузі молочного скотарства знаходиться на нульовому

рівні. В перерахунку на гектар використаної для виробництва кормів для ВРХ площі це буде складати 13 у.о./га.

Із загальної площі ріллі 5124 га для виробництва продукції рослинництва залишається 4874 га з розрахунковою прибутковістю (за усередненими багаторічними показниками урожайності вирощуваних культур) 190 у.о./га, а з урахуванням продукції тваринництва - 200 у.о./га. Таким чином, за поточної практики ведення виробничої діяльності (Модель №1) щорічний чистий дохід у середньому може складати порядку 1 млн у.о. Ці параметри прибутковості є базовими для порівняння з більш складними сценаріями розвитку підприємства.

Модель №2. На сучасному етапі розвитку тваринницька галузь у базовому господарстві представлена виключно ВРХ, зокрема дійним стадом чисельністю 80 голів. Свинарство, яке у 2012 році налічувало близько 1400 голів, у тому числі 134 основних свиноматки, на сьогодні повністю ліквідовано. За поточного рівня продуктивності корів (3–4 тис. л молока на рік) тваринництво залишається економічно збитковим. Однак порівняння варіанту розвитку підприємства за сценарієм Моделі №2 з поточною практикою реалізації цільного молока і живої ваги ВРХ дозволило встановити доцільність і обсяги фінансових ресурсів щодо організації переробки наявної сировини до кінцевих продуктів харчування.

Для такого вдосконалення галузевої структури потрібно придбати модуль з переробки відповідної кількості виробленого молока потужністю 1 т на добу (табл. 5.3). За максимального приросту живої ваги 28 т у 2019 році мінімальна потужність м'ясопереробного цеху становить 3-4 голови ВРХ на добу.

За цим сценарієм також передбачається монтаж складського приміщення з регулюванням температурного режиму в процесі зберігання готової продукції, а також обладнання для виробництва комбікормів потужністю 100 т комбікорму на рік. Орієнтовні сумарні капітальні затрати на вказані складові становлять 30-35 тис. у.о. (табл. 5.4).

Таблиця 5.3 – Потужності складових інфраструктури

Складові інфраструктури	Моделі								
	№2	№3	№4	№5	№6	№7	№8	№9	№10-11
Складові									
Система зрошення, га	-	-	-	-	3030	3030	3030	3030	5124
Комплекс ВРХ, тис. ум. гол.	-	-	2,0	2,8	-	9,3	9,3	10,5	15,9
Молокозавод, т на добу	1	2	20	30	-	100	100	110	180
М'ясокомбінат, тис. т ж.в. на рік	-	-	0,3	0,4	-	1,3	1,3	1,4	2,2
Елеватор, тис. т	-	-	-	-	15	5	5	5	10
Склад готової продукції, тис. т	0,1	0,2	1,3	1,8	0,12	6,0	6,0	6,5	10,3
Цукрозавод, тис. т коренів на рік	-	-	-	-	-	-	-	60	100
Сховище для кормів, тис. т сухої речовини (с.р.)	-	-	8	11	-	35	35	40	65
Сховище для органічних добрив, тис. т с.р.	-	-	10	12	-	35	18	20	42
Біогазова установка, тис. т с.р.	-	-	-	-	-	-	35	36	53

Таблиця 5.4 – Вартість складових інфраструктури, млн у.о.

Складові інфраструктури	Моделі								
	№2	№3	№4	№5	№6	№7	№8	№9	№10-11
Система зрошення	-	-	-	-	5,4	5,4	5,4	5,4	15,6
Комплекс ВРХ	-	-	2,5	3,6	-	11,1	11,1	12,7	19,0
Маточне поголів'я	-	0,2	1,6	2,2	0,2	7,3	7,3	8,3	12,5
Молокозавод	0,1	0,1	0,7	0,9	0,1	2,9	2,9	3,2	5,1
М'ясокомбінат	-	-	0,1	0,1	-	0,3	0,3	0,4	0,5
Елеватор, склад продукції	-	-	0,1	0,2	0,4	0,3	0,3	0,4	0,7
Цукровий завод	-	-	-	-	-	-	-	2,5	3,5
Сховища для кормів і коренеплодів	-	-	1,0	1,4	-	4,6	4,6	5,8	8,9
Сховища для органічних добрив	-	-	1,2	1,6	-	4,4	0,9	0,7	1,0
Біогазова установка	-	-	-	-	-	-	8,0	9,0	13,5
Всього капітальних затрат	0,1	0,3	7,2	10,0	6,1	36,4	40,8	48,4	80,7

За умови, що річні витрати на утримання однієї дійної корови разом із шлейфом становлять 1,4 тис. у.о., із урахуванням витрат на переробку молока, накладних витрат та податку на додану вартість, загальні виробничі витрати формуються на рівні 200–210 тис. у.о. на рік (табл. 5.5).

Таблиця 5.5 - Структура виробничих затрат, млн у.о.

Статті затрат	Моделі								
	№2	№3	№4	№5	№6	№7	№8	№9	№10-11
Виробництво зерна	2,2	2,1	0,6	-	5,1	-	-	-	-
Утримання тварин	0,1	0,1	1,2	1,7	0,1	5,5	5,5	6,2	9,4
Переробка молока	0,02	0,02	0,3	0,4	0,02	1,1	1,1	1,3	1,9
Переробка м'яса	0,01	0,01	0,1	0,2	0,01	0,5	0,5	0,6	0,8
Виробництво цукру	-	-	-	-	-	-	-	0,7	1,2
Експлуатація БГУ	-	-	-	-	-	-	0,1	0,1	0,1
Експлуатація меліоративної системи	-	-	-	-	-	3,0	3,0	3,0	5,1
Накладні витрати	0,03	0,03	0,3	0,4	0,03	2,0	2,0	2,4	2,7
ПДВ	0,04	0,04	0,4	0,5	0,04	2,4	2,4	2,9	4,5
Разом	2,4	2,4	2,8	3,1	5,3	14,5	14,6	17,1	26,6

У результаті розширення виробничої інфраструктури, на виході технологічного процесу можливо отримувати до 20–21 т вершків із масовою часткою жиру 20 %, 25–27 т твердого сиру, а також до 10 т яловичини та телятини (табл. 5.6). За умов реалізації продукції за цінами 2,5 у.о./кг для вершків, 6,4 у.о./кг для сиру та 4,0 у.о./кг для м'яса, валовий дохід галузі тваринництва може досягти 280 тис. у.о. на рік. За таких умов рівень прибутковості становитиме близько 70–80 тис. у.о. (табл. 5.7), що забезпечить окупність капітальних інвестицій протягом перших шести місяців після впровадження.

Таблиця 5.6 - Заплановані обсяги виробництва продукції

Види продукції	СЦЕНАРИЙ								
	№2	№3	№4	№5	№6	№7	№8	№9	№10-11
Зерно, тис. т	13	12	4	-	25	-	-	-	-
Вершки, т	21	50	520	720	50	2300	2300	2600	4100
Сир, т	27	60	660	910	60	2900	2900	3300	5200
М'ясопродукти, т	10	10	110	155	10	500	500	600	900
Цукор, т	-	-	-	-	-	-	-	7200	12300
Олія, т	-	-	140	190	-	1200	1200	1500	1300
Метан	тис. м ³	-	-	-	-	-	7400	8000	12000
	м ³ /га	-	-	-	-	-	1440	1560	2340
Азот	т д.р.	-	-	150	210	-	700	700	1200
	кг/га	-	-	30	41	-	137	137	234
Фосфор	т д.р.	-	-	60	84	-	280	280	460
	кг/га	-	-	12	16	-	55	55	90
Калій	т д.р.	-	-	190	260	-	855	855	1500
	кг/га	-	-	37	51	-	167	167	293

Таблиця 5.7 - Очікувані обсяги валового і чистого доходу, млн у.о.

Види продукції	СЦЕНАРІЇ									
	№2	№3	№4	№5	№6	№7	№8	№9	№10	№11
Площа під кінцеву продукцію, га	260	360	3700	5124	370	5124	5124	5124	5124	5124
Валовий дохід із задіяної площині, млн у.о.	0,3	0,6	7,0	9,4	0,6	31,3	37,8	44,9	70,4	100,0
у т.ч.: м'ясо-молочні продукти	0,3	0,6	6,2	8,6	0,6	27,7	27,7	31,0	49,2	74,0
цукор	-	-	-	-	-	-	-	3,3	5,7	8,5
олія	-	-	0,2	0,3	-	1,8	1,8	1,5	2,0	3,0
добрива	-	-	0,4	0,6	-	1,8	1,8	2,0	3,1	3,1
енергія	-	-	-	-	-	-	6,5	7,0	10,5	10,5
Виробничі витрати	0,2	0,2	2,3	3,1	2,2	14,5	14,5	17,1	26,6	26,6
Чистий дохід із задіяної площині	0,07	0,4	4,8	6,3	0,3	-	-	-	-	-
Чистий дохід від реалізації зерна	1,0	0,9	0,3	-	2,1	-	-	-	-	-
Чистий дохід	млн у.о.	1,0	1,3	5,0	6,3	2,5	16,8	23,2	27,8	43,8
	тис. у.о./га	0,2	0,3	1,0	1,2	0,5	3,3	4,5	5,4	8,6
Капітальні затрати	0,04	0,23	6,2	11,1	0,6	37,0	41,2	49,2	81,7	81,7
Строк окупності, років	-	-	1	2	4	2	2	2	2	1

Модель №3. Наступний сценарій передбачає оновлення діючого дійного стада шляхом придбання високопродуктивних тварин з надоєм 9000–10000 л молока на рік. Це дозволить збільшити валове виробництво молока до 780–800 т на рік при розширенні площині ріллі для потреб тваринництва до 350–360 га. Відповідно, потужність молокопереробного модуля зросте до 2 т на добу, а склад для зберігання готової продукції — до 200 т.

За вартості маточного поголів'я 2 тис. у.о. за голову загальні фінансові затрати становитимуть 220-225 тис. у.о. Зрозуміло, що поточні витрати на виробництво залишаться на рівні попередньої моделі з незначним зростанням за рахунок збільшення обсягів переробленого молока – 2,4 млн у.о. Такий варіант виробничої діяльності дасть змогу окрім 12 тис. т зерна і насіння соняшнику отримувати до 50 т вершків і до 60 т сиру щорічно. При цьому валовий дохід від рослинництва становитиме на рівні 3 млн у.о. та від тваринництва – 0,6 млн у.о. Чистий прибуток зросте з 1,0 до 1,3 млн у.о. (див. табл. 5.7) або з 190 до 250 у.о./га. Ці розрахунки свідчать про економічну

значимість істотного підвищення продуктивності дійного стада – за відносно невисоких затрат прибутковість виробництва зросте на 50-60 у.о./га з короткими термінами їх окупності.

Модель №4. Згідно з бізнес-планом [15], для створення системи зрошення на площі 3300 га в ДП «Андріївське» необхідно інвестувати майже 5,4 млн умовних одиниць. Враховуючи економічні показники попередніх сценаріїв розвитку виробничої структури підприємства, виникає питання пріоритетності фінансових вкладень. Завданням Моделі №4 є оцінка першочерговості витрачання цих коштів: чи слід спрямувати їх насамперед на розвиток виробництва продукції тваринництва, чи на створення меліоративної системи. У першому випадку такий рівень капітальних затрат дасть змогу побудувати повністю обладнаний комплекс ВРХ на 2 тис. ум. голів вартістю 2,5-2,6 млн у.о., закупити 850 голів високопродуктивного маточного поголів'я на суму 1,6 млн у.о., поставити модулі з виробництва і зберігання м'ясо-молочних продуктів потужністю 8 тис. т молока і 0,3 тис. т живої ваги телят і вибракуваних корів на 0,7-0,8 млн у.о., побудувати нові сучасні сховища для зберігання 1,2-1,3 тис. т сіна, 5-6 тис. т сінажу, 10-11 тис. т силосу та 35 тис. т гною стандартної якості на суму 2,2 млн у.о. Таке положення за сучасної врожайності кормових і зернових культур потребує відведення на потреби тваринництва 3700 га ріллі. Решта площі забезпечить отримання до 4 тис. т зерна і насіння соняшнику. В результаті інвестування у вказаних обсягах дало би змогу щорічно отримувати крім продукції рослинництва 1200 т молочної продукції та 100-110 т яловичини і телятини. Крім того кількість азоту, фосфору і калію, що міститься в органічних добривах відповідно складає 450, 320 і 310 т за норми внесення напівперепрілого гною стандартної якості 7 т/га ріллі.

Також варто відзначити, що для забезпечення високої продуктивності корів раціони їх годівлі повинні бути добре збалансовані, зокрема за рахунок використання соняшникового шроту. При цьому приймалося, що в процесі

переробки насіння соняшника вихід олії становитиме 35 %, а загальна її кількість — 140 тонн.

Реалізація м'ясо-молочної продукції за вказаними цінами принесе 6,2 млн у.о., зерна — 0,9 млн у.о., олії — 0,2 млн у.о., а вартість заощаджених мінеральних добрив становитиме 0,4 млн у.о. Загальний валовий дохід сягне 7,7 млн у.о., або 1,5 тис. у.о. на гектар. Виробництво асортименту продукції, відповідного цьому сценарію, передбачає такі виробничі витрати (тис. у.о.): утримання тварин — 1200, переробка молока — 240, переробка м'яса — 105, накладні витрати — 310, ПДВ — 370. Загальні витрати на виробництво продукції тваринництва становлять 2230 тис. у.о., а разом з продукцією рослинництва — 2840 тис. у.о. Інвестування у розвиток молочного скотарства в розмірі 5,4 млн у.о., а також у переробку продукції тваринництва дозволить збільшити чистий дохід до 4,8 млн у.о., або 940 у.о. на гектар (табл. 5.7), із строком окупності капітальних вкладень 2 роки після впровадження.

Отже, така стратегія розвитку підприємства є перспективною і заслуговує на увагу в рамках довгострокового планування.

Модель №5. Слід зазначити, що у разі розширення інфраструктури тваринництва відповідно до сучасного потенціалу виробництва рослинної біомаси (без зрошення) економічні показники виробничої діяльності можуть значно покращитися. При врожайності озимих зернових 3,0 т/га на площі 1200 га, соняшнику — 1,2 т/га на 600 га та кормових культур — 12 т/га зеленої маси на 3324 га, можна буде виробити 4,3 тис. т комбікорму, 1,6 тис. т сіна, 7,2 тис. т сінажу та 14 тис. т силосу. Це дозволить забезпечити повноцінну годівлю 1200 високопродуктивних корів із нетелями та телятами, з виробництвом 1,8 тис. т м'ясо-молочної продукції, 200 т олії, а також накопиченням 1,5 тис. т азоту, фосфору та калію у складі органічних добрив завдяки внесенню 10 т/га підстилкового гною.

Такі умови сприятимуть зростанню прибутковості підприємства до рівня 6,3 млн у.о. (табл. 5.7), або 1230 у.о. на гектар, із терміном окупності капітальних витрат 2 роки.

Модель №6. За інвестування 5,4 млн у.о. в систему зрошення (табл. 5.4) на площі 3030 га (табл. 5.3) валове виробництво кукурудзи становитиме 13,3 тис. т, сої – 4,5 тис. т та соняшнику 2,6 тис. т. (табл. 5.6). На решті богарних площ за їх рівномірного розподілу між пшеницею озимою, ячменем озимим та соняшником за їх середньої багаторічної врожайності 2,9, 3,4 і 1,2 т/га можна також розраховувати на отримання 1,7, 2,0 та 0,7 тис. т відповідно по культурах. Тобто за такого сценарію очікуване валове виробництво зерна становить більше як 25 тис. т. На даний час підприємство має склади для зберігання приблизно 10 тис. т зерна. Для забезпечення незалежності від несприятливих кон'юнктурних коливань ринку доцільно створити власний мініелеватор потужністю 15–17 тис. т зерна. Орієнтовна вартість його будівництва становить 370–400 тис. у.о.

За умови впровадження варіанту розвитку виробництва продукції тваринництва, передбаченого сценарієм Моделі №3, капітальні витрати, окрім меліоративної системи та елеватора, також включатимуть придбання маточного поголів'я та монтаж модулів для переробки і зберігання тваринницької продукції. Загальний обсяг інвестицій становитиме близько 6 млн у.о.

Поточні (сучасні) щорічні витрати по напрямку виробництва продукції тваринництва приймалися на рівні 200-220 тис. у.о., собівартість кукурудзи за урожайності 110 т/га – 146 у.о./т, сої за урожайності 4,0 ц/га – 349 у.о./т, соняшнику за урожайності 3,5 т/га - 312 у.о./т, озимих зернових за урожайності 3,0 т/га - 146 у.о./т, ціна реалізації відповідно по культурах 200, 470, 500 та 200 у.о./т. За таких показників валовий дохід по підприємству буде становити 7,8 млн у.о., виробничі витрати – 5,3 млн у.о., чистий дохід 2,5 млн у.о. або 480 у.о./га, термін окупності капітальних затрат – 4 роки. З проведеного аналізу можна зробити висновок, що за наявності фінансових ресурсів на рівні 5,4 млн у.о. їх доцільніше було б вкладати у розвиток виробництва продукції тваринництва із забезпеченням прибутковості на рівні 900 у.о./га ріллі та строком окупності капітальних затрат 2 роки. Знову ж таки інвестування у

створення меліоративної системи дасть змогу отримувати на рівні 500 у.о./га чистого прибутку.

Модель №7. Очевидно, що створення меліоративної системи забезпечить суттєве підвищення врожайності вирощуваних культур. Збільшення обсягів рослинної біомаси на зрошуваних площах при оптимальній структурі сільськогосподарських культур з метою максимізації прибутку є пріоритетним завданням у розв'язанні проблеми створення сучасної високоефективної системи аграрного виробництва. Якщо припустити, що у структурі посівних площ соняшник займатиме 25% з урожайністю 3,5 т/га, соя – 35% з урожайністю 4,1 т/га та кукурудза 40% з урожайністю 11,3 т/га то середнє виробництво основної продукції становитиме на рівні 7 т/га. Як було показано вище на решті площ без зрошення валове виробництво озимої пшениці, озимого ячменю за їх середньої врожайності 2,5 т/га буде складати 5,2 тис. т. Якщо розглядати зерно кукурудзи, сої, озимих зернових і насіння соняшнику як сировину для виробництва концентрованих кормів (комбікорму), то для забезпечення високої продуктивності дійного стада 1400 га зрошуваних земель потрібно відводити під зернові і 1630 га під кормові з урожайністю 80 т/га зеленої маси (50% кукурудза МВС і 50% багаторічні трави).

Розрахунки показали, що існуючий потенціал кормової бази підприємства дозволяє утримувати 3,9 тис. дійних корів із продуктивністю 10 тис. л молока на рік, а також відповідну кількість нетелів і телят при середньому навантаженні 3 умовні голови на гектар. Таким чином, комплекс великої рогатої худоби повинен бути розрахований на утримання 9,2–9,3 тис. умовних голів.

За наявних потужностей по зберіганню зерна у 10 тис. т до інфраструктури додатково потрібно буде залучити елеватор на 5 тис. т, комбікормовий завод на 15 тис. т на рік або 40 т на добу, побудувати сховища для зберігання 5-6 тис. т сіна, 23-25 тис. т сінажу, 45-50 тис. т силосу та 140 тис. т гною. Для переробки 35-36 тис. т молока потужність молокозаводу повинна бути на рівні 100 т на добу, а потужності для переробки живої ваги ВРХ – 1300

т на рік. Склад для зберігання готової продукції тваринництва планується потужністю 5-6 тис. т на рік. Загальні капітальні вкладення на створення такої інфраструктури очікуються на рівні 36 млн у.о., зокрема на меліоративну систему – 5,4 млн у.о. (15%), комплекс ВРХ – 11,1 млн у.о. (31%), маточне поголів'я – 7,3 млн у.о. (20%), модулі з переробки продуктів тваринництва 3,2 млн у.о. (9%), сховища для кормів і добрив – 9,0 млн у.о. (25%).

Для прикладу готова продукція може включати 2,3 тис. т вершків, 2,9 тис. т сиру, 0,5 тис. т м'ясопродуктів. Крім того супутньо до виробництва комбікормів буде отримано 1,2 тис. т рослинної олії. Кількість азоту, фосфору і калію в органічних добривах за таких умов еквівалентна відповідно 700, 300 і 900 т д.р. мінеральних добрив.

В процесі отримання згаданих обсягів продукції виробничі витрати передбачаються на рівні 14,5 млн у.о. (табл. 5.5). Вони будуть включати утримання тварин – 5,5 млн у.о., переробку продуктів тваринництва – 1,6 млн у.о., накладні витрати і ПДВ – відповідно 2,0 і 2,4 млн у.о. Після реалізації м'ясомолочної продукції і олії з урахуванням вартості добрив валовий дохід складе 31-32 млн у.о., з урахуванням витрат на виробництво прибутковість підприємства сягне майже 17 млн у.о. або 3,3 тис. у.о./га (табл. 5.7).

Модель №8. В результаті трансформації біомаси кормів у продукти харчування буде накопичуватися приблизно 140 тис. т відходів тваринництва, що після виконання ряду технологічних процесів перетворюються у цінне добриво – підстилковий гній. Але цінність цього добрива залежить від дотримання відповідних вимог, зокрема що до умов зберігання, порушення яких призводить до великих втрат макро- і мікроелементів. Ці втрати розривають замкнені цикли поживних речовин, призводять до забруднення довкілля та в наступні виробничі періоди будуть істотно відбиватися на продуктивності сівозмін і можуть призводити до значних збитків. Для вирішення цієї проблеми передбачається будівництво сучасного сховища для підготовки і зберігання органічних добрив відповідно існуючих технологічних вимог. Залежно від різних факторів фінансові затрати на цей елемент

інфраструктури можуть сильно коливатися. В даному випадку прийнятий якийсь середній рівень – 4,4 млн у.о.

Водночас, існують технологічні можливості з переробки відходів тваринництва, що має цілу низку переваг. Так, в процесі метанового бродіння резервуарі біогазової станції приблизно половина сухої речовини з вихідної органічної біомаси переходить у біогаз який у свою чергу містить 50-60% метану. За звичай цей біогаз напряму спалюють на ко- або тригенераційних електростанціях з отриманням електро- і теплоенергії з отриманням додаткового прибутку. У результаті маса вихідної сировини зменшується удвічі, а у разі зневоднення до 25-30% - у 4 рази з відповідним скороченням капітальних затрат на будівництво сховища, зниженням виробничих витрат на підготовку, зберігання і внесення органічних добрив, їх знезараженням від шкодочинних організмів та збереженням замкнутого кругообігу біогенних елементів в агротехнічній системі. При цьому виробництво енергоносіїв у перерахунку на метан становитиме 7,4 млн m^3 або 1,4 тис $m^3/га$ (табл. 5.6).

З іншого боку вартість обладнання біоенергетичного комплексу такої потужності буде достатньо високою – на рівні 8 млн у.о. (табл. 5.5). Прийнятний рівень її ефективності буде досягатися лише в поєднанні з іншими складовими даної Моделі виробничої системи і за умови реалізації отриманої електроенергії за «зеленим тарифом». Її залучення до інфраструктури дасть змогу збільшити валовий дохід на 6,5 млн у.о. (табл. 5.7), виробничі витрати на її обслуговування становитимуть приблизно 100 тис. у.о. на рік, що разом з іншими технологічними процесами і статтями видатків складе 14,6 млн у.о. В результаті прибутковість підприємства зросте до 23,2 млн у.о. або до 4,5 тис. у.о./га.

Модель №9. Залучення до зрошувальної сівозміни 750 га цукрових буряків (25 % загальної площі) передбачає врожайність коренеплодів на рівні 80 т/га. За експериментальними даними, за умов краплинного зрошенння продуктивність культури може сягати не менше 120 т/га цукрової сировини. Для переробки такої кількості сировини планується будівництво цукрового

заводу з потужністю переробки близько 60 тис. тонн коренеплодів на рік. Відходи цукрового виробництва (жом і меляса) разом із побічною продукцією (гичкою) дозволять дешço розширити кормову базу тваринництва, що сприятиме збільшенню поголів'я з 9,3 до 10,5 тис. умовних голів. Обсяги переробки молока зростуть до 110 тонн на добу, а виробництво живої ваги — з 1,3 до 1,4 тис. тонн на рік. За цукристості коренеплодів 12 % обсяги виробництва цукру становитимуть близько 7,2 тис. тонн, що відповідає доходу у сумі 3,3 млн у.о. Загалом по підприємству при реалізації цього сценарію валовий дохід сягне 45 млн у.о., виробничі витрати становитимуть 17,1 млн у.о., а чистий дохід — 28 млн у.о., або 5,4 тис. у.о. на гектар (табл. 5.7).

Модель №10. Загальна вартість системи підгрунтового краплинного зрошення на площі 600 га складає 2916000 у.о. або в перерахунку на 1 га 4860 у.о. (табл. 5.4). Таким чином є можливість меліоративну систему поширити на всю площину ріллі, тобто ще на 2094 га. Це потребуватиме додаткових капітальних затрат на рівні 10,2 млн у.о. Крім того за рахунок збільшення обсягів виробництва основних і концентрованих кормів значно зростуть капітальні вкладення в інші складові інфраструктури. Зокрема, у порівнянні з попереднім сценарієм, поголів'я ВРХ зросте в 1,5 рази, потужність цукрового заводу і біогазової установки збільшиться в 1,7 та 1,5 рази, ємність сховищ для кормів — в 1,6 рази. У порівнянні з Моделлю №9 капітальні затрати сягнуть з 46 до 80 млн у.о. Збільшаться і витрати на виробництво з 17 до 27 млн у.о. В результаті виробництво всіх видів продукції зросте в 1,5-1,7 рази, її реалізація дасть змогу стабільно отримувати валовий дохід на рівні 70 млн у.о. з прибутковістю 8,6 тис. у.о./га та строком окупності капітальних затрат 2 роки (після впровадження).

Окрім цього, моделі 10 та 11 передбачають переробку відходів виробництва продукції з доданою вартістю — зокрема соапстоку, що утворюється при виробництві соняшникової олії. Як зазначалося раніше, при переробці насіння соняшнику, вирощеного у господарстві, обсяг соапстоку може сягати до 1000 т/рік. Це дозволить отримувати 200–300 кг ефірів з кожної

тонни сировини. Подальша переробка цих ефірів на біопаливо не лише забезпечить додатковий дохід, але й дозволить знизити викиди CO₂ в атмосферу на 40–60 %, що що дозволить зменшити вуглецевий слід агрорибництва.

Модель №11. За визначенням Міжнародної федерації органічного сільськогосподарського руху (IFOAM) [16] органічна сільськогосподарська виробнича система це та система, що підтримує здоров'я ґрунтів, екосистем та людей. Вона залежить від біологічних стресів, біологічного різноманіття та характерних для місцевих умов природних циклів. При цьому обмежується використання шкідливих ресурсів які визивають несприятливі наслідки. Нині органічним сільським господарством займаються 172 країни на площі 45 млн га. Сучасне органічне виробництво в Україні розвивається на протязі 20 років і на даний час ведеться на площі більш ніж 400 тис. га. Необхідно також враховувати, що в Україні залишилось лише декілька невеликих регіонів, де ґрунти ще не забруднені до небезпечних меж і на них можливе виробництво органічної продукції рівня світових стандартів. Зокрема, це Одесько-Ізмаїльський регіон.

В Європі, Сполучених Штатах, Австралії та інших розвинутих країнах попит на органічну продукцію зростає швидкими темпами. Особливо висока зацікавленість у постачанні високоякісних продуктів харчування, зокрема тваринного походження проявляється у нафтодобувних країнах Близького Сходу. Не зважаючи на досить високі ціни органічна продукція також користується попитом і в Україні. Зокрема підприємство розташоване в курортній зоні чорноморського узбережжя держави з величезною потребою у якісних і доступних продуктах харчування.

В зв'язку з таким положенням в даній роботі також розглядається Модель №11 формування на базі ДП ДГ «Андріївське» системи органічного аграрного виробництва. При розрахунках використовували роздрібні ціни у мережі органічних магазинів із виключенням торгової надбавки: м'ясо – 5,9, сметана 15% - 3,0, сир 45% – 12,1, цукор - 1,5 у.о./кг, олія – 5,2 у.о./кг. За

реалізації запланованих обсягів виробництва вказаних продуктів за такими цінами чистий дохід може сягнути більш як 8 тис. у.о./га без додаткових капітальних затрат (табл. 5.7).

Безумовно, що для вдосконалення виробничої структури базового агропідприємства потрібно залучити значні фінансові ресурси. Водночас поетапно досягнутий рівень прибутковості після впровадження окремих елементів запропонованих моделей може забезпечити надходження власних ресурсів для реалізації більш складних багатогалузевих моделей біоенергетичного виробництва. Так, цілеспрямоване використання прибутку в розвиток інфраструктури господарства, в першу чергу від відновлення зрошення, дасть можливість через 8-10 років реалізувати найбільш перспективну модель господарювання (рис. 5.25).

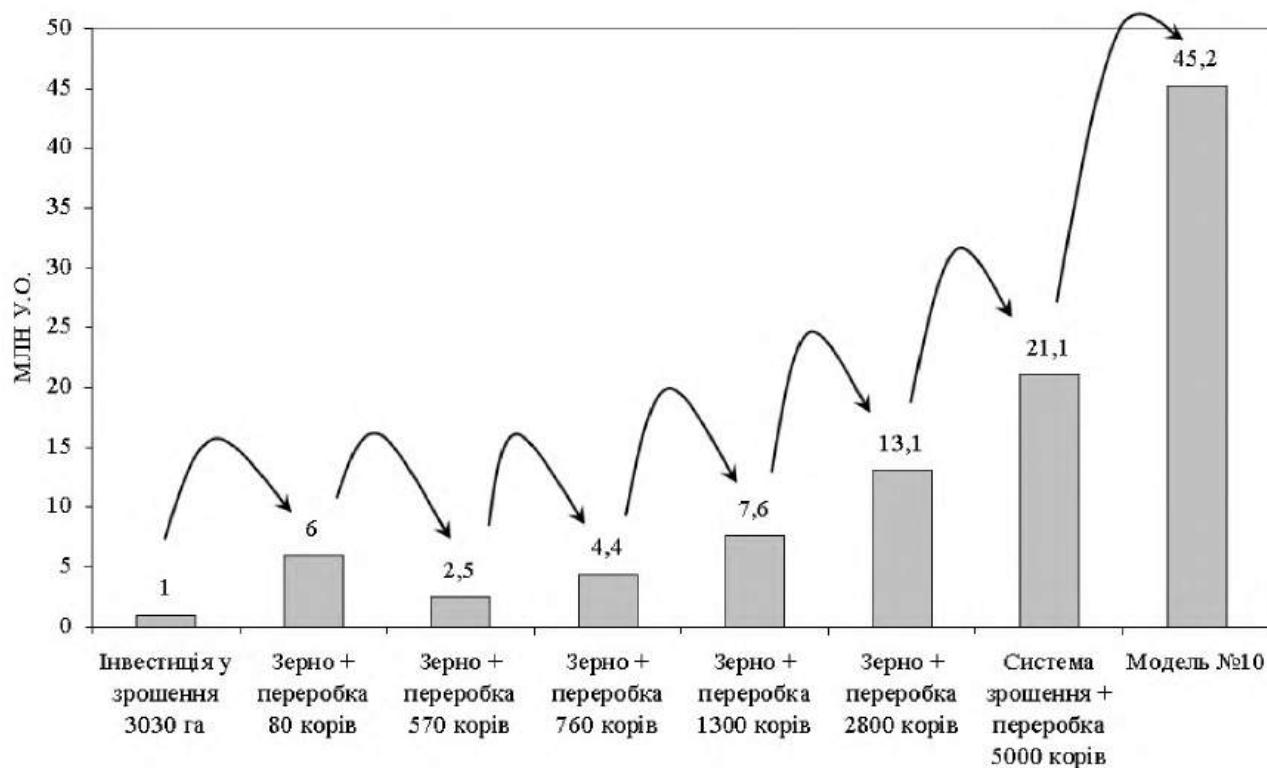


Рисунок 5.25 – Використання чистого прибутку для розвитку інфраструктури підприємства

Узагальнюючи результати проведеного дослідження, можна констатувати, що всі розроблені сценарії (Моделі №6-№11) є економічно

виправданими та можуть бути рекомендованими для впровадження в аграрному секторі. Водночас, остаточне рішення щодо вибору конкретного варіанту має ґрунтуватися на детальному аналізі фінансово-економічних можливостей суб'єкта господарювання та доступності необхідних ресурсів. Важливо підкреслити, що розрахунки економічної ефективності та термінів окупності для кожного з модельних варіантів виконані в умовах ідеальної реалізації всіх передбачених технологічних та організаційних рішень.

Висновки до розділу 5

1. Сучасна практика ведення аграрного виробництва більшості господарств півдня Одеської області, зокрема ДП ДГ «Андріївське», переважно зосереджена на рослинницькій спеціалізації, орієнтованій на виробництво сільськогосподарської сировини. У господарствах домінують вузько направлені сівозміни, які не забезпечують еколого-кліматичної адаптаційної здатності.

2. Встановлено, що ключовим чинником підвищення ефективності аграрного виробництва є оптимізація галузевої структури агроекосистеми з урахуванням агрокліматичних та ґрутових особливостей регіону. Найбільш перспективною є стратегія господарювання, що забезпечує максимальний кругообіг макроелементів, формує їх позитивний баланс, підвищує рециркуляцію та знижує втрати біогенних елементів за межі агроекосистеми. У результаті це сприяє сталому розвитку виробництва та зменшує залежність від зовнішніх джерел живлення ґрунту.

3. Формування збалансованої інфраструктури аграрного виробництва повинно базуватися на замкнених технологічних циклах, де відходи одних виробництв є сировиною для інших. Така інфраструктура включає високопродуктивне рослинництво, сучасні тваринницькі комплекси, модулі підготовки кормів і біоенергетичні станції для переробки рослинної біомаси та утилізації відходів з отриманням тепла, електроенергії, біогазу й органічних добрив.

4. В умовах сухого Степу ключовою передумовою реалізації перспективних

моделей біоенергетичного аграрного виробництва є застосування зрошення.

5. Найбільш перспективними для впровадження є сценарії, передбачені Моделями №6–№11. Досягнутий рівень прибутковості за реалізації цих моделей забезпечує короткий термін окупності капітальних затрат, попри потребу в значних фінансових інвестиціях.

Список використаних джерел до розділу 5

1. Тарапіко Ю.О. Біоенергетичні зрошувані агроекосистеми. Науково-технологічне забезпечення аграрного виробництва (Південний Степ України). К. : ДІА, 2010.
2. Тарапіко Ю.О., Величко В.А., Сайдак Р.В., Книш В.В. Сучасна практика та перспективи розвитку аграрного виробництва в Одеському регіоні. Вісник аграрної науки. 2020. Том 98, вип. 3. С. 61–70.
3. Тарапіко Ю.О., Ковальчук В.П. Войтович О.П. Перспективи міжгалузевої оптимізації сучасних агроекосистем. Агроекологічний журнал. 2017. № 2. <https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2017.220044>
4. Ромашенко М.І. та ін. Наукові засади відновлення та розвитку зрошення земель в Україні в сучасних умовах. Меліорація і водне господарство. 2017. Вип. 106(2). С. 3–14.
5. Наукові засади розвитку аграрного сектора економіки південного регіону України / За науковою редакцією Ромашенка М.І., Вожегової Р.А., Шатковського А. П. Херсон : ОЛДІ-ПЛЮС, 2017. 438 с.
6. Тарапіко Ю. О., Величко В. А. Універсальний інформаційно-аналітичний комплекс «Агроресурси». Аграрна наука і освіта. 2006. Т. 7. № 1, 2. С. 49–56.
7. Sytnik, N., Kunitsia, E., Mazaeva, V., Kalyna, V., Chernukha, A., Vazhynskyi, S., Yashchenko, O., Maliarov, M., Bogatov, O., & Bolibrugh, B. (2021). Rational conditions of fatty acids obtaining by soapstock treatment with sulfuric acid. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 4(6(112)), 6–13. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.236984>

8. Birta, G., Levoshko, N., Knysh, V., Usenko, S., Shostia, A., Ovsianikova, T., Falalieieva, T., Marushko, L., Semenko, Y., & Zygin, S. (2025). Identifying of rational conditions for etherification of sunflower soapstock fatty acids. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2(6 (134), 6–13. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.326031>
9. ДСТУ 4860:2007 Кислоти жирні соапстоків світлих олій та модифікованих жирів. Технічні умови. Чинний від 2009-01-01. - К. : Держспоживстандарт України, 2009. - III, 11 с. - (Національний стандарт України)
- 10.Мельник Ю.Р. Розробка біоенергетичних технологій переробки відходів олійножирової промисловості: автореф. дис.. канд. техн. наук: 05.14.06/ Ю.Р.Мельник; Нац. ун-т "Львів. політехніка".- Львів, 2021. <https://lpnu.ua/sites/default/files/2021/dissertation/17588/arefmelnykyur.pdf> (дата звернення: 05.03.2025)
- 11.Садік М.Ш. Удосконалення технологій біопалива з використанням вторинних продуктів олійножирової промисловості: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.14.06. Садік; Нац. техн. ун-т "Харків. політехн. ін-т". Харків, 2013. 20 с
- 12.Книш В.В., Сайдак Р.В., Сорока Ю.В., Тарапіко Ю.О. Формування зрошуваної біоенергетичної агроекосистеми у сухому степу України. Аграрні інновації. 2023. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2023.17.9>
- 13.Концепція Стратегії української біоекономіки до 2030 року [Електронний ресурс]. Національний університет біоресурсів і природокористування України. Режим доступу: <https://nubip.edu.ua/node/72005> (дата звернення: 05.03.2025).
- 14.Європейські знання для сталої біоекономіки в Україні [Електронний ресурс]. Київ: КНУТД, 2024. 157 с. Режим доступу: https://er.knutd.edu.ua/bitstream/123456789/26220/1/EZSBU_NP_2024.pdf
- 15.Бізнес-план використання земель ДП ДГ «Андріївське», Білгород-Дністровський район, Одеська область. ТОВ «Іrrігатор Україна». 2021 р. – 16 с.
- 16.IFOAM – Organics International [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.ifoam.bio/>

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено науково-практичне завдання щодо розроблення науково-методичних зasad формування біоенергетичних агроекосистем в зрошуваних умовах півдня Одеської області. Розроблено інноваційні рішення адаптації аграрного виробництва до сучасних кліматичних та екологічних викликів. За результатами досліджень встановлено, що:

1. Встановлено, що зміна клімату — зокрема підвищення температурного режиму, трансформація режиму зволоження та зростання частоти погодних аномалій — формує нові виклики для ефективного ведення землеробства. Це зумовлює необхідність адаптації аграрного сектора до мінливих кліматичних умов шляхом розроблення та впровадження інноваційних систем управління агроекосистемами в умовах зрошеннЯ.

2. Встановлено, що в регіоні досліджень протягом усього року спостерігається стійке підвищення температури повітря. Загалом за період 1990–2021 pp. середньорічна температура зросла на 1,3 °C, що, за умов практично незмінної кількості опадів, зумовило збільшення потенційної евапотранспірації в середньому на 93 мм.

3. Доведено, що стандартизований індекс опадів (SPI) має тісний кореляційний зв'язок із врожайністю зернових і зернобобових культур, що дає змогу використовувати його для оцінювання посушливих умов, частота яких на півдні Одеської області зросла у 2,5 рази. Результати оцінки кліматичного водного балансу засвідчили, що вирощування сільськогосподарських культур у регіоні відбувається в умовах стійкого дефіциту вологи: величина КВБ до кінця червня сягає 200 мм, а до кінця серпня — перевищує 400 мм.

4. Обґрутовано, що стало та високопродуктивне вирощування сільськогосподарських культур на півдні Одеської області можливе лише за умови застосування зрошеннЯ. На основі оцінки дефіциту кліматичного водного балансу встановлено, що для ранньої групи зернових і зернобобових

культур середня розрахункова зрошувальна норма становить близько 2000 м³/га, а в роки з імовірністю 90% забезпеченості дефіциту природного зволоження — зростає до 3000 м³/га. Для пізніх культур ці показники становлять відповідно 4500 та 5500 м³/га.

5. Встановлено, що чорноземи звичайні малогумусні важкосуглинкові формують запас доступної вологи в межах 70–80 мм у шарі ґрунту 0–60 см, що унеможливлює досягнення високої продуктивності сільськогосподарських культур без зрошення. Ведення зрошення запропоновано здійснювати з використанням низьконапірного і низькоінтенсивного дощування, а також краплинного зрошення. Обґрунтовано, що найвища ефективність і екологічна безпечноість поливів досягається за підтримання вологозабезпечення кореневого шару ґрунту в межах 85–90 % НВ (–40 кПа ÷ НВ) із поливними нормами до 200 м³/га при дощуванні та до 75 м³/га — при краплинному зрошенні.

6. Доведено, що ключовим чинником підвищення ефективності аграрного виробництва є оптимізація галузевої структури агроекосистеми з урахуванням агрокліматичних та ґрутових особливостей регіону. Найбільш перспективним є стратегія господарювання, що забезпечує максимальний кругообіг та позитивний баланс макроелементів, підвищення рециркуляції, зниження втрат біогенних елементів та ступінь їх відчуження за межі агроекосистеми.

7. Доведено, що формування збалансованої інфраструктури аграрного виробництва має базуватися на замкнених технологічних циклах, у яких відходи одних виробництв слугують цінною сировиною для інших. Для досягнення максимального ефекту така інфраструктура повинна включати високопродуктивне рослинництво та кормовиробництво в умовах зрошення, сучасні тваринницькі комплекси, модулі з підготовки кормів, а також біоенергетичні станції для переробки рослинної біомаси та утилізації відходів з виробленням тепла, електроенергії, біогазу й органічних добрив.

8. Найвищу інвестиційну привабливість мають виробничі сценарії, представлені моделями №6–№11, які передбачають інтеграцію зрошуваного землеробства з технологіями глибокої переробки продукції рослинництва та

тваринництва, впровадження замкнених технологічних циклів, виробництво біоенергії. Незважаючи на високу капіталомісткість, ці моделі забезпечують високий рівень рентабельності виробництва та оптимальні терміни окупності капітальних інвестицій. Встановлено, що функціонування системи зрошення є ключовою передумовою успішної реалізації перспективних біоенергетичних моделей аграрного виробництва.

РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ

Визначення напрямів використання та вибір систем аграрного виробництва слід здійснювати на основі системної оцінки агроресурсного потенціалу регіону.

Відновлення та розширення площ зрошення необхідно проводити з урахуванням прогнозованих кліматичних змін, рівня природної вологозабезпеченості, наявності, доступності та ефективності використання водних ресурсів.

Проектування зрошувальних систем і обґрунтування режимів зрошення необхідно здійснювати з урахуванням гідрофізичних властивостей ґрунтів.

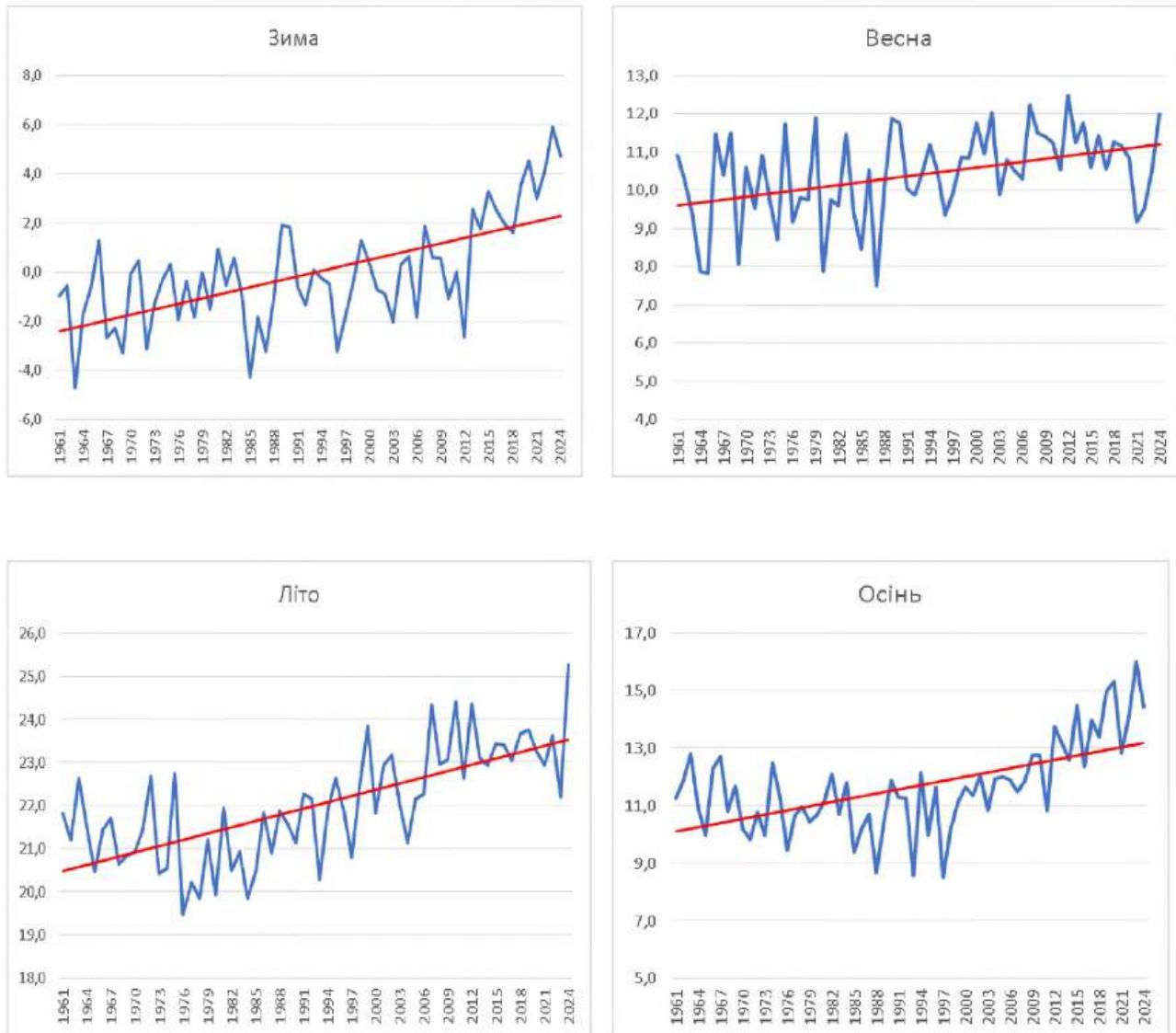
Підвищення рентабельності агровиробництва необхідно забезпечувати на основі комплексного використання біомаси (одночасне виробництво кормів і біогазу).

Адаптацію до змін клімату та підвищення ефективності й сталості агровиробництва слід здійснювати шляхом формування біоенергетичних зрошуваних агроекосистем, які поєднують рослинництво, тваринництво та локальні джерела енергії.

Д О Д А Т К И

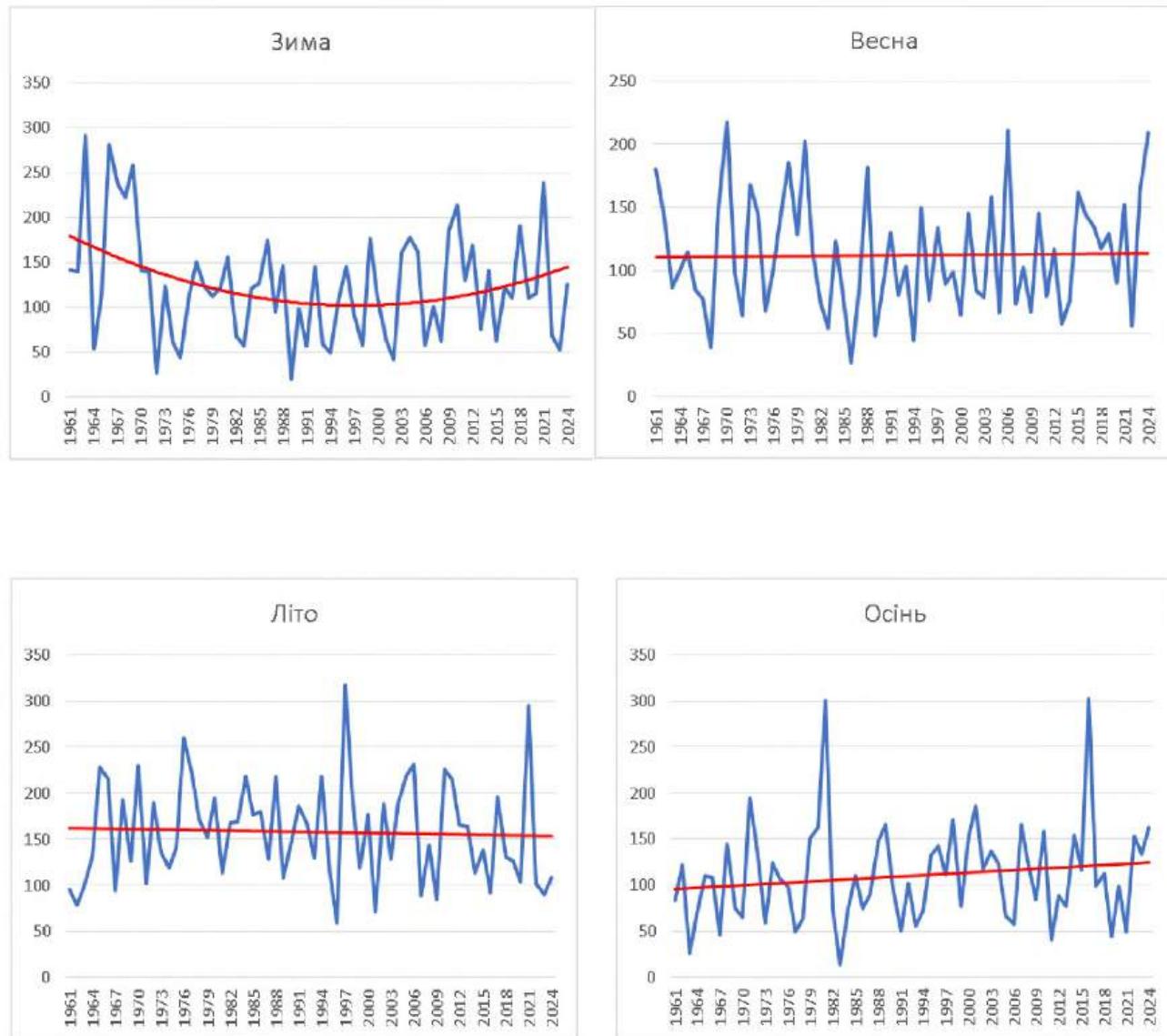
Додаток А

Динаміка сезонних змін температурного режиму за 1961-2024 рр., °C



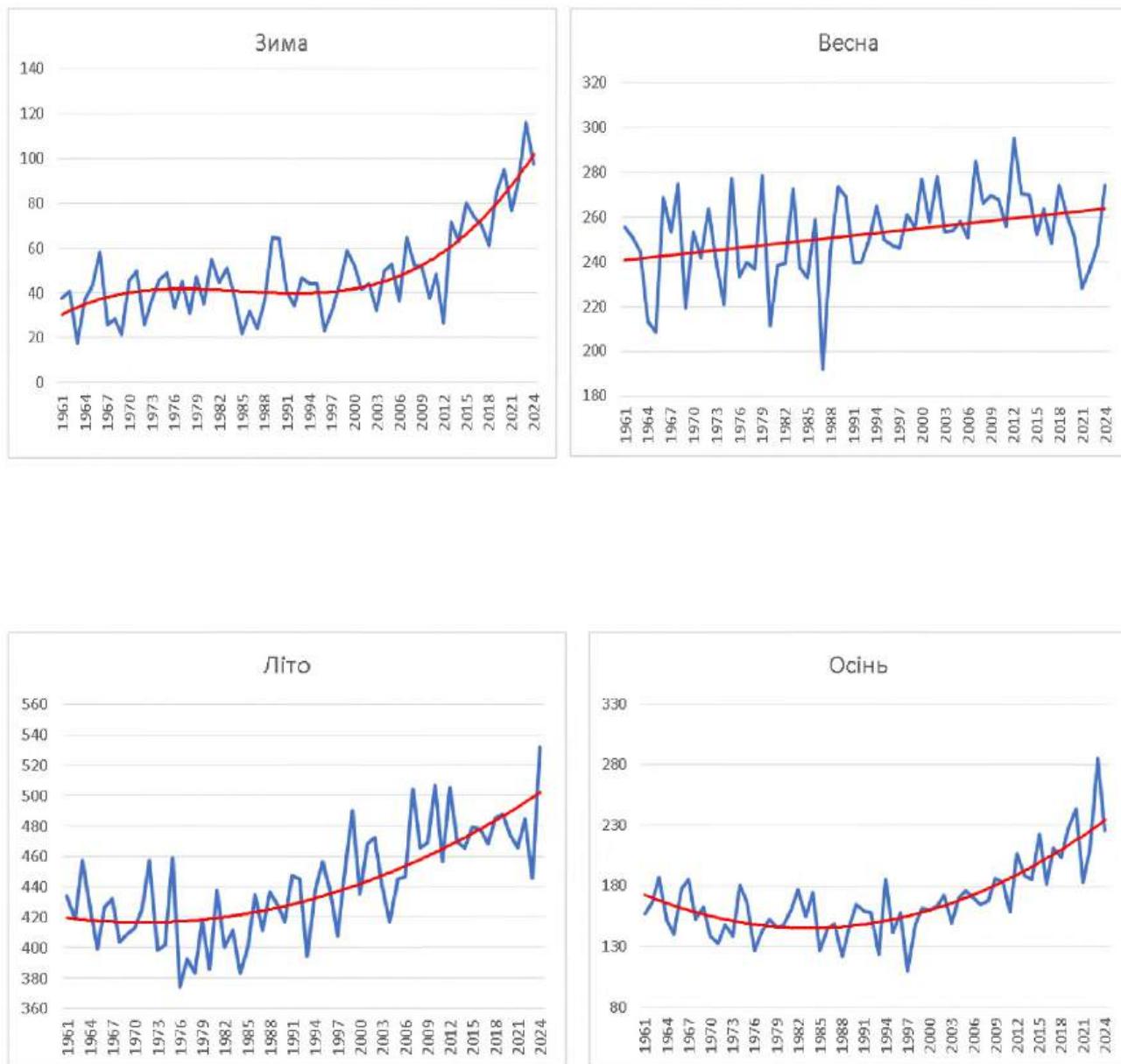
Додаток Б

Динаміка сезонних сум опадів за 1961-2024 рр., мм



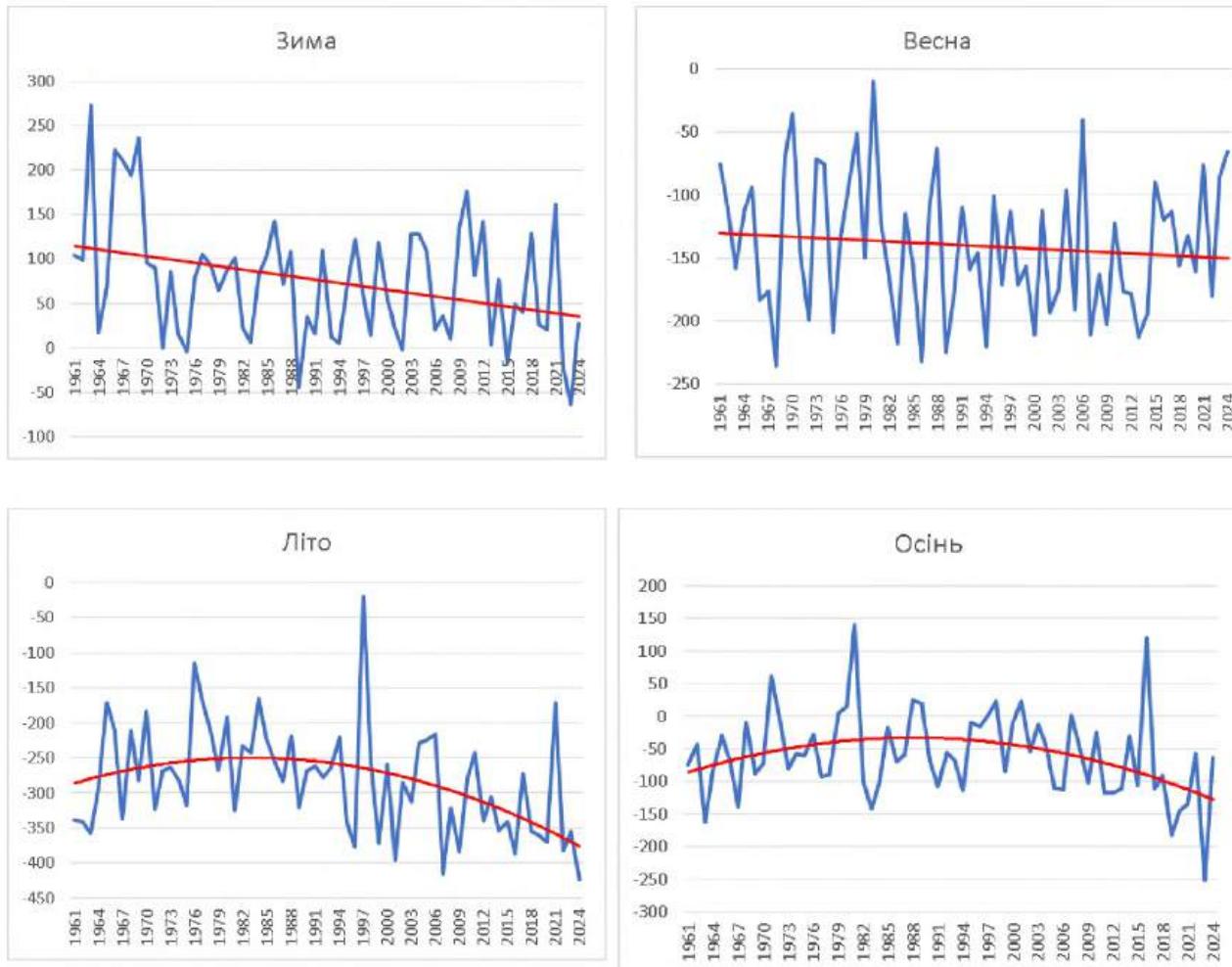
Додаток В

Динаміка сезонної потенційної евапотранспірації за 1961-2024 рр., мм



Додаток Г

Динаміка сезонного кліматичного водного балансу за 1961-2024 рр., мм



Додаток Д
Алгоритм програмного комплексу «Агроекосистема»



Додаток Е

Витрати молока на 1 т непастерізованих вершків з урахуванням
гранично припустимих втрат, т

Жирність молока, г/100 мл	Жирність вершків, %		
	20	33	35
3,0	7,04	11,64	12,35
3,1	6,81	11,25	11,94
3,2	6,59	10,89	11,56
3,3	6,39	10,56	11,20
3,4	6,20	10,24	10,86
3,5	6,02	9,94	10,55
3,6	5,85	9,66	10,25
3,7	5,69	9,39	9,96
3,8	5,53	9,14	9,70
3,9	5,39	8,00	9,44
4,0	5,25	8,68	9,20
4,1	5,12	8,46	8,98
4,2	4,09	8,26	8,76
4,3	4,88	8,08	8,55
4,4	4,77	7,88	8,35
4,5	4,66	7,70	8,17
4,6	4,56	7,53	7,99
4,7	4,46	7,37	7,81
4,8	4,36	7,21	7,65
4,9	4,27	7,06	7,49
5,0	4,19	6,92	7,34

Додаток Ж

Витрати молока на 1 т зрілого сиру 40 % жирності (з урахуванням
гранично допустимих втрат)

Жирність, г/100 мл		Витрати за середньо річний період		
молока	нормалізованої суміші	незбираного молока	знежиреного молока	нормалізованої суміші
3,3	2,26	9,63	4,58	14,21
3,4	2,31	9,40	4,58	13,98
3,5	2,33	9,11	4,72	13,83
3,6	2,38	8,82	4,66	13,48
3,7	2,43	8,55	4,60	13,15
3,8	2,48	8,29	4,54	12,83
3,9	2,48	8,07	4,76	12,83
4,0	2,53	7,84	4,69	12,53
4,1	2,58	7,63	4,62	12,25
4,2	2,63	7,42	4,55	11,97
4,3	2,68	7,23	4,48	11,71
4,4	2,69	7,06	4,60	11,66
4,5	2,74	6,96	4,59	11,55
4,6	2,79	6,79	4,52	11,31
4,7	2,80	6,64	4,62	11,26
4,8	2,85	6,48	4,55	11,03
4,9	2,90	6,33	4,48	10,81
5,0	2,95	6,19	4,40	10,59

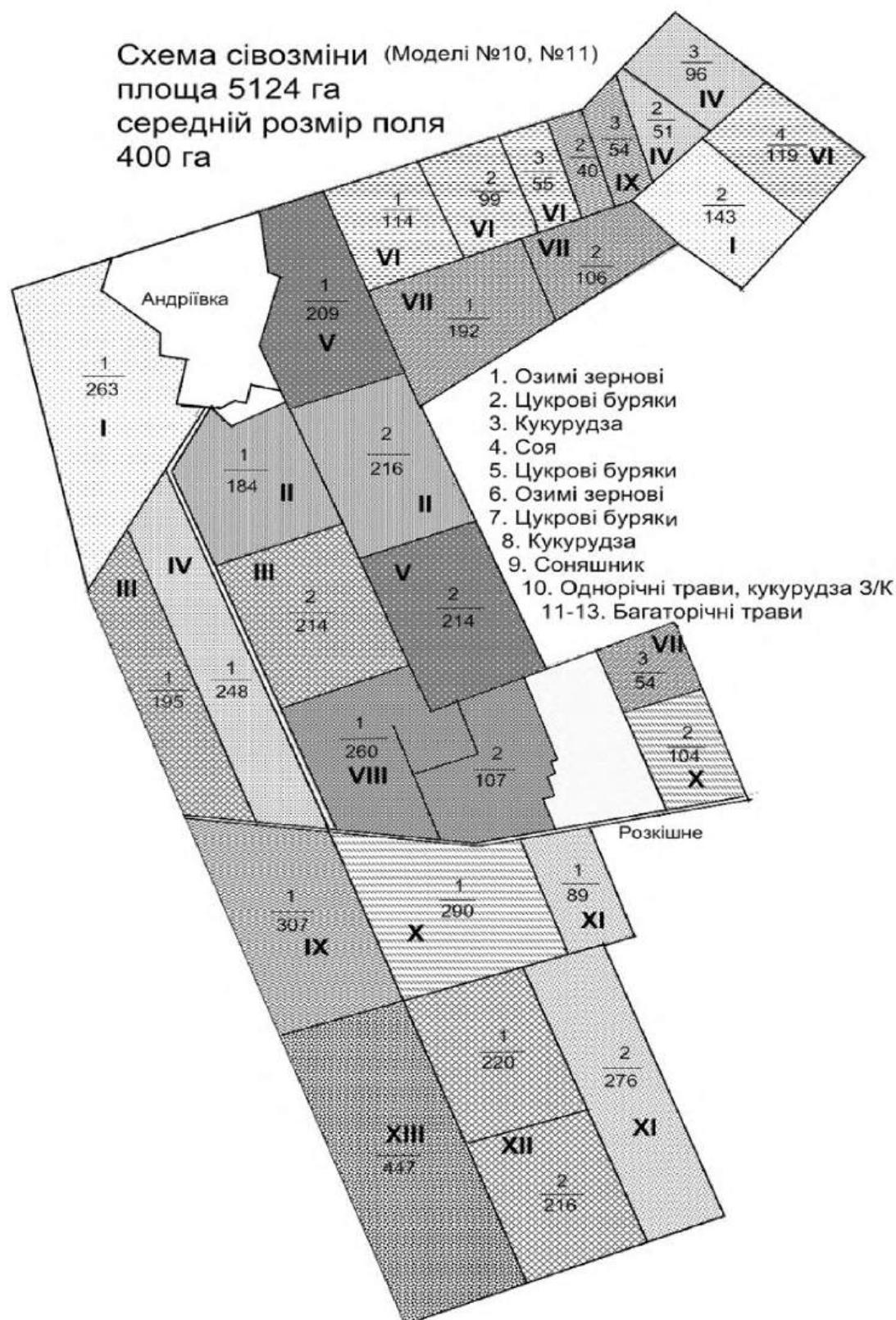
Додаток 3

Типова структура сівозмін у господарстві без застосування зрошення



Додаток I

Зрошувана сівозміна на всю площину землекористування (Моделі №10 і №11)



Додаток К
Акт впровадження



**УКРАЇНА
ОДЕСЬКА ОБЛАСНА ДЕРЖАВНА АДМІНІСТРАЦІЯ
ОДЕСЬКА ОБЛАСНА ВІЙСЬКОВА АДМІНІСТРАЦІЯ
ДЕПАРТАМЕНТ АГРАРНОЇ ПОЛІТИКИ,
ПРОДОВОЛЬСТВА ТА ЗЕМЕЛЬНИХ ВІДНОСИН**

вул. Кіннатиця, 83, м. Одеса, 65107, тел. 728-35-42, тел./факс 37-67-90,
Email: agropolitika@odessa.gov.ua СДРПОУ 41159618

23.04.2025 р.

№ 47/АПК

ДОВІДКА

про впровадження результатів дисертаційного дослідження Книша Владислава Володимировича на тему: «Обґрунтування біоенергетичних агроекосистем у зрошуваних умовах півдня Одеської області», підготовленої на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 201 Агрономія.

Аграрний сектор України стикається з викликами, спричиненими зміною клімату, обмеженістю водних ресурсів і коливаннями цін на енергоносії. Кліматичні зміни в регіоні суттєво впливають на умови вирощування сільськогосподарських культур. Так, в Одеській області за останні 30 років (1991–2021 рр.) середньорічна температура повітря за 1991–2021 роки зросла з 10,2°C до 11,5°C, тоді як кількість опадів зменшилася з 513 мм до 482 мм. Це призвело до зростання дефіциту кліматичного водного балансу з 263 мм до 332 мм. За розрахунками, що приведені в дисертаційній роботі потреба у воді для зрошуваних земель Одеської області (230 тис. га) становить 805 млн м³ на рік, з яких лише частина забезпечується існуючими системами.

У таких умовах зрошення стає критично важливим фактором забезпечення стабільної врожайності. Одним із перспективних рішень, що запропоновано дисертаційним дослідженням є впровадження замкнених циклів виробництва, які інтегрують вирощування сировини, її переробку та утилізацію побічних продуктів у складові єдиної системи.

У дисертаційній роботі розроблено та проведено імітаційне моделювання 11 сценаріїв розвитку виробничої діяльності базового господарства. Один із найбільш інноваційних та економічно доцільних сценаріїв передбачає формування замкненого циклу виробництва біопалива в умовах зрошуваних агроекосистем. Запропонована модель інтегрує вирощування біоенергетичних культур і соняшнику, переробку олії на бутилові ефіри, а також раціональну утилізацію побічних продуктів. Така інтегрована система дозволяє досягти синергетичного ефекту, що проявляється у підвищенні економічної ефективності виробництва, зниженні екологічного навантаження та зміцненні соціально-економічної стабільності господарства. Запропонований підхід повністю відповідає засадам сталого розвитку, сприяє збереженню родючості

Продовження додатку К

грунтів, зменшенню викидів парникових газів та адаптації агрорибництва до змін клімату.

Результати дисертаційного дослідження були використані Департаментом аграрної політики, продовольства та земельних відносин Одеської обласної державної адміністрації впродовж 2024–2025 років в рекомендаціях агробізнесу щодо розробки структурно-функціональних моделей біоенергетичних агроекосистем.

Впроваджено такі елементи дослідження:

- моделі функціонування біоенергетичних агроекосистем з урахуванням регіональних ґрутово-кліматичних умов;
- впровадження енергетичних культур (сorgo цукрове, кукурудза на силос) у сівозміну як джерела відновлюваної біомаси;
- адаптація методів ощадливого зрошення із застосуванням сучасних водозберігаючих технологій;
- використання побічної продукції рослинництва для енергетичних і агротехнічних цілей (виробництво біопалива, сидерация);
- формування стратегії сталого землеробства з орієнтацією на енерго- та ресурсоefективність в умовах кліматичних змін.

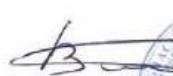
Оцінюючи зміст дисертаційної роботи можна стверджувати що одержаний науковий результат є обґрунтованим і має практичне і економічне значення.

Практичне значення впровадження результатів дисертаційного дослідження полягає у підвищенні ефективності використання зрошуваних земель, диверсифікації джерел доходів сільськогосподарських підприємств та зменшенні негативного впливу на довкілля.

Економічний ефект від впровадження результатів дослідження досягається через оптимізацію структури сівозмін з енергетичними культурами, що забезпечує диверсифікацію доходів господарств та підвищення рентабельності використання зрошуваних земель.

З огляду на прикладну спрямованість і практичну цінність дисертаційного дослідження, його результати були покладені в основу рекомендацій для агропідприємств регіону, використані під час розробки стратегічних і нормативних документів з розвитку агропромислового комплексу Одеської області, а також у практичній роботі з територіальними громадами щодо впровадження водо- та енергоощадних технологій, адаптованих до умов кліматичних змін.

Заступник директора Департаменту



 Віталій ВЛАСЕНКО

Додаток Л
Акт впровадження



НАУКОВО-ВИРОБНИЧЕ ФЕРМЕРСЬКЕ
ГОСПОДАРСТВО "КОМПАНІЯ МАЇС"
вул. Музейна, 11, м. Синельникове,
Дніпропетровська область, 52500, Україна.
тел./факс +38 (05663) 2-22-14, 2-22-15
E-mail: mais@maize.com.ua
www.mais-seeds.com

Акт про впровадження
результатів дисертаційної роботи КНИША Владислава Володимировича
на тему: «Обґрунтування біоенергетичних агроекосистем в зрошуваних умовах
півдня Одеської області»

Науково-виробниче фермерське господарство «Компанія Маїс» підтверджує, що результати дисертаційної роботи Книша Владислава Володимировича на тему: «Обґрунтування біоенергетичних агроекосистем в зрошуваних умовах півдня Одеської області» впроваджено у виробничу діяльність підприємства в межах реалізації договору № 12.1.09-24 від 12 серпня 2024 року, зокрема:

- проведено оцінку агрокліматичних ресурсів господарства для обґрунтування доцільності застосування зрошення;
- використано результати дослідження гідрофізичних властивостей чорноземів звичайних малогумусних важкосуглинкових для оптимізації водного режиму ґрунту;
- впроваджено науково обґрунтовані режими краплинного зрошення (поверхневого та підґрунтового) кукурудзи з урахуванням гідрофізичних характеристик ґрунтів.

Практичне використання зазначених результатів дозволило покращити вологозабезпеченість посівів гібридів кукурудзи та підвищити ефективність використання поливної води.

Генеральний директор
НВФГ «КОМПАНІЯ МАЇС»



Микола ФЕДЬКО

Додаток М

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, у яких опубліковані основні результати дисертації

Статті у наукових виданнях, включених до переліку

наукових фахових видань України:

1. Ромашенко М.І., Жовтоног О.І., Крученюк В.Д., Сайдак Р.В., **Книш В.В.** Управління процесом відновлення та сталого використання зрошення. Меліорація і водне господарство. 2014. Вип. 101. С. 137-147. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Mivg_2014_101_18
2. Ромашенко М.І., Матяш Т.В., Богаєнко В.О., Ковальчук В.П., Войтович О.П., Крученюк А.В., **Книш В.В.**, Шліхта В.В. Досвід розробки та шляхи удосконалення систем управління зрошенням. Меліорація і водне господарство. 2019. № 2. С. 17-30. DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg201902-207>
3. Тарапіко Ю.О., Величко В.А., Сайдак Р.В., **Книш В.В.** Сучасна практика та перспективи розвитку аграрного виробництва в Одеському регіоні. Вісник аграрної науки. 2020. Т. 98. № 3. С. 61-70. DOI: [10.31073/agrovisnyk202003-09](https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202003-09)
4. Ромашенко М.І., Яцюк М.В., Сайдак Р.В., Строкон Д.Я., Матяш Т.В., Попов В.М., Войтович І.В., **Книш В.В.** Реконструкція та модернізація міжгосподарських зрошувальних систем - основа підвищення енергоефективності водоподачі на зрошення. Меліорація і водне господарство. 2022. Вип. 1. С. 122-130. DOI: [10.31073/mivg202201-325](https://doi.org/10.31073/mivg202201-325)
5. Майданович Н.І., Сайдак Р.В., **Книш В.В.** Comparative analysis of the drought events frequency in Southern Ukraine according to SPI and HTC indicators. Technical and Technological Aspects of Development and Testing of New Machinery and Technologies for Agriculture of Ukraine. 2022. Вип. 2 (31(45)). С. 137-144. DOI: [10.31473/2305-5987-2022-2-31\(45\)-13](https://doi.org/10.31473/2305-5987-2022-2-31(45)-13)

Продовження додатку М

6. Книш В.В., Сайдак Р.В., Сорока Ю.В., Тарапіко Ю.О. Формування зрошуваної біоенергетичної агроекосистеми у сухому Степу України. Аграрні інновації. 2023. № 17. С. 69–80. DOI: 10.32848/agrar.innov.2023.17.9
7. Ромашенко М.І., Сайдак Р.В., Яцюк М.В., Матяш Т.В., Строкон Д.Я., Попов В.М., Книш В.В. Обґрунтування напрямів модернізації систем зрошення в Україні на основі оцінки їх енергоефективності. Вісник аграрної науки. 2023. Т. 101. № 1. С. 60–67. DOI: 10.31073/agrovisnyk202301-07
8. Сайдак Р.В., Писаренко П.В., Книш В.В., Тарапіко Ю.О., Сорока Ю.В., Щербина З.В. Особливості формування водозабезпечення озимої пшениці на півдні України. Меліорація і водне господарство. 2024. Вип. 1 (117). С. 85–90. DOI: 10.31073/mivg202401-384
9. Тарапіко Ю. О., Яцюк М. В., Сайдак Р. В., Книш В. В. Меліоровані агроекосистеми у Західному Поліссі. Аграрні інновації. 2024. № 26. С. 120–130. DOI: <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2024.26.16>.
10. Бірта, Г.О., Левошко, Н. В., Книш, В.В., Усенко, С.О., Шостя, А.М., Овсянікова, Т.О., Фалалеєва, Т.В., Марушко, Л. П., Семенко, Є.Ю., & Зигін, С.Є. (2025). Визначення раціональних умов етерифікування жирних кислот соняшникового соапстоку. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2(6(134), 6–13. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.326031>

Статті у виданнях інших держав (Scopus):

11. Yurii Tarariko, Vladyslav Knysh and Ibrokhim Sapaev. Bioenergy agroecosystems as a basis for food sustainability. BIO Web Conf., 151 (2025) 01001 <https://doi.org/10.1051/bioconf/202515101001>

Статті у виданнях інших держав:

11. Tarariko Y. Saydak R., Knysh V., Soroka Y. Creation of an irrigated bioenergy agroecosystem in the dry steppe of Ukraine. International scientific and technical conference “Modern problems of water management, environmental

Продовження додатку М

protection, architecture and construction". Ts. Mirtskhulava Water management institute; Ecocenter for environmental protection. 16.07.2024.
<https://doi.org/10.36073/1512-2344>

Наукові праці, які засвідчують апробацію результатів дисертаційної роботи:

13. В.В. Книш, Ю.О. Тарапіко, Л.Д. Глущенко Обґрунтування системи обробітку чорнозему типового в сівозміні з цільовим вирощуванням сої// Наукові читання до 85-річчя від дня народження В.Г. Михайлова – видатного вченого у галузі селекції та насінництва сільськогосподарських культур. 2021/5/10. С. 81-85.

14. Ю.О. Тарапіко, В.В. Книш. Формування низьковуглецевих агроекосистем. Журнал Екологічна безпека та збалансоване природокористування в агропромисловому виробництві. Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Екологічна безпека та збалансоване природокористування в агропромисловому виробництві». 2022. С 350-354 https://www.agroeco.org.ua/wp-content/uploads/zbirnyk_2022.06_part1.pdf#page=350

15. Сайдак Р.В., Книш В.В. Використання показників SPI та ГТК для порівняння частоти прояву посушливих явищ на півдні України. Матеріали V міжнародної науково-практичної конференції молодих учених “Роль меліорації та водного господарства у забезпеченні сталого розвитку землеробства”, 8 грудня 2022 року, Київ, Україна.

16. Книш В.В. Сайдак Р.В. Вплив кліматичних змін на гідротермічні умови в Південному регіоні України. Міжнародна науково-практична конференція «Підземні води як стратегічний ресурс економічного розвитку держави» присвячена Все світньому дню водних ресурсів. 2022/3/22. С. 102-104.

17. Тарапіко Ю.О., Писаренко П.В., Сайдак Р.В., Сорока Ю.В., Книш В.В. Оцінка водопотреби для зрошення в Східному лісостепу України з

Продовження додатку М

урахуванням природних умов. «Науково-інноваційний розвиток агроприродництва як запорука продовольчої безпеки України: вчора, сьогодні, завтра». Матеріали конференції. С 64-66.

18. Книш В. В. Доцільність і перспективи виробництва пелет у ДП ДГ «Андріївське» з аграрної біомаси. Збірник тез ХІ Міжнародної науково-практичної онлайн-конференції «Прискорення змін для подолання водної кризи в Україні», присвяченої Всесвітньому дню водних ресурсів, 22 березня 2023 р. - С 24-26. <https://mivg.iwpim.com.ua/files/tezy2023.pdf> (дата звернення: 05.03.2025).

19. Майданович Н., Сайдак Р., Книш В. Аналіз частоти посух на Південні України за показниками SPI та ГТК. ХХІІІ Міжнародна наукова конференція «Науково-технічні засади розроблення, випробування та прогнозування сільськогосподарської техніки і технологій» УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого. 2023 р. С. 127-134.

20. Тарапіко Ю.О., Писаренко П.В., Сорока Ю.В., Книш В.В. Агроресурсний потенціал меліорованих територій сухого степу Одеської області. XII міжнародна науково-практична конференція «Вода для миру», Інститут водних проблем і меліорації НААН, м. Київ, 21.03.2024 р. URL: https://waterday.iwpim.com.ua/Water_day_tezy2024.pdf (дата звернення: 05.03.2025).

21. Сайдак Р.В., Писаренко П.В., Книш В.В., Федорченко О.В. Вдовиченко О.П. Моделювання вологозабезпечення пшениці озимої на Південні України // Матеріали конференції «Кліматичні зміни та сільське господарство. Виклики для аграрної науки та освіти» https://nmc-vfpo.com/wp-content/uploads/2024/04/tezy-malynka-27-03-2024_compressed.pdf. Київ: Олді+, 2024, 27.03.2024. С.130-133.

22. Книш В.В. Тарапіко Ю.О. Стадій розвиток аграрного сектору на біоенергетичній основі. Міжнародна науково-практична конференція «Сучасні вектори розвитку аграрної науки», присвячена 150-річчю створення

Продовження додатку М

Херсонського державного аграрно-економічного університету. 17-18 вересня 2024 р.

23. Грунтовий покрив України в умовах воєнних дій: стан, виклики, заходи з відновлення: монографія; за ред. С.А. Балюка, А.В. Кучера, М.І. Ромашенка. Київ: Аграрна наука, 2024. 340 с. Розділ «Сучасні проблеми водного господарства, охорони навколошнього середовища, архітектури та будівництво» Ромашенко М.І., Файбишенко Б.О., Шевченко А.М., Усата Л.Г., Сайдак Р.В., Сташук В.А., Никитюк О.А., Мацелюк Є.М., Музика О.П., Усатий С.В., Книш В.В. С. 279-315 <https://doi.org/10.31073/978-966-540-612-9> <https://agrovisnyk.com/books/978-966-540-612-9.pdf>

24. Тарапіко Ю.О., Сайдак Р.В., Сорока Ю.В., Книш В.В. Органічна система удобрення у степу на зрошенні. Науково–практична конференція «Наукові читання до 100-річчя від дня народження Філіп'єва Івана Давидовича – видатного вченого у галузі агрохімії та ґрунтознавства». С.230-234. 20 вересня 2024 р.

25. В. Книш, Ю. Тарапіко. Перспективи використання агроресурсного потенціалу сухого степу Одещини. Матеріали VI міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених 10 жовтня 2024 року. «Роль меліорації та водного господарства у забезпеченні сталого розвитку сільського господарства». с. 75-77. <https://doi.org/10.31073/mivg202403>

26. Тарапіко Ю.О., Книш В.В. Формування збалансованої системи природокористування у західному Поліссі. Науково-практична конференція «Збалансоване природокористування: традиції, перспективи та інновації». Інститут агроекології і природокористування НААН. 17 жовтня 2024 р.

27. Степанова М.М., Книш В.В., Вдовиченко О.П. «Передумови інтеграції геоінформаційних технологій в систему логістики агропродукції в умовах нестабільності». Міжнародна науково-практична конференція «Впровадження геоінформаційних технологій на практиці» 6 березня 2025 року

Продовження додатку М

м. Одеса. С. 40-43. <https://icsanaas.com.ua/wp-content/uploads/2025/04/Збірник-матеріалів-конференції-06.03.2025-року.pdf>

28. Тарапіко Ю.О., Книш В.В., «Біоенергетичні рішення для структурної модернізації зрошуваних агроекосистем». XIII Міжнародна науково-практичній конференції «Вода для майбутнього: управління, збереження, інновації», присвяченій Всесвітньому дню водних ресурсів. 25-26 березня 2025 року. м. Київ. С. 95-98.
https://waterday.iwpim.com.ua/Water_day_tezy2025.pdf

29. Тарапіко Ю.О., Книш В.В., «Моделювання замкненого циклу для виробництва біодизельного палива в зрошуваних агроекосистемах» Міжнародна науково-практична конференція «Водна та продовольча безпека: світові та регіональні тенденції». 20 березня 2025 року м. Одеса. С. 75-78
<https://icsanaas.com.ua/wp-content/uploads/>