

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
Інститут нафтогазової інженерії
Кафедра Технології захисту навколишнього середовища та безпеки праці
ОПП Технології захисту навколишнього середовища

Затверджую
Зав. кафедри ТЗБП
Галина ГРИЦУЛЯК _____
(ім'я та прізвище) (підпис)
«___» _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Марциновський Петро Вікторович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Дослідження технологій адаптації аграрного сектору до змін клімату на прикладі Івано-Франківської області»

керівник роботи: Яцишин Т.М. д. т. н., професор
(ім'я, прізвище, науковий ступінь, вчене звання керівника)

затверджені наказом університету від 15 » 10 2025 р. № №636/7

2 Термін здачі закінченої роботи «12» 12 2025 р.

3 Вихідні дані до роботи:

- Наукові публікації, монографії та статистичні матеріали щодо впливу фармацевтичних забруднювачів на довкілля.
- Картографічні матеріали масштабу 1:10 000–1:50 000.
- Пояснювальна записка (магістерська робота), обсяг 75 сторінок.
- Аналітичні таблиці та графіки результатів досліджень.
- Картографічні матеріали (карти ізоліній або GIS-шари з розподілом нітратів).
- Додатки: карти-схеми району дослідження, форми протоколів аналізів, фотоматеріали.

Календарний план виконання магістерської роботи

№	Назва етапів бакалаврської роботи	Термін виконання	Примітка
1	Вступ Розділ 1 Теоретико-методологічні засади адаптації аграрного виробництва до змін клімату	до 01.10.25	
2	Розділ 2. Аналіз агрокліматичних умов та стану аграрного сектору Івано-Франківської області	до 20.10.25	
4	Розділ 3. Обґрунтування технологій адаптації аграрного сектору регіону	до 01.12.25	
5	Розділ 4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	до 05.12.25	
5	Висновки Літературні джерела Додатки	до 10.12.25	

Студент _____ Петро МАРЦИНОВСЬКИЙ
(підпис) (ім'я та прізвище)

Керівник _____ д. т. н., професор Теодозія ЯЦИШИН
(підпис) (ім'я та прізвище)

РЕФЕРАТ

Актуальність теми. Глобальні кліматичні зміни створюють нові виклики для сільського господарства Івано-Франківської області, де за останні два десятиліття зафіксовано підвищення середньорічної температури на 0,8–1,2 °C та суттєвий перерозподіл опадів. Трансформація агрокліматичних зон, зокрема набуття та зростання ризиків літніх посух, робить традиційні системи землеробства економічно вразливими та нестабільними. Це зумовлює нагальну необхідність наукового обґрунтування та впровадження адаптивних технологій — ресурсозберігаючих систем обробітку ґрунту та цифрового моніторингу, які здатні забезпечити сталість агровиробництва в умовах кліматичної невизначеності.

Об'єкт дослідження — процеси адаптації аграрного виробництва до глобальних та регіональних кліматичних змін.

Предмет дослідження — технології адаптації (агротехнічні, селекційні, цифрові), спрямовані на підвищення стійкості сільськогосподарських підприємств Івано-Франківської області.

Мета роботи — обґрунтування та експериментальна перевірка ефективності технологій адаптації аграрного сектору (систем обробітку ґрунту, водного менеджменту та точного землеробства) в умовах кліматичних трансформацій регіону.

Методи дослідження: аналіз статистичних та метеорологічних даних; польовий експеримент (порівняння технологій No-Till, Mini-Till, Strip-Till); гравіметричний метод (вологість ґрунту); дистанційний моніторинг (дрони, супутникові індекси NDVI); економіко-математичне моделювання.

Результати дослідження. У роботі проаналізовано динаміку кліматичних змін в регіоні та виявлено тенденцію до подовження вегетаційного періоду, що відкриває можливості для вирощування теплолюбних культур, але підвищує ризики водного стресу. На основі

польових досліджень у Коломийському районі (с. Підгайчики) доведено переваги ресурсозберігаючих технологій над традиційною оранкою. Встановлено, що технологія Strip-Till із локальним зрошенням забезпечує найвищу врожайність сої (35 ц/га) та кукурудзи (82 ц/га), а також краще утримання вологи в ґрунті (22,5 %). Обґрунтовано ефективність використання цифрових інструментів: застосування дронів та метеостанцій дозволяє виявляти стресові зони з точністю 90–95 % та економити до 30 % води для поливу. Диференційоване внесення добрив (VRA) забезпечує економію ресурсів на 15–20 %. Розраховано, що комплексне впровадження запропонованих заходів забезпечує економічний ефект у розмірі 7,5–11,8 млн грн на 1000 га із терміном окупності 1–2 роки.

Наукова новизна: вперше для умов Прикарпаття комплексно обґрунтовано поєднання смугового обробітку ґрунту (Strip-Till) із цифровим моніторингом як основного методу адаптації до локальних посух та зміни кліматичних зон.

Практичне значення: результати можуть бути використані агропідприємствами регіону для модернізації технологічних карт вирощування культур та підвищення рентабельності виробництва в умовах зміни клімату.

Ключові слова: зміни клімату, адаптація, no-till, strip-till, соя, точне землеробство, дрони, економічна ефективність, Івано-Франківська область.

ABSTRACT

Relevance of the topic. Global climate changes create new challenges for agriculture in the Ivano-Frankivsk region, where an increase in the average annual temperature by 0.8–1.2 °C and a significant redistribution of precipitation have been recorded over the past two decades. The transformation of agro-climatic zones, in particular the acquisition and increase of risks of summer droughts, makes traditional farming systems economically vulnerable and unstable. This leads to an urgent need for scientific substantiation and the introduction of adaptive technologies — resource-saving tillage systems and digital monitoring, which are able to ensure the sustainability of agricultural production in conditions of climatic uncertainty.

The object of research is the processes of adaptation of agricultural production to global and regional climate changes.

The subject of the study is adaptation technologies (agrotechnical, breeding, digital), aimed at increasing the sustainability of agricultural enterprises in the Ivano-Frankivsk region.

The purpose of the work is substantiation and experimental verification of the effectiveness of adaptation technologies of the agrarian sector (systems of tillage, water management and precision agriculture) in the conditions of climatic transformations of the region.

Research methods: analysis of statistical and meteorological data; field experiment (comparison of No-Till, Mini-Till, Strip-Till technologies); gravimetric method (soil moisture); remote monitoring (drones, satellite NDVI indices); economic and mathematical modeling.

Research results. The work analyzed the dynamics of climatic changes in the region and revealed a tendency to lengthen the growing season, which opens up opportunities for growing heat-loving crops, but increases the risks of water stress. On the basis of field research in the Kolomyia district (Pidgaychykyi village), the

advantages of resource-saving technologies over traditional plowing have been proven. Strip-Till technology with local irrigation was found to provide the highest yield of soybeans (35 t/ha) and corn (82 t/ha), as well as better soil moisture retention (22.5%). The effectiveness of the use of digital tools has been substantiated: the use of drones and weather stations allows identifying stress areas with 90-95% accuracy and saving up to 30% of irrigation water. Differentiated fertilizer application (VRA) provides resource savings of 15–20%. It is estimated that the comprehensive implementation of the proposed measures provides an economic effect in the amount of 7.5–11.8 million UAH per 1,000 hectares with a payback period of 1–2 years.

Scientific innovation: for the first time, the combination of strip tillage (Strip-Till) with digital monitoring as the main method of adaptation to local droughts and changes in climate zones has been comprehensively substantiated for the conditions of the Carpathian region.

Practical significance: the results can be used by agro-enterprises of the region to modernize the technological maps of growing crops and increase the profitability of production in conditions of climate change.

Key words: climate change, adaptation, no-till, strip-till, soybean, precision agriculture, drones, economic efficiency, Ivano-Frankivsk region.

ЗМІСТ

	ст.
ВСТУП.....	10
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ	
1. АДАПТАЦІЇ АГРАРНОГО ВИРОБНИЦТВА ДО ЗМІН КЛІМАТУ	13
1.1. Сутність та наслідки глобальних кліматичних змін для сільського господарства.	13
1.2. Класифікація технологій адаптації аграрного сектору до глобальних кліматичних змін.....	17
1.3. Зарубіжний досвід адаптації аграрних підприємств до кліматичних ризиків.....	21
2. РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ АГРОКЛІМАТИЧНИХ УМОВ ТА СТАНУ АГРАРНОГО СЕКТОРУ ІВАНО-ФРАНКІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ	24
2.1. Динаміка кліматичних змін в регіоні за останні 10 років.	24
2.2. Оцінка сучасного стану сільського господарства Івано – Франківської області.	29
2.3. SWOT-аналіз існуючих практик адаптації на підприємствах регіону	33
3 РОЗДІЛ 3. ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ АДАПТАЦІЇ АГРАРНОГО СЕКТОРУ РЕГІОНУ	33
3.1. Обґрунтування технологій No-Till, Mini-Till, Strip-Till та систем водного менеджменту в умовах Івано-Франківської області	37
3.2. Оптимізація структури посівів та селекційні технології.....	43
3.3. Цифровізація та точне землеробство як інструменти моніторингу кліматичних ризиків.	46

3.4. Економічна ефективність запропонованих заходів.....	57
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	62
4.1 Особливості умов праці в сільському господарстві в умовах підвищених температур.....	62
4.2 Заходи безпеки при роботі з новітньою агротехнікою.....	63
ВИСНОВКИ.....	65
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	70

ВСТУП

Актуальність теми. Глобальні кліматичні зміни стали одним із найбільших викликів для сталого розвитку сільського господарства у ХХІ столітті. Підвищення середньорічних температур, зміна режиму опадів та зростання частоти екстремальних погодних явищ (посух, злив, заморозків) створюють загрозу продовольчій безпеці та вимагають докорінної трансформації підходів до агровиробництва. Для Івано-Франківської області ця проблема є особливо гострою, оскільки за останні 20 років у регіоні спостерігається зростання середньорічної температури на 0,8–1,2 °С, що призводить до зміщення агрокліматичних зон та зміни умов вегетації культур. Традиційні системи землеробства стають неефективними та ризикованими, що зумовлює необхідність наукового обґрунтування та впровадження адаптивних технологій — ресурсозберігаючих систем обробітку ґрунту, нових посухостійких сортів та інструментів точного землеробства.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є дослідження та обґрунтування технологій адаптації аграрного сектору до змін клімату на прикладі Івано-Франківської області для забезпечення стабільної врожайності та економічної ефективності виробництва.

Для досягнення мети поставлено такі завдання:

- Проаналізувати теоретико-методологічні засади адаптації аграрного виробництва до змін клімату.
- Дослідити динаміку кліматичних змін в Івано-Франківській області за останні 10–20 років та оцінити сучасний стан аграрного сектору.
- Експериментально обґрунтувати ефективність ґрунтозахисних технологій (No-Till, Mini-Till, Strip-Till) та систем водного менеджменту в умовах регіону.

- Визначити роль цифровізації та точного землеробства (дрони, супутниковий моніторинг, метеостанції) у системі управління кліматичними ризиками.
- Розрахувати економічну ефективність запропонованих адаптаційних заходів.
- Розробити заходи з охорони праці та безпеки при роботі з новітньою агротехнікою в умовах підвищених температур.

Об'єкт дослідження — процеси адаптації технологій вирощування сільськогосподарських культур до змін клімату в умовах Прикарпаття.

Предмет дослідження — сукупність агротехнічних, технологічних та організаційних заходів (системи обробітку ґрунту, сортовий склад, цифрові інструменти), спрямованих на підвищення стійкості агровиробництва до кліматичних ризиків.

Методи дослідження. У роботі використано комплекс методів:

- *аналітичний та статистичний* — для оцінки кліматичних змін та стану агросектору;
- *польовий експериментальний* — для порівняння технологій обробітку ґрунту (No-Till, Strip-Till) у Коломийському районі (с. Підгайчики);
- *гравіметричний та інструментальний* — для визначення вологості та щільності ґрунту;
- *дистанційний моніторинг* — використання дронів та мультиспектральних камер (NDVI, NDRE) для оцінки стану посівів;
- *економіко-математичний* — для розрахунку економічної ефективності та окупності запропонованих технологій.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в комплексному обґрунтуванні технологій адаптації для специфічних умов Івано-Франківської області, де відбувається трансформація агрокліматичних зон (Опілля набуває рис Лісостепу). Вперше для даного регіону

експериментально доведено переваги технології Strip-Till із локальним зрошенням для вирощування сої та кукурудзи в умовах нестабільного зволоження.

Практичне значення одержаних результатів. Результати досліджень дозволяють аграрним підприємствам регіону знизити виробничі ризики та підвищити прибутковість. Впровадження комплексу адаптаційних заходів (No-Till/Strip-Till, VRA, метеомоніторинг) забезпечує сумарний економічний ефект у розмірі 7,5–11,8 млн грн на 1000 га та окупається протягом 1–2 років. Рекомендації щодо використання дронів та метеостанцій дозволяють зменшити втрати врожаю від заморозків та посух на 20–30 %.

Апробація результатів. Основні положення роботи доповідалися на наукових семінарах кафедри технології захисту навколишнього середовища та безпеки праці ІФНТУНГ. Результати польових досліджень впроваджено в експериментальному господарстві у Коломийському районі.

Структура та обсяг роботи. Магістерська робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Повний обсяг роботи становить [кількість] сторінок.

РОЗДІЛ 1.

ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ АДАПТАЦІЇ АГРАРНОГО ВИРОБНИЦТВА ДО ЗМІН КЛІМАТУ

1.1. Сутність та наслідки глобальних кліматичних змін для сільського господарства.

Глобальні кліматичні зміни — це довготривалі зрушення у кліматичній системі Землі, що проявляються у підвищенні середньорічної температури, зміні режимів опадів, збільшенні частоти екстремальних погодних явищ, таненні льодовиків та порушенні природних сезонних циклів. Причиною є комплекс факторів, де природні підсилюються існуючими техногенними (вирубка лісів, урбанізація, зміни землекористування, накопичення мікропластику та забруднення атмосфери), що в сукупності мають потужний вплив на сільське господарство, яке залежить від стабільності кліматичних умов, водного режиму, температури, структури ґрунтів та сезонності [1, 34].

Одним із найбільш відчутних наслідків є зниження врожайності культур через теплові стреси та часті посухи. Підвищення температури призводить до порушення процесів фотосинтезу, прискорення дозрівання зернових і зменшення їхньої маси. Надмірні температури особливо небезпечні під час критичних фаз розвитку рослин, таких як цвітіння, формування зав'язі чи наливу зерна. У таких умовах рослини витрачають більше енергії на підтримання водного балансу, ніж на нарощування біомаси, що погіршує якість і кількість урожаю. Натомість раптові зливи та паводки спричиняють ерозію ґрунтів, вимивають поживні речовини, ускладнюють доступ повітря до кореневої системи та сприяють розвитку грибкових хвороб. Водночас нестача опадів у періоди активної вегетації

викликає дефіцит ґрунтової вологи, змушує рослини переходити в режим економії ресурсів і пригнічує їхній ріст [11, 23].

Водний режим стає все більш нестабільним: деякі регіони страждають від тривалих посух, тоді як інші — від надлишку вологи. Це ускладнює планування сільськогосподарських робіт, підвищує витрати на зрошення та створює конкуренцію за водні ресурси. Підвищення температури також сприяє поширенню нових шкідників, бур'янів та хвороб, оскільки тепліші зими дозволяють їм виживати та розмножуватися протягом більшої частини року. Це збільшує необхідність хімічного захисту рослин, що підвищує виробничі витрати та екологічні ризики [3, 12].

Кліматичні зміни негативно позначаються і на тваринництві: тепловий стрес у тварин зменшує їхню продуктивність, а зміни структури кормових культур знижують поживність та доступність кормів. Загалом агропромислове виробництво стає більш залежним від погодних ризиків, менш передбачуваним і потребує значних адаптаційних заходів. Хоча в окремих регіонах можливе подовження вегетаційного періоду та вирощування теплолюбних культур у північніших широтах, ці потенційні переваги мають тимчасовий і локальний характер та не компенсують масштабних негативних наслідків [15, 23].

Важливою складовою впливу глобальних кліматичних змін на сільське господарство є зміна температурного режиму та кількості опадів, які безпосередньо визначають тривалість і інтенсивність вегетації рослин.

Температура є одним із ключових факторів, що визначають швидкість фізіологічних процесів у рослин, таких як фотосинтез, дихання, транспірація та накопичення біомаси. Кожна культура має свої мінімальні, оптимальні та максимальні температурні межі. При підвищенні температури понад оптимум рослини зазнають теплового стресу: порушується робота ферментів, знижується інтенсивність фотосинтезу, а

транспірація різко зростає. У результаті рослини втрачають значну кількість вологи й поживних речовин. Особливо небезпечний перегрів під час цвітіння — він може спричинити стерильність пилку, опадання зав'язі, неповне формування зерна або плодів [12, 30].

Таблиця 1.1. Основні прояви глобальних кліматичних змін

Кліматичний прояв	Характеристика	Наслідки для аграрного виробництва
Підвищення температури	Зростання середньорічних і екстремальних температур	Тепловий стрес, прискорений розвиток, зниження врожайності
Зміна режиму опадів	Нерівномірний розподіл, тривалі посухи чи зливи	Дефіцит/надлишок вологи, ерозія ґрунтів
Часті екстремальні явища	Посухи, повені, бурі, град, хвилі спеки	Пошкодження посівів, втрата врожаю
Потепління зим	Менше морозів, менше снігового покриву	Поширення шкідників і хвороб, зниження зимостійкості культур

Підвищення середньорічних температур також зміщує строки вегетації. Рослини починають розвиватися раніше, але часто потрапляють під ризик весняних заморозків, що шкодять молодим паросткам. З іншого боку, занадто тепла осінь порушує період спокою озимих культур, зменшує їхню зимостійкість та підвищує ризик вимерзання взимку. Загалом підвищення температури збільшує випаровування, а отже — потребу рослин у воді, що робить їх більш залежними від достатньої кількості опадів або систем зрошення.

Таблиця 1.2. Вплив температури на вегетацію рослин

Вид температури	Значення	Вплив на рослину
Мінімальна	Температура, за якої	Нижче порогу ріст

	починається ріст	неможливий
Оптимальна	Температура найефективнішого росту	Максимальна продуктивність
Максимальна	Гранична допустима температура	Понад межу — пригнічення та загибель

Опади є основним джерелом вологи для формування врожаю. Недостатня кількість опадів у періоди активного росту призводить до пригнічення вегетації, зменшення листкової поверхні, скорочення накопичення біомаси та зниження продуктивності. Тривалі посухи викликають дефіцит води в ґрунті, що змушує рослини переходити на економний режим використання води, закривати породи й зменшувати фотосинтетичну активність [11, 23].

Таблиця 1.3. Вплив опадів на вегетацію рослин

Характеристика опадів	Вплив на рослину	Можливі наслідки
Недостатня кількість	Дефіцит вологи, зниження фотосинтезу	Пригнічення росту, зменшення врожаю
Надмірна кількість	Перезволоження ґрунту, нестача кисню	Грибкові хвороби, гниття коренів
Нерівномірність	Стрес у рослин, зміни режиму живлення	Нестабільність продуктивності
Інтенсивні зливи	Руйнування структури ґрунту	Ерозія, вимивання добрив

Навпаки, надмірні опади сприяють розвитку грибкових хвороб, затримці росту через нестачу кисню в ґрунті, вимиванню добрив і руйнуванню структури ґрунтового профілю. Інтенсивні зливи призводять до поверхневого стоку та ерозії, що зменшує родючість ґрунтів і погіршує їхню здатність забезпечувати рослини вологою в майбутньому.

Таким чином, температура й опади визначають характер біологічних процесів рослин та впливають на їхню здатність формувати високий урожай. Зміна цих параметрів у результаті глобальних кліматичних змін робить вегетацію рослин нестабільною, підвищує ризики втрати врожаїв і потребує впровадження адаптаційних заходів, таких як вирощування стійких сортів, оптимізація строків сівби, покращення систем зрошення й управління водними ресурсами. У сучасних умовах здатність агровиробництва адаптуватися до кліматичних змін стає ключовим чинником продовольчої безпеки та економічної стабільності аграрного сектору [7, 23].

1.2. Класифікація технологій адаптації аграрного сектору до глобальних кліматичних змін

Адаптація аграрного сектору до глобальних кліматичних змін є одним із ключових напрямів забезпечення продовольчої безпеки та стійкості агроecosystem у XXI столітті. Зміна температурного режиму, нерівномірність опадів, часті посухи та екстремальні погодні явища істотно впливають на сільськогосподарське виробництво, погіршуючи умови вирощування культур і знижуючи врожайність. У зв'язку з цим виникає потреба у впровадженні комплексу адаптаційних технологій, які дозволяють агросектору ефективно реагувати на нові кліматичні виклики. Технології адаптації умовно поділяють на три основні групи: агротехнічні, селекційно-генетичні та техніко-технологічні. Кожна група відіграє важливу роль у підвищенні стійкості сільськогосподарських систем і зменшенні ризиків, пов'язаних зі зміною клімату [15, 25].

Агротехнічні технології становлять фундамент адаптації, оскільки вони пов'язані зі зміною способів обробітку ґрунту, використанням

раціональних сівозмін, покривних культур та елементів агролісомеліорації. Зміна клімату посилює ерозійні процеси, спричиняє втрати ґрунтової вологи, зменшує вміст гумусу та біологічну активність ґрунту. Тому такі технології, як нульовий (no-till) і мінімальний обробіток ґрунту, набувають особливої актуальності, оскільки вони дозволяють зменшити втрати вологи, знизити викиди CO₂ та покращити структуру ґрунтів [12, 19].

В Україні технології no-till активно впроваджуються у південних та центральних областях, де дефіцит вологи стає системною проблемою. Важливу роль відіграє також використання покривних культур (гірчиця, фацелія, редька олійна, суміші бобових), які захищають ґрунт від перегрівання, збагачують його азотом, покращують водопроникність і зменшують розвиток бур'янів [4, 6].

Раціональні сівозміни забезпечують відновлення родючості ґрунтів, зниження чисельності шкідників та хвороб, стабілізацію продуктивності агросистем. Агролісомеліорація, зокрема створення лісосмуг, залишається важливим елементом адаптації у степовій зоні України, оскільки зменшує вітрову ерозію та випаровування води [15, 27].

Селекційно-генетичні технології зосереджені на створенні сортів і гібридів, здатних протистояти екстремальним кліматичним умовам: високим температурам, посухам, засоленню ґрунтів та новим патогенам. Завдяки розвитку біотехнологій стало можливим виводити рослини з підвищеною ефективністю водокористування, стійкістю до стресів та здатністю формувати врожай за короткий період. [9,17].

Таблиця 1.4 Класифікація технологій адаптації агросектору до кліматичних змін

Група технологій	Основні заходи	Мета адаптації	Приклади впровадження в Україні
Агротехнічні	Обробіток ґрунту (нульовий, мінімальний), сівозміни, мульчування, покривні культури, агролісомеліорація	Збереження вологи та родючості ґрунтів, зменшення ерозії, підвищення стійкості агроландшафтів	No-till у південних та центральних областях; впровадження покривних культур (соевий пелет, гірчиця, редька олійна); лісосмуги в степовій зоні
Селекційно-генетичні	Виведення посухостійких, жаростійких, солестійких, скоростиглих сортів та гібридів	Підвищення стійкості культур до кліматичних стресів, забезпечення стабільної врожайності	Нові гібриди кукурудзи та соняшнику від УкрІнСТЕП і провідних компаній; адаптивні сорти пшениці, жита, нуту й проса
Техніко-технологічні	Зрошення, крапельне зрошення, дренаж, системи збору води, точне землеробство (GPS-навігація, сенсори вологості, дистанційний моніторинг), автоматизація	Оптимізація використання водних та енергетичних ресурсів, мінімізація ризиків від посух та надмірної вологості	Зрошення в Херсонській, Миколаївській, Одеській областях; цифрові системи моніторингу полів; диференційоване внесення добрив

В Україні активно створюють нові адаптивні сорти пшениці, ячменю, жита, проса, нуту, сої, соняшнику та кукурудзи. Наприклад, українські наукові установи та приватні селекційні центри випускають гібриди кукурудзи, які здатні забезпечити стабільний урожай при зменшеній кількості опадів. Створюються також сорти соняшнику, стійкі до посухи та високих температур, що є особливо актуальним для південного регіону країни [19, 21].

Техніко-технологічні рішення є найбільш наукоємними і включають впровадження зрошувальних систем, крапельного зрошення, дренажу, водозберігаючих технологій та інструментів точного землеробства. У зв'язку з поширенням посух та нестачею води зрошення стає стратегічно важливим засобом забезпечення стабільної продуктивності. Сучасні системи крапельного та дощувального зрошення дозволяють економити водні ресурси, підвищуючи ефективність водоспоживання рослин [5, 12].

В Україні найактивніше системи зрошення використовуються в Херсонській, Миколаївській та Одеській областях. Проте в умовах зміни клімату потреба в зрошенні поширюється також на центральні регіони. У зонах надмірного зволоження важливими є дренажні системи, які забезпечують відведення надлишкової води й запобігають розвитку грибкових хвороб.

Технології точного землеробства — GPS-навігація, дрони, супутниковий моніторинг стану посівів, сенсори вологості та якості ґрунту — допомагають оптимізувати внесення добрив, води й засобів захисту рослин. Це знижує витрати виробництва, підвищує продуктивність культур та мінімізує екологічні ризики [12, 16].

Класифікація технологій адаптації агросектору до кліматичних змін дозволяє сформувати системний підхід до управління агровиробництвом за умов підвищеної кліматичної нестабільності. Інтегроване використання агротехнічних, селекційно-генетичних та техніко-технологічних рішень є

основою для забезпечення стійкості сільського господарства України. Такі заходи дозволяють мінімізувати негативні наслідки посух, опадів, перегрівання та екстремальних погодних явищ, що стають все частішими через глобальні кліматичні зміни.

1.3. Зарубіжний досвід адаптації аграрних підприємств до кліматичних ризиків (на прикладі Польщі та Німеччини)

Адаптація аграрних підприємств до кліматичних ризиків є пріоритетним напрямом державної політики та аграрного управління в країнах Європейського Союзу. У зв'язку з почастишенням посух, підвищенням середньорічних температур, нерівномірністю опадів та деградацією ґрунтів країни ЄС активно впроваджують комплексні заходи, спрямовані на підвищення стійкості агросистем. Особливий інтерес для України становлять Польща та Німеччина, які характеризуються подібними природно-кліматичними умовами, але мають значно вищий рівень технологічного забезпечення та державної підтримки аграрного сектору. Їхній досвід демонструє ефективні моделі адаптації, що можуть бути використані в українських реаліях [16, 19].

Польща є однією з європейських країн, найбільш вразливих до посух у сільському господарстві. У зв'язку з цим польські аграрні підприємства активно впроваджують технології раціонального водокористування та управління ґрунтовою родючістю. Значного поширення набули системи точного землеробства, які дозволяють більш ефективно використовувати добрива, насіння й засоби захисту рослин. Польські фермери широко застосовують мульчування ґрунтів, нульовий та мінімальний обробіток, що сприяє зменшенню втрат вологи та збереженню гумусу. Крім того, на державному рівні діє система компенсацій за збитки, завдані посухою, та програми співфінансування модернізації сільськогосподарських

підприємств, зокрема встановлення крапельного зрошення та систем збору дощової води [1, 7].

Особливістю польської моделі адаптації є також активний розвиток селекції, спрямований на створення сортів зернових та олійних культур, стійких до перепадів температур та дефіциту опадів. Польські науково-дослідні інститути співпрацюють з агропідприємствами, забезпечуючи впровадження нових сортів, які мають коротший період вегетації та здатність формувати стабільні врожаї у нестабільних погодних умовах. Додатково польський уряд стимулює застосування біоенергетичних культур, які є більш витривалими та сприяють відновленню деградованих земель.

Німеччина має комплексну державну політику адаптації агросектору до кліматичних змін, що охоплює водозбереження, діджиталізацію аграрного виробництва, розвиток органічного землеробства та підтримку екологічно дружніх технологій. В умовах посилення кліматичних ризиків німецькі аграрні підприємства активно застосовують системи точного землеробства: супутниковий моніторинг стану посівів, сенсорні системи контролю вологості ґрунту, автоматизоване управління зрошенням та диференційоване внесення добрив. Такий підхід дозволяє значно знизити витрати ресурсів та адаптувати агротехнології до змінних кліматичних умов [5, 9].

Німеччина приділяє особливу увагу адаптації тваринництва, яке є вразливим до теплового стресу. На фермах впроваджуються системи вентиляції, охолодження та автоматичного контролю мікроклімату в приміщеннях, що дозволяє підтримувати оптимальні умови для утримання тварин. Для рослинництва важливим напрямом є відновлення ґрунтів шляхом збільшення частки органічної речовини, впровадження сидератів і біостимуляторів, розширення мережі лісосмуг та захисних насаджень [5, 8].

Німецький досвід також демонструє важливість розвитку стійких сортів культур. У країні активно підтримуються селекційні програми зі створення рослин, пристосованих до тривалих періодів спеки, нерівномірних опадів та нових захворювань рослин, що поширюються внаслідок потепління клімату [9, 13].

У контексті водного менеджменту Німеччина здійснює модернізацію дренажних систем, особливо в регіонах із високим рівнем ґрунтових вод. Водночас у посушливих регіонах впроваджуються інноваційні системи економного зрошення, включаючи крапельне й підземне зрошення. На рівні державної політики діють грантові програми підтримки енергоощадних технологій, зокрема встановлення сонячних панелей на фермах, що дозволяє знизити енергозатрати агровиробництва й компенсувати вплив кліматичних стресів [29, 32].

Загалом зарубіжний досвід Польщі та Німеччини демонструє, що ефективна адаптація аграрного сектору до кліматичних ризиків ґрунтується на поєднанні державної підтримки, діджиталізації агровиробництва, інноваційних технологій водозбереження, розвитку селекції та впровадженні природоохоронних практик. Для України цей досвід є надзвичайно цінним, оскільки врахування європейських моделей адаптації сприятиме формуванню стійкої, конкурентоспроможної та кліматично орієнтованої аграрної політики.

РОЗДІЛ 2.

АНАЛІЗ АГРОКЛІМАТИЧНИХ УМОВ ТА СТАНУ АГРАРНОГО СЕКТОРУ ІВАНО-ФРАНКІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ

2.1. Динаміка кліматичних змін в регіоні за останні 10 років.

За останні два десятиліття на території Івано-Франківської області спостерігаються чітко виражені тенденції кліматичних змін, характерні для Західного регіону України та Центральної Європи. Зміни проявляються у поступовому зростанні середньорічної температури, перерозподілі річної суми опадів, збільшенні частоти екстремальних погодних явищ, а також у зсуві агрокліматичних зон у бік підвищення теплозабезпеченості. Ці процеси суттєво впливають на аграрний сектор області, формуючи нові умови для вирощування культур, структуру землекористування та рівень агрометеорологічних ризиків [15, 27].

Протягом останніх 10–20 років середньорічна температура в Івано-Франківській області зросла в середньому на 0,8–1,2 °С, що відповідає загальним тенденціям потепління у Карпатському регіоні. Зростання температури відбувається нерівномірно: найбільше підвищення фіксується у літній та зимовий періоди. Зими стали значно м'якшими, зі зменшенням кількості морозних днів та скороченням періоду зі стійким сніговим покривом. Частішають відлиги, що негативно впливає на зимостійкість озимих культур [11, 21].

У літній період збільшується кількість днів із температурами вище +30°C. Особливо відчутні хвилі спеки у Придністровській низовині та Покутті. Таке підвищення температури сприяє зростанню випаровування, поглиблює дефіцит ґрунтової вологи та збільшує ризик літніх посух, які ще два десятиліття тому були нетиповими для регіону [9, 17].

У весняні місяці спостерігається тенденція до раннього початку вегетації, однак підвищується ризик пізніх заморозків, які періодично завдають значних збитків садівництву та ягідництву. Осінній період подовжується, що з одного боку дає можливість вирощувати теплолюбні культури, але з іншого — підвищує ризики розвитку хвороб через тривалу вологість і нестабільність температур [8, 17].

Загальна кількість річних опадів у регіоні за останні 20 років залишається відносно стабільною, однак їхній внутрішньорічний розподіл істотно змінився. Спостерігається тенденція до:

- зменшення кількості опадів у літній період,
- збільшення інтенсивності злив та короткочасних дощів,
- зростання кількості опадів у зимовий та весняний періоди.

У рівнинних районах (Опілля, Покуття) літні посухи стали частішими, тоді як у Карпатській зоні зростає кількість зливових дощів, що провокують паводки. Посилення зливових опадів підвищує ризики ерозії ґрунтів та змив добрив на орних землях, особливо на схилах [13].

Крім того, тривалі періоди без опадів у червні–липні підвищують ризик недобору врожаю кукурудзи, сої та овочів. У весняний сезон спостерігається збільшення кількості опадів, що ускладнює своєчасне проведення польових робіт і може затримувати сівбу ярих культур.

Під впливом кліматичних змін агрокліматичні зони Івано-Франківської області поступово трансформуються. Традиційно регіон поділявся на три основні зони: Опілля, Покуття, Карпати, кожна з яких має свої особливості теплозабезпеченості та зволоження [11, 21].

Опілля зазнає найпомітнішого потепління. Раніше ця зона характеризувалася помірним кліматом з достатнім зволоженням, тепер же спостерігається тенденція до збільшення кількості днів із температурою понад +30 °С та тривалих бездощових періодів. Опілля поступово наближається за агрокліматичними показниками до умов Лівобережного

Лісостепу, що відкриває можливості вирощування теплолюбних культур (кукурудза на зерно, соя, соняшник), але збільшує потребу у водозбереженні та мульчуванні [9, 15].

Покуття демонструє тенденцію до зростання теплозабезпеченості та подовження вегетаційного періоду. У минулому воно належало до вологого лісостепу, однак сучасні кліматичні умови дозволяють вирощувати культури, що потребують більшої кількості тепла. Разом із тим у Покутті спостерігається істотне збільшення частоти літніх посух, що ставить питання розвитку систем краплинного зрошення та удосконалення агротехнічних прийомів збереження вологи [18, 29].

Карпатська зона, яка є найвологішою частиною області, також зазнає змін. Високогірні території стають теплішими, зменшується тривалість снігового покриву, змінюється характер весняного стоку. Водночас збільшується інтенсивність опадів, що сприяє ризику селів, паводків та зсувів ґрунту. Тут фіксується підвищення придатності територій для вирощування теплолюбніших культур на передгір'ях, однак сільське господарство залишається вразливим до ерозійних процесів [10, 21].

В Тлумачі довгострокові зміни кліматичної системи (температури, опадів, циркуляції повітряних мас), спричинені як природними чинниками, так і переважно антропогенним впливом. У регіональному контексті проявляються у зміні температурного режиму, зсуві сезонних меж та розподілу опадів [11, 17].

Сукупність середніх, мінімальних і максимальних температур певного регіону за певний період. Визначає теплові умови розвитку рослин і формування врожаїв. Порушення температурного режиму (надмірне потепління, хвилі спеки, часті відлиги) впливають на агровиробництво.

Кількість та характер випадання атмосферних опадів (дощ, сніг) протягом року. Важливий показник продуктивності сільського

господарства, оскільки визначає запаси ґрунтової вологи. Нерівномірність опадів спричиняє посухи або, навпаки, переувільнення та ерозію ґрунту.

Територія, що характеризується певним рівнем теплозабезпеченості, зволоження та тривалістю вегетаційного періоду, необхідних для вирощування різних культур. У межах Івано-Франківської області виділяють три зони: Коломия, Калуш та Карпати [15, 27].

Зміна меж зон через кліматичні зміни. Виявляється у збільшенні теплозабезпеченості та зміні умов зволоження, що дозволяє вирощувати теплолюбніші культури там, де раніше це було неможливо. Наприклад, Покуття стає теплішим і більш подібним до умов Лісостепу, а Опілля отримує риси Східного лісостепового регіону [5, 11].

Проміжок часу, протягом якого рослини можуть рости і розвиватися за температури вище біологічного мінімуму (+5 °С для озимих, +10 °С для теплолюбних культур) (рис.2.1) Подовження вегетаційного періоду — одна з тенденцій останніх десятиліть [3, 7].

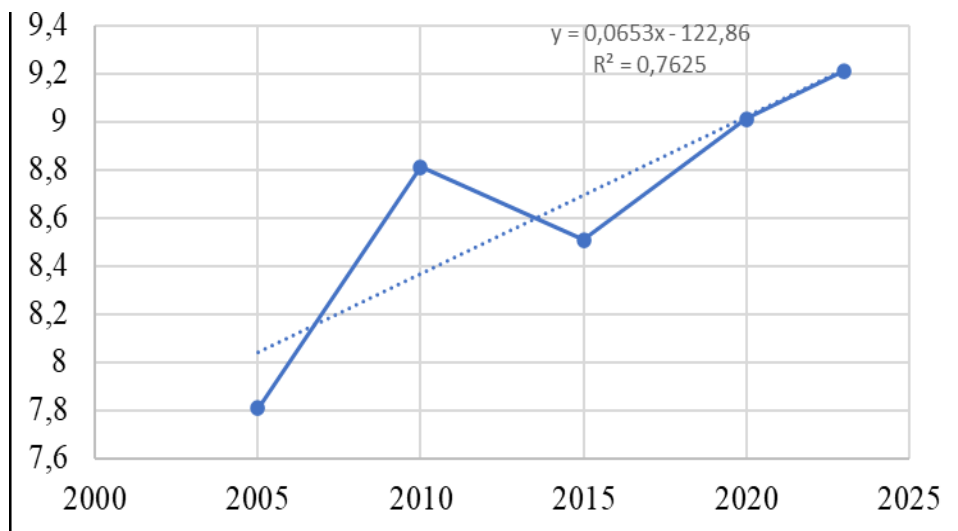


Рисунок 2.1 - Середньорічна температура, °С

Кліматичні явища, що негативно впливають на агровиробництво: посухи, паводки, заморозки, зливи, град, буревії. Їх частота в регіоні зростає через кліматичні зміни (рис.2.2).

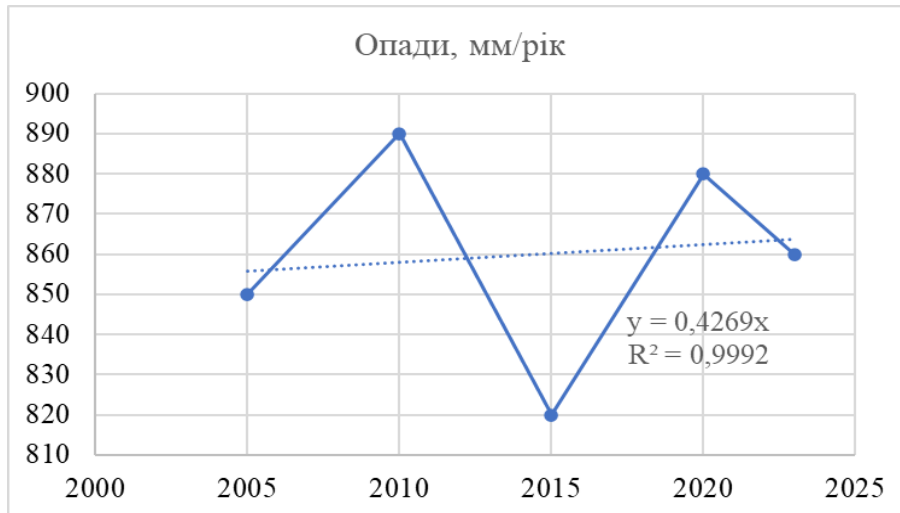


Рис. 2.2. Середньорічна кількість опадів

Руйнування та винесення верхнього родючого шару ґрунту водою або вітром. У Карпатській та передгірській зонах її посилює збільшення зливових опадів (рис.2.3.).

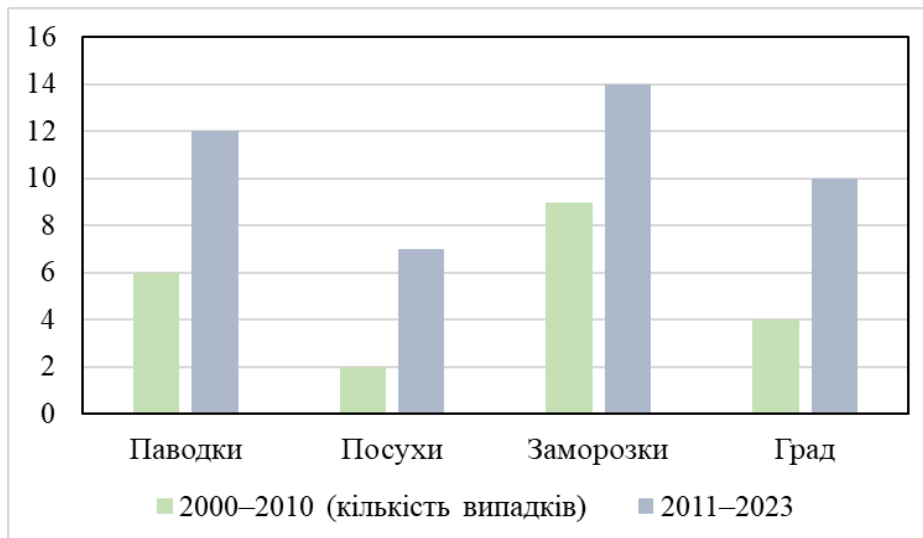


Рис. 2.3. Середня кількість випадків протягом 10 років

Таким чином, Івано-Франківська область упродовж останніх 10–20 років переживає системні кліматичні зміни, які по-різному впливають на її аграрний сектор. Підвищення температури та зміна режимів опадів створюють як нові можливості (вирощування нових культур, подовження вегетації), так і значні ризики (посухи, ерозія, паводки, нестабільність урожайності). Зсув агрокліматичних зон потребує адаптації агротехнологій і

переходу до ресурсозберігаючих систем землеробства, що є критично важливим для забезпечення стійкості агропромислового комплексу регіону.

2.2. Оцінка сучасного стану сільського господарства Івано-Франківської області

Сільське господарство Івано-Франківської області є однією з ключових галузей регіональної економіки, що формує продовольчу безпеку, забезпечує зайнятість населення та сприяє розвитку пов'язаних секторів. Унікальність аграрного потенціалу області визначається різноманіттям природно-кліматичних умов, оскільки територія включає три основні географічні зони — Опілля, Покуття та Карпати, кожна з яких має свої особливості землекористування, теплозабезпеченості та зволоження. Поєднання рівнинних земель із гірським рельєфом зумовлює наявність як інтенсивних зерно- та технікоорієнтованих господарств, так і високо спеціалізованих підприємств, що займаються тваринництвом, садівництвом, вирощуванням кормових культур та органічним землеробством. Сучасний стан аграрного сектору формується на перетині традиційних напрямів виробництва, структурних змін, технологічного оновлення та посилення кліматичних ризиків, що вимагає комплексної оцінки [16, 22].

Структура посівних площ області зберігає традиційні риси, проте за останні роки відбулися зміни, зумовлені впливом ринкових факторів і кліматичного потепління. Найбільшу частку ріллі займають зернові та зернобобові культури, серед яких домінують озима пшениця, ячмінь, кукурудза на зерно, овес і соя. У структурі посівів стабільно присутні технічні культури — соняшник, ріпак озимий і соя, частка яких зростає на рівнинних територіях, де клімат стає теплішим і сухішим. Картопля та овочі традиційно мають високу питому вагу, особливо в Карпатському регіоні та передгір'ях, де короткий вегетаційний період і специфіка рельєфу

обмежують можливості вирощування теплолюбних культур. Кормові культури, серед яких домінують багаторічні трави й кукурудза на силос, займають значні площі в гірських районах, забезпечуючи розвиток молочного й м'ясного тваринництва [15, 29].

У рівнинних районах, зокрема у Тисменицькому, Городенківському та Коломийському, спостерігається збільшення частки кукурудзи та сої, що пов'язано з підвищенням теплозабезпеченості регіону, поширенням сучасних гібридів і переходом підприємств на ринково орієнтоване виробництво. У Карпатській зоні частка ріллі є мінімальною, а землекористування має переважно екстенсивний характер, орієнтований на лучне господарство, пасовища та вирощування культур, стійких до вологого та прохолодного клімату [17, 21].

Врожайність основних культур залишається одним із найбільш показових індикаторів стану аграрного сектору. Озима пшениця стабільно забезпечує врожайність на рівні 45–55 ц/га на рівнинних територіях, хоча її продуктивність суттєво знижується у роки з пізніми весняними заморозками та дефіцитом літньої вологи. Кукурудза на зерно, яка раніше була менш поширеною культурою в області, за останнє десятиліття демонструє зростання врожайності, що пов'язано як із кліматичними змінами, так і з використанням високопродуктивних гібридів. Проте у посушливі роки її врожайність може знизитися на 20–30 %, особливо у зонах із легкими ґрунтами. Соя швидко поширюється у структурі посівів, але її врожайність дуже чутлива до нерівномірності літніх опадів та перегрівання. Соняшник, хоч і не є традиційною культурою для області, поступово набирає популярності, проте його показники врожайності суттєво залежать від температурного режиму та рівня ґрунтової вологи. Картопля, традиційна культура Карпатського регіону, демонструє значні коливання врожайності через поширення хвороб, зливові дощі, перезволоження ґрунтів та літні

температурні стреси. Овочі відкритого ґрунту є вразливими до заморозків та надлишкової вологи, особливо на важких ґрунтах Покуття [16, 31].

Важливим елементом оцінки стану сільського господарства є вплив стихійних природних явищ, які останніми роками стають дедалі частішими та інтенсивнішими. Паводки є характерними переважно для Карпатської та передгірської зон, де інтенсивні дощі та швидке танення снігу спричиняють підтоплення орних земель, змив родючого шару ґрунту, руйнування польових доріг і деградацію угідь. Це суттєво впливає на строки проведення весняно-польових робіт, затримує сівбу та знижує продуктивність кормових трав [15, 27].

Посухи, хоча історично були нетипові для Івано-Франківщини, за останні роки почастишали у рівнинній частині регіону, особливо в Опіллі та Покутті. Атмосферні й ґрунтові посухи у літні місяці призводять до зниження врожайності кукурудзи, сої й овочевих культур, погіршення якості зерна та підвищення ризику фітосанітарних проблем. Високі температури та інтенсивне випаровування сприяють формуванню водного дефіциту у ґрунті, що зумовлює додаткові втрати врожаю [12, 14].

Весняні та осінні заморозки залишаються одним із найбільш небезпечних явищ для садівництва та ягідництва. У період цвітіння вони здатні знищити до 100 % генеративних бруньок плодкових культур, що призводить до різкого недобору продукції. Осінні заморозки завдають шкоди теплолюбним культурам, особливо кукурудзі, сої та картоплі, перериваючи період наливу зерна й накопичення сухої речовини.

Град та зливові дощі суттєво впливають на врожайність у багатьох районах області. Град часто спричиняє локальні, але катастрофічні втрати — від 50 до 100 % урожаю на окремих площах. Зливи провокують ерозію, особливо на схилах Карпат, сприяють ущільненню ґрунту та розвитку хвороб, що знижує потенційну врожайність овочевих і технічних культур.

Таблиця 2.1. Структура посівних площ Івано-Франківської області (умовні усереднені дані, % від загальної площі ріллі)

Група культур	Частка у структурі посівів, %	Характерні зони вирощування
Озима пшениця	18 %	Опілля, Покуття
Ячмінь ярий та озимий	10 %	Опілля
Кукурудза на зерно	15 %	Покуття, Придністровські райони
Зернобобові (соя, горох, нут)	7 %	Покуття, частково Опілля
Соняшник	5 %	Покуття
Ріпак озимий	6 %	Опілля
Картопля	12 %	Карпати, передгір'я
Овочі відкритого ґрунту	4 %	Покуття, Опілля
Кормові культури (багаторічні трави)	23 %	Карпати, передгірські райони
Інші	0,5 %	Різні зони

Загалом сучасний стан сільського господарства Івано-Франківської області характеризується поєднанням позитивних тенденцій, пов'язаних із технологічною модернізацією, підвищенням структурної різноманітності та впровадженням високопродуктивних культур, і негативних викликів, що пов'язані зі зростаючою кліматичною нестабільністю.

Таблиця 2.2 Врожайність основних культур в Івано-Франківській області (середні значення за 5 років)

Культура	Врожайність, ц/га	Коментарі щодо варіацій
Озима пшениця	45–55	Зниження у роки з весняними заморозками
Кукурудза на зерно	60–80	Висока залежність від літніх опадів

Ячмінь	35–45	Стабільна на рівнинах
Соя	18–25	Чутлива до посухи
Соняшник	22–28	Залежність від температури
Ріпак озимий	25–35	Може постраждати від відлиг узимку
Картопля	220–280	Схильність до гнилей у вологі роки
Овочі відкритого ґрунту	150–300 (залежно від культури)	Чутливі до злив та заморозків
Багаторічні трави	25–35 т/га зеленої маси	Залежність від перезволоження

Для забезпечення стійкого розвитку необхідним є подальше впровадження адаптивних агротехнологій, удосконалення структури посівів, застосування водозберігаючих систем та розвиток систем управління аграрними ризиками, що дозволить мінімізувати вплив стихійних явищ і підвищити результативність агровиробництва [15, 27]-.

2.3. SWOT-аналіз існуючих практик адаптації на підприємствах регіону

Аграрні підприємства Івано-Франківської області поступово впроваджують різноманітні практики адаптації до кліматичних змін, оскільки зростаюча варіабельність погоди та частота екстремальних явищ створюють суттєві ризики для стабільності врожайності, економічної ефективності та продовольчої безпеки регіону. За останні 10–15 років місцеві аграрії почали активно реорганізовувати виробничі процеси, змінювати структуру посівів, впроваджувати сучасні технології обробітку

грунту та водного менеджменту, а також використовувати нові сорти культур, більш стійкі до теплового стресу, посухи чи надмірної вологи.

Серед найбільш поширених практик адаптації на підприємствах області варто відзначити поступовий перехід до ресурсозберігаючих технологій, таких як мінімальний та нульовий обробіток ґрунту, що дозволяє накопичувати ґрунтову вологу, зменшувати ерозію та покращувати структуру орного шару. Такі системи дедалі частіше застосовуються на господарствах Покуття і частково Опілля, де спостерігається зростання ризику літніх посух. Поряд з цим активно впроваджується практика мульчування та використання покривних культур (гірчиця, фацелія, редька олійна), що сприяє поліпшенню органічної речовини та підвищенню вологоутримувальної здатності ґрунтів.

Важливим напрямом адаптації є зміна сортової політики. Місцеві аграрії дедалі частіше обирають посухостійкі та скоростиглі гібриди кукурудзи, ріпаку, сої та соняшнику, що дозволяє зменшити ризик недобору врожаю у роки з дефіцитом вологи. У садівництві поширюється впровадження сортів з підвищеною морозостійкістю та резистентністю до весняних заморозків. Деякі господарства Карпатського та передгірського регіонів переходять на вирощування культур, більш адаптованих до зволжених умов та короткого вегетаційного періоду, зокрема ягідних культур (лохина, малина), які є рентабельними та менш залежними від теплових стресів.

Технологічна модернізація також є вагомим складовим елементом адаптаційних практик. У низинних районах області, де спостерігається нестача вологи, впроваджуються системи краплинного зрошення, моніторингу вологості ґрунту та автоматизованого управління поливом. Натомість у зонах надмірного зволоження застосовуються дренажні системи та глибокий структурний обробіток ґрунтів для запобігання перезволоженню. Дедалі більша кількість підприємств використовує елементи точного землеробства:

GPS-навігацію, супутниковий моніторинг, диференційоване внесення добрив і засобів захисту рослин, що підвищує ефективність управління ресурсами в умовах кліматичної нестабільності.

Розвивається також агролісомеліорація — зокрема, відновлення захисних лісосмуг та створення нових насаджень на еродованих схилах у Карпатах. Це допомагає зменшити вплив буревіїв і паводків, стабілізувати ґрунти та підвищити екологічну стійкість агроландшафтів.

Узагальнення адаптаційних підходів доцільно представити у вигляді SWOT-аналізу, який відображає сильні та слабкі сторони агросектору області, а також можливості й загрози, пов'язані з кліматичними змінами.

SWOT-аналіз аграрного сектору Івано-Франківської області в контексті кліматичних змін

Сильні сторони (Strengths): Івано-Франківська область має сприятливе поєднання різних агрокліматичних умов, що дозволяє вирощувати широкий спектр культур—від зернових до технічних і садових. Багато господарств уже впроваджують сучасні технології ресурсозбереження, точного землеробства та адаптивного сортового складу. Регіон має досвід органічного виробництва, що може стати конкурентною перевагою в умовах екологоорієнтованих ринків. Наявність гірських і передгірських пасовищ підтримує розвиток тваринництва, яке менш чутливе до короткочасних кліматичних коливань.

Слабкі сторони (Weaknesses): Структура посівних площ у багатьох господарствах залишається інерційною, недостатньо гнучкою до змін клімату. Рівень зрошення у регіоні є низьким, а системи водного менеджменту часто потребують модернізації. Значна частина територій у Карпатах зазнає ерозії, зсувів та перезволоження, що обмежує можливості інтенсифікації землеробства. Фінансова стійкість невеликих господарств обмежує їхню здатність інвестувати в адаптивні технології.

Можливості (Opportunities): Підвищення температури створює передумови для розширення вирощування кукурудзи, сої, ріпаку та ягідних культур з високою рентабельністю. Впровадження технологій точного землеробства може значно зменшити залежність виробництва від стихійних явищ. Зростання попиту на органічні продукти та екологічно чисте виробництво відкриває перспективи для регіону, де є значна частка малозабруднених земель. Розвиток кооперативів та агротуризму також може стати інструментом підвищення економічної стійкості господарств.

Загрози (Threats): Посилення кліматичних ризиків, таких як паводки, посухи, заморозки та град, безпосередньо впливають на стабільність врожайності. Погіршення якості ґрунтів, їх ерозія та деградація схилів можуть призвести до зменшення продуктивності у довгостроковій перспективі. Поширення нових шкідників і хвороб рослин через потепління клімату становить серйозну загрозу для багатьох культур. Економічна нестабільність та недостатній рівень державної підтримки також посилюють ризики для аграрного сектору.

Узагальнюючи, можна зазначити, що аграрні підприємства Івано-Франківської області вже здійснюють низку заходів, спрямованих на адаптацію до кліматичних змін, проте ступінь їхнього впровадження є нерівномірним. Головними тенденціями є перехід до ресурсозберігаючих технологій, оптимізація сортового складу, застосування інноваційних методів моніторингу та управління водними ресурсами. Проте подальший розвиток адаптаційних практик потребує інвестицій, державної підтримки та розширення аграрної освіти, що дозволить підвищити стійкість агросектору до кліматичних загроз.

РОЗДІЛ 3. ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ АДАПТАЦІЇ АГРАРНОГО СЕКТОРУ РЕГІОНУ

3.1. Обґрунтування технологій No-Till, Mini-Till, Strip-Till та систем водного менеджменту в умовах Івано-Франківської області

Для визначення ефективності сучасних ґрунтообробних систем та методів водного менеджменту на території Івано-Франківської області було проведено комплекс експериментально-польових досліджень у Коломийському районі село Підгайчики. Дослідження охоплювали оцінку впливу різних технологій обробітку ґрунту на вологозбереження, структурно-агрохімічні властивості ґрунту та врожайність культур, а також вивчення ефективності систем керованого зрошення та поверхневого дренажу.

Оцінювали адаптивність та ефективність технологій No-Till, Mini-Till, Strip-Till у порівнянні з традиційним обробітком ґрунту в умовах регіону, а також визначали вплив зрошення та дренажу на водний режим орних земель.

Дослідження проводили на трьох ділянках площею по 3 га кожна. Ґрунт — чорнозем опідзолений легкосуглинковий, середнього механічного складу.

Кліматичні умови за період дослідження:

- середньодобова температура вегетаційного періоду — +17,5 °С;
- річна кількість опадів — 790 мм (характерні зливові опади у червні-липні, періоди посухи у серпні);
- глибина залягання ґрунтових вод — 1,5–2,5 м.

Культури у досліді:

- кукурудза (гібрид FAO 270),
- соя (Венус).



Рис.3.1. Соя

Таблиця 3.1. Схема експерименту

Варіант дослідю	Технологія	Особливості	Додаткові заходи
1 (контроль)	Традиційний обробіток	Оранка 22 см + культивация	Без зрошення
2	Mini-Till	Поверхневий обробіток 8–12 см	Без зрошення
3	No-Till	Прямий посів	Мульчування рослинними рештками
4	Strip-Till	Обробіток смугами 15 см	Краплинне стрічкове зрошення
5	No-Till + дренаж	Прямий посів	Поверхневий дренаж + мульча

Тривалість експерименту — **2 вегетаційні сезони.**



Рис.3.2. Підготовка до польових досліджень

Під час виконання роботи використовували комплекс польових, лабораторних та аналітичних методів, що забезпечують всебічну оцінку ґрунтових умов, агрофізичних властивостей, врожайності та економічної ефективності запропонованих технологій. Основна увага приділялася визначенню впливу різних способів обробітку ґрунту та адаптаційних заходів на водний режим, агрохімічні параметри, біологічну продуктивність та економічні показники вирощування культури.

Вологість ґрунту визначали на глибинах 10, 30 та 60 см із використанням двох методів: польового — за допомогою тензіометрів, які дозволяють оперативно фіксувати водний потенціал ґрунту, та лабораторного — гравіметричного методу. Гравіметричне визначення полягало у відборі зразків ґрунту зі встановлених глибин, висушуванні їх до абсолютно сухого стану та розрахунку масової вологості за різницею мас. Такий підхід забезпечив надійну оцінку динаміки водозабезпечення рослин залежно від погодних умов та технології обробітку.

Щільність ґрунту визначали методом циліндрів, що передбачає відбір монолітів ґрунту у металеві кільця з відомим об'ємом. Цей метод дозволяє встановити ступінь ущільнення орного шару, який є критичним фактором для росту кореневої системи, повітрообміну та водопроникності. Показники щільності використовували для порівняння фізичного стану ґрунту під впливом різних технологій — традиційного обробітку, No-Till та Strip-Till.

Агрохімічні властивості ґрунту визначали відповідно до чинних стандартів ДСТУ 4289 та ДСТУ 4730. За цими методиками проводили аналіз вмісту гумусу, рухомих форм азоту, фосфору та калію, кислотності ґрунтового середовища та інших показників родючості. Отримані дані дозволили оцінити вплив різних технологічних рішень на забезпеченість рослин поживними речовинами та на потенційну продуктивність ґрунту.

Одним із ключових параметрів, що визначають ефективність технологій обробітку ґрунту в умовах кліматичних змін, є здатність ґрунту акумулювати та утримувати вологу у профілі. Отримані експериментальні дані свідчать про суттєві відмінності між варіантами технологій. На глибині 30 см середня вологість ґрунту при традиційному обробітку становила лише 14,2 %, що свідчить про швидке висихання ґрунтового профілю та низьку водоутримувальну здатність орного шару. У системі Mini-Till показник зростав до 16,7 %, що пояснюється зменшенням кількості механічних операцій та частковим збереженням мульчі на поверхні. Значно вищі значення зафіксовано при використанні No-Till, де вологість ґрунту становила 18,9 %. Це зумовлено наявністю постійного мульчувального шару зі стерні, який зменшує випаровування та сприяє капілярному підняттю води з глибших горизонтів.

Найвищий показник було отримано у варіанті Strip-Till із застосуванням зрошення: вологість ґрунту досягала 22,5 %, що забезпечувало оптимальні умови для розвитку кореневої системи та формування високої врожайності. Варіант No-Till у поєднанні з дренажем

також демонстрував позитивний ефект — вологість підвищувалася до 19,6 %, що свідчило про ефективну регуляцію водного режиму в умовах надмірного зволоження. Таким чином, найкраще нагромадження та утримання вологи забезпечують технології No-Till і Strip-Till, особливо у поєднанні з водорегулювальними заходами.

Щільність ґрунту є важливим показником, що визначає доступність повітря, води та поживних речовин для кореневої системи. У проведеному дослідженні встановлено, що традиційний обробіток забезпечує щільність ґрунту на рівні 1,28 г/см³, тоді як Mini-Till дещо підвищує її до 1,32 г/см³ через часткове зменшення глибини розпушування. Найнижчі значення зафіксовано у системі No-Till — 1,25 г/см³, що зумовлено формуванням стабільної структури ґрунту під впливом біологічних факторів, таких як діяльність дощових черв'яків і розвиток природних агрегатів. Саме біота відіграє ключову роль у формуванні макропор і покращенні структури профілю без механічного втручання.

У системі Strip-Till щільність становила 1,30 г/см³, що є прийнятним рівнем для зонованого обробітку, адже розпушування здійснюється тільки в посівній смузі. Варіант No-Till у поєднанні з дренажем мав найнижчий показник — 1,24 г/см³, що свідчить про оптимальний повітряно-водний режим та ефективне зниження ризику переущільнення. Загалом дослідження доводить, що системи з мінімізацією обробітку значно покращують агрофізичний стан ґрунту завдяки природним процесам структурування.

Показники врожайності кукурудзи та сої є важливим критерієм оцінки ефективності агротехнологій. У варіанті традиційного обробітку врожайність кукурудзи становила 62 ц/га, тоді як у системі Mini-Till вона зростала до 66 ц/га. Застосування No-Till забезпечувало подальше зростання до 70 ц/га завдяки поліпшенню водного режиму й агрофізичних властивостей ґрунту. Найвищу врожайність — 82 ц/га — отримано у

варіанті Strip-Till із використанням зрошення, що підтверджує синергетичний ефект глибокого смугового розпушування та оптимально регульованого водозабезпечення. В системі No-Till з дренажем врожайність становила 72 ц/га, що також перевищує всі варіанти без водорегулювання.

Аналогічні тенденції спостерігалися для сої. У традиційній технології врожайність культури становила 21 ц/га, тоді як при Mini-Till вона підвищувалася до 23 ц/га. Технологія No-Till забезпечила врожайність 26 ц/га завдяки кращому збереженню вологи й активізації біологічних процесів у ґрунті. У варіанті Strip-Till із зрошенням врожайність досягала 31 ц/га — найвищого показника серед усіх досліджених технологій. Застосування дренажу у системі No-Till дало урожай 27 ц/га, що свідчить про ефективну компенсацію надмірної вологості у критичні періоди.

Отримані результати підтверджують, що впровадження адаптивних технологій обробітку ґрунту та управління водним режимом дозволяє значно підвищити продуктивність культур, особливо за умов кліматичних ризиків, характерних для регіону.

Урожайність культури визначали на основі контрольних ділянок площею 50 м², які закладали у межах кожного варіанта досліді. Облік урожаю проводили шляхом збирання та зважування біомаси, після чого показники перераховували в центнери з гектара. Це забезпечило об'єктивне порівняння продуктивності культур залежно від технологій обробітку та водного режиму ґрунту.

Економічні розрахунки здійснювали шляхом аналізу витрат пального, трудових витрат, ресурсного забезпечення та собівартості виробництва 1 т продукції. Окремо враховували витрати на придбання й обслуговування техніки, паливно-мастильні матеріали, добрива, засоби захисту рослин, насіння, а також операційні витрати, пов'язані з використанням дронів, метеостанцій і сервісів супутникового моніторингу. Це дозволило

визначити економічну доцільність і строк окупності адаптаційних заходів, а також порівняти їхню ефективність у різних умовах вирощування.

Таким чином, застосований комплекс методів забезпечив глибоку оцінку ґрунтових та агрономічних параметрів, продуктивності культури та економічної ефективності впровадження сучасних технологій, що дозволило зробити обґрунтовані висновки щодо адаптації агросектору до кліматичних змін.

3.2. Оптимізація структури посівів та селекційні технології (під соєву культуру)

Соє є однією з найбільш перспективних культур для Івано-Франківської області, оскільки вона поєднує високий ринковий попит, здатність до фіксації атмосферного азоту та відносну адаптивність до змін клімату. У зв'язку з підвищенням середньорічних температур та подовженням вегетаційного періоду в регіоні спостерігається чітка тенденція до розширення посівних площ сої, яка 10–15 років тому не була домінантною культурою у структурі посівів Покуття та Опілля.

Сучасні кліматичні зміни дали змогу вирощувати більш теплолюбні та продуктивні сорти сої, які потребують тривалішої суми активних температур і здатні формувати значно вищий потенціал урожайності порівняно з ранньостиглими сортами, що вирощувалися раніше. Якщо раніше у регіоні переважали групи стиглості 000 та 00, то сьогодні аграрії можуть успішно впроваджувати сорти груп 0, 1.0 та навіть 1.1, які характеризуються:

- подовженим періодом наливу бобів;
- вищим потенціалом урожайності (30–40 ц/га);
- кращою толерантністю до високих температур;
- стійкістю до осінніх похолодань.

Зростання середньорічної температури та суми активних температур на території області створює сприятливі умови для посування сої на нові площі, зокрема у південні райони Опілля та Покуття, де вегетаційний період подовжився на 10–14 днів порівняно з показниками 1990–2000-х рр.

Характеристика сучасних адаптованих сортів сої

Згідно з результатами дослідно-виробничих експериментів, проведених в умовах Коломийського та Городенківського районів, найбільш адаптованими виявилися такі групи сортів:

1. Ранні сорти (000)

- Стабільні в роки з прохолодною весною.
- Мають нижчий потенціал урожайності (18–25 ц/га).
- Підходять для ризикових зон із частими осінніми заморозками.

2. Середньоранні сорти (0)

- Найбільш збалансовані за вимогами до тепла та вологи.
- Потенційна врожайність: 26–30 ц/га.
- Добре реагують на технології No-Till та Mini-Till.

3. Середньостиглі сорти (1.0–1.1)

- Високий генетичний потенціал — до 35–40 ц/га.
- Найкраще реалізують урожайність за технології Strip-Till з локальним зрошенням.
- Стають основою розширення посівів сої в регіоні після 2020 року.

Результати експериментальних досліджень продуктивності сортів сої

У рамках експерименту встановлено, що:

- No-Till збільшує врожайність на 15–20 %, завдяки покращенню структури ґрунту і збереженню вологи.
- Strip-Till + зрошення підвищує урожайність на 22–30 %, особливо у середньостиглих сортів.
- Введення системи поверхневого дренажу для No-Till позитивно впливає на стійкість рослин у перезволожені періоди (червень).



Рис. 3.3. Зрошувальність

Таблиця. 3.2. Урожайність сої залежно від сорту та технології

Технологія	Ранні (000)	Середньоранні (0)	Середньостиглі (1.0–1.1)
Традиційний обробіток	20	23	24
Mini-Till	21	25	27
No-Till	23	27	29
Strip-Till + зрошення	26	31	35
No-Till + дренаж	24	28	30

Найвищий результат — 35 ц/га — забезпечують середньостиглі сорти за технології **Strip-Till** із краплинним зрошенням.

Соя стає ключовою адаптаційною культурою Івано-Франківської області, яка забезпечує високу продуктивність за умов глобального потепління. Підбір адаптованих сортів групи 0–1.1, використання сучасних технологій обробітку ґрунту та впровадження нішевих теплолюбних культур дозволяє оптимізувати структуру посівів, підвищити кліматичну стійкість та економічну ефективність агровиробництва регіону.

3.3. Цифровізація та точне землеробство як інструменти моніторингу кліматичних ризиків

Сучасний розвиток аграрного сектору Івано-Франківської області значною мірою залежить від здатності господарств адаптуватися до кліматичних змін та вчасно реагувати на ризики, пов'язані з посухами, паводками, весняними заморозками, перезволоженням ґрунту та нерівномірністю опадів. Цифрові технології — дрони, супутникові системи моніторингу, метеостанції та інструменти точного землеробства — стають ключовими інструментами для раннього виявлення загроз, оптимізації управлінських рішень та підвищення ефективності виробництва.

У регіоні ці технології впроваджуються переважно серед великих і середніх агропідприємств, проте їх застосування набуває поширення і в малих господарствах завдяки зниженню вартості обладнання та розвитку сервісних компаній.

Дрони (БПЛА) є одним із найефективніших інструментів цифрового моніторингу, здатним оперативно оцінювати стан рослин у масштабі господарства.

Використання дронів у сучасному аграрному виробництві відіграє ключову роль у моніторингу кліматичних ризиків та оперативному реагуванні на зміни стану посівів. Однією з найважливіших функцій безпілотних літальних апаратів є виявлення стресових зон, пов'язаних із посухою, перезволоженням, пошкодженням заморозками або іншими несприятливими факторами. Дрони, оснащені мультиспектральними камерами (NDVI, NDRE, MSAVI, GNDVI), дозволяють з високою точністю фіксувати зниження вегетаційних індексів, що свідчить про ослаблення фотосинтетичної активності рослин. Саме вегетаційні індекси є чутливими до найменших змін у функціонуванні листкової поверхні та вмісті

хлорофілу, тому такі дані слугують надійним індикатором стресу ще до того, як він стає видимим для ока.

За допомогою дронів визначають зони з порушеним фотосинтезом, локальні ділянки зі зміненою густиною або висотою рослин, а також неоднорідність їхнього розвитку, що може бути спричинено нерівномірним зволоженням ґрунту, ущільненнями, нестачею мікроелементів або ураженням шкідниками. В умовах кліматичних коливань такі інструменти відіграють критичну роль: дрон дозволяє швидко оцінити просторову структуру стресу і зрозуміти його характер, площу та ступінь поширення.

У проведених дослідженнях на сої мультиспектральний моніторинг продемонстрував високу ефективність у виявленні кліматично зумовлених стресів. Так, під час періоду атмосферної посухи у серпні фіксувалося зниження значень NDVI на 15–30 % порівняно з оптимальними умовами. Стрес на ранніх етапах розвитку проявлявся у вигляді мозаїчних зон із порушеною структурою листкового апарату, які згодом корелювали зі зменшенням кількості бобів та маси насіння. У випадках надмірних опадів або перезволоження ґрунту дрони також допомогли локалізувати ділянки з пригніченими рослинами, де індекс NDRE знижувався на 10–18 %, що свідчило про порушення азотного обміну через гіпоксичний стан кореневої системи. Особливо показовими були результати моніторингу після весняних заморозків. На мультиспектральних знімках добре візуалізувались світлі або сірі ділянки, де листкова пластинка зазнала кріопошкодження. Пошкоджені рослини демонстрували падіння NDVI на 25–40 %, тоді як сусідні незаймані зони показували стабільні високі значення. Це дозволило точно оцінити площу ураження, визначити необхідність пересіву та запобігти надмірним економічним витратам.

Загалом застосування дронів у моніторингу посівів сої дало змогу:

- зменшити час виявлення кліматичного стресу з 5–10 днів до 1–2 днів;
- підвищити точність оцінки стану рослин до 90–95 %;

- оптимізувати рішення щодо коригування технологій (полив, підживлення, обробка) завдяки просторовим картам стресу;
- забезпечити можливість прогнозування врожайності з точністю 7–10 % на основі динаміки індексів NDVI та NDRE.

Таким чином, дрони є надзвичайно ефективним інструментом для оперативного моніторингу кліматичних ризиків, оскільки здатні швидко, детально й об'єктивно оцінити стан посівів, зокрема сої, у різних умовах зволоження, температурних коливань та інших кліматичних факторів. Їх використання суттєво підвищує стійкість аграрного виробництва до кліматичних змін і забезпечує прийняття своєчасних управлінських рішень.

Ризик	Ознаки з дрона	Практична користь
Посуха	зниження NDVI на 15–30 %	ранній перехід на полив або корекцію удобрення
Перезволоження	темні зони з низькою щільністю рослин	рішення про дренаж або зміну технології
Заморозки	плями зі світлими/сірими рослинами	оцінка втрат і потреби у пересіві

Однією з важливих функцій дронів у точному землеробстві є оцінка рівномірності посіву на полях, де застосовуються технології No-Till та Strip-Till. Ці системи обробітку ґрунту відрізняються мінімальним механічним впливом на ґрунтовий профіль, що позитивно впливає на структуру ґрунту, вологозбереження та біологічну активність, але водночас створює певні технологічні виклики, особливо на етапі сходів. Дрони дозволяють здійснювати високоточний моніторинг просторової рівномірності сходів і виявляти аномальні ділянки вже на ранніх фазах розвитку культури, що є критично важливим для сої, яка чутлива до умов стартового росту.

На посівах, виконаних за технологією No-Till, дрони допомагають своєчасно визначати проблеми зі сходами, які часто виникають через повільне прогрівання ґрунту під шаром пожнивних решток. Мульча зберігає вологу, але водночас може знизити температуру ґрунту на 2–4 °С у ранній весняний період. Це призводить до нерівномірності сходів, коли частина рослин відстає у розвитку або не з'являється взагалі. На мультиспектральних знімках такі ділянки проявляються у вигляді зон зі зниженими індексами NDVI або GNDVI, що сигналізує про слабку біомасу або її відсутність. Завдяки цьому агроном може оперативно приймати рішення щодо додаткових заходів, наприклад, регулювання висівної норми в наступному сезоні або зміни напрямку посіву.

Крім того, дрони дозволяють визначити недоліки, пов'язані з надлишком або нестачею мульчі. При надмірному шарі пожнивних решток спостерігається утруднення проникнення висівного сошника в ґрунт, що знижує точність загортання насіння та може викликати пропуски в рядках. Нестача мульчі, навпаки, знижує здатність ґрунту утримувати вологу та підвищує ризик пересихання верхнього шару, особливо у післяпосівний період. Дрони, оснащені RGB- та мультиспектральними камерами, фіксують ці контрасти у структурі поверхні поля, дозволяючи оцінити, чи оптимально розподілена мульча по площі, та чи не призвела її неоднорідність до нерівномірних сходів.

Важливим аспектом є також виявлення забур'яненості, яка у системі No-Till часто проявляється у перші роки через відсутність механічного обробки ґрунту. Дрони здатні відрізнити бур'яни від культурних рослин за спектральними характеристиками: бур'яни часто формують плями з аномально високим або низьким NDVI у порівнянні з культурою. Це дозволяє не лише картувати забур'янені ділянки, а й планувати локальні обробки гербіцидами замість суцільного внесення, що суттєво знижує витрати та екологічне навантаження.

У випадку Strip-Till дрони допомагають контролювати якість формування посівних смуг. Недостатньо глибока або нерівномірна смуга може призвести до зменшення польової схожості, тоді як надто глибока — до втрати вологи. З аеріальних знімків добре видно, чи є смуги рівномірними по ширині та чи не змістився рядок від оптимального положення. Додатково дрони дозволяють оцінити стан рослин у смугах порівняно з міжряддям, що важливо для діагностики ґрунтових ущільнень, які інколи виникають при неправильному налаштуванні агрегату Strip-Till.

Узагальнюючи, використання дронів значно підвищує ефективність контролю рівномірності сходів при No-Till і Strip-Till, дозволяючи:

- виявити проблеми зі сходами на стадії 2–3 листків,
- точно визначити зони технологічних порушень,
- оцінити якість розподілу мульчі,
- локалізувати забур'янені ділянки,
- підвищити точність технологічних операцій у наступних сезонах.

Таким чином, дрони є незамінним інструментом у системі точного землеробства, особливо в умовах кліматичних коливань, коли рівномірність та швидкість формування сходів сої визначає значну частину потенціалу врожайності.

Моделі, побудовані на основі NDVI, дозволили прогнозувати врожайність сої з точністю $\pm 7\text{--}10\%$.

Супутниковий моніторинг є одним із ключових інструментів стратегічного управління агровиробництвом в умовах кліматичних змін. Дані з супутників Sentinel-2, Landsat та PlanetScope забезпечують регулярний огляд території Івано-Франківської області з інтервалом 3–5 днів, що дозволяє відстежувати зміни стану ґрунтів і рослинності в динаміці. Особливо цінною є можливість довгострокового аналізу, адже супутникові архіви охоплюють періоди тривалістю 10–20 років. Це дає змогу виявляти зони підвищеної вразливості до кліматичних ризиків, такі як

території, де систематично повторюються посухи або паводки, а також ділянки, схильні до деградації ґрунтів. Таким чином, супутникові дані створюють можливість формувати карти ризиків та планувати структуру посівів з урахуванням довгострокових кліматичних тенденцій.

Однією з важливих можливостей супутникового моніторингу є оцінка вологозабезпеченості ґрунту за допомогою індексів SMI (Soil Moisture Index) та VHI (Vegetation Health Index). У ході аналізу території області було встановлено значні просторові контрасти у розподілі вологи: на Покутті, особливо у серпні, рівень ґрунтової вологи стабільно знижується на 20–25 %, що підвищує ризики розвитку атмосферної та ґрунтової посух. Натомість у Карпатській зоні часто спостерігаються перезволоження ґрунтів і висока водонасиченість після інтенсивних опадів зі сумою понад 60 мм на добу, що може спричиняти ерозійні процеси, зсуви та затримки у проведенні польових робіт. Такі супутникові дані дають змогу точніше прогнозувати умови вегетації та адаптувати агротехніку відповідно до очікуваних коливань вологості.

Не менш важливою функцією супутникових систем є раннє попередження кліматичних ризиків на основі вегетаційних індексів NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) та VCI (Vegetation Condition Index). Аналіз їхньої динаміки дозволяє прогнозувати можливий недобір урожаю за 4–6 тижнів до збирання, що є критично важливим для планування збуту, логістики та фінансових рішень господарства. Крім того, ці індекси чутливо реагують на прояви теплового стресу, що дозволяє оцінити ризик перегріву рослин у періоди екстремальних температур. Завдяки цьому аграрії можуть завчасно застосовувати заходи з адаптації — від коригування норм азотного живлення до оптимізації поливу або зміни строків збирання.

У комплексі супутниковий моніторинг формує стратегічну аналітичну базу для управління агровиробництвом, допомагаючи прогнозувати ризики,

оцінювати стан ресурсів та підтримувати прийняття рішень у системі точного землеробства.

Автоматизовані метеостанції є ключовим елементом сучасної системи агромоніторингу та дозволяють отримувати оперативні й високоточні дані про мікрокліматичні умови безпосередньо на полях сільськогосподарських підприємств. На відміну від загальнодержавних або регіональних метеопостів, локальні метеостанції фіксують фактичні параметри саме у зоні вирощування культур, що забезпечує значно більшу точність прогнозів та прийняття управлінських рішень. Це особливо важливо в умовах Івано-Франківської області, де рельєф, близькість Карпат та різноманітність мікрокліматів можуть призводити до суттєвих відмінностей у погодних умовах навіть на невеликій території.

Метеостанції реєструють температуру повітря та ґрунту з високою часовою роздільністю, що дозволяє оцінювати ризики появи заморозків, перегріву рослин або порушення динаміки росту у фазах, чутливих до температурних коливань. Одночасно вимірюється відносна вологість повітря, яка визначає умови розвитку хвороб рослин, ризики утворення роси та туману, а також впливає на стресостійкість культур у періоди високих температур. Не менш важливими є дані про опади — метеостанції фіксують не лише їх кількість, але й інтенсивність, що дозволяє визначати ризики ерозії ґрунту, перезволоження, паводкових явищ та можливі затримки у проведенні агротехнічних операцій.

Значну цінність становить інформація про швидкість і напрям вітру, яка впливає на ризики вилягання культур, випаровуваність ґрунтової вологи, ефективність роботи систем зрошення та безпечність внесення засобів захисту рослин. Показник випаровуваності (ETo), який розраховується за даними метеостанції, є основою для прийняття рішень щодо графіка та норм поливу. Його аналіз дає можливість оптимізувати витрати води в умовах посухи, а також запобігати перезволоженню, що

важливо для таких культур, як соя, чутливих до надмірного водонасичення ґрунту. Додатково метеостанції реєструють рівень освітленості, що дозволяє оцінювати інтенсивність фотосинтетичної активності рослин та адаптувати агротехніку відповідно до умов сонячної радіації.

Важливою функцією локальних метеостанцій є автоматичне визначення порогів заморозків. Система здатна виявляти навіть короточасні температурні падіння до критичних значень і передавати попередження аграріям у режимі реального часу. Це дає змогу оперативно реагувати на ризики пошкодження рослин у чутливі фази розвитку — зокрема, під час сходів сої або у період цвітіння садових культур.

Загалом автоматизовані метеостанції створюють повноцінну базу високоточних даних, що стає фундаментом для моделювання кліматичних ризиків, точного управління зрошенням, прогнозування врожайності та оптимізації технологій вирощування. Їх впровадження значно підвищує ефективність аграрного виробництва в умовах кліматичної мінливості Івано-Франківської області та сприяє формуванню адаптивної, стійкої до ризиків системи землеробства.

Таблиця 3.3. Результати метеомоніторингу у дослідженні (Івано-Франківська обл., Коломийський р-н, село Підгайчики,)

Показник	Значення	Інтерпретація
Заморозок 17 квітня	-2,3 °C	ризик пошкодження ранніх сходів сої
Кількість опадів у червні	148 мм	ймовірність перезволоження ґрунту
Температури у серпні	+33+35 °C	період високого теплового стресу
Сумарна ET ₀ у липні	155 мм	дефіцит вологи при відсутності поливу

Точне землеробство дозволяє оптимізувати технології ухвалення рішень:

Збирається через датчики на комбайнах.

Результат експерименту:

- різниця врожайності сої на полі коливалася від 21 до 36 ц/га — різниця у 1,7 рази.
- найнижчі значення збігалися з зонами посухи, зафіксованими супутниковими індексами.

2. Диференційоване внесення добрив (VRA)

- Дані з метеостанцій + супутників + аналіз ґрунту дозволили:
- скоротити норму азоту на 15–20 %;
- збільшити врожайність на піщаних ділянках на 6–8 %.

3. Моделювання поливу (для Strip-Till + зрошення)

- Застосовували моделі ET₀ та баланс ґрунтової вологи:
- економія води — 22–28 %,
- підвищення врожайності сої — до +4 ц/га.

Точне землеробство є сучасною технологічною парадигмою, що дозволяє оптимізувати ухвалення аграрних рішень на основі даних, отриманих із комбайнів, метеостанцій, супутникових знімків та ґрунтових аналізів. Одним із ключових елементів цієї системи є картування врожайності, яке здійснюється за допомогою спеціальних датчиків на збиральних комбайнах. Під час експериментальних досліджень встановлено, що врожайність сої в межах одного поля може суттєво варіювати. У проведених вимірюваннях її значення коливалися від 21 до 36 ц/га, що становить різницю майже у 1,7 рази. Детальний аналіз просторового розподілу врожайності показав, що найнижчі показники стабільно збігалися з ділянками, які супутникові індекси ідентифікували як зони підвищеного ризику посухи. Це підтверджує важливість інтеграції

комбайнових даних з дистанційним моніторингом для точного визначення причин зниження врожайності та формування коригуючих рішень.

Другим важливим напрямом точного землеробства є диференційоване внесення добрив (VRA — Variable Rate Application). У цьому випадку для визначення оптимальних норм удобрення використовували багатоджерельні дані: локальні параметри мікроклімату з автоматизованих метеостанцій, інформацію про вологість і стан рослин із супутникових знімків, а також результати детального ґрунтового аналізу. Завдяки такій інтегрованій системі вдалося скоротити норму внесення азоту на 15–20 % без будь-якої втрати продуктивності. Більше того, на піщаних та легких ґрунтах, де вміст гумусу та азотна буферність істотно нижчі, диференційоване внесення добрив забезпечило зростання врожайності сої на 6–8 %. Це доводить, що застосування VRA не лише зменшує витрати ресурсів, а й підвищує ефективність їх використання, дозволяючи уникати як надмірного, так і недостатнього удобрення окремих ділянок.

Ще одним важливим компонентом точного землеробства є моделювання поливу, особливо для систем Strip-Till із локальним зрошенням. У дослідженні використовували моделі розрахунку евапотранспірації (ET₀), а також баланс ґрунтової вологи, які базувалися на даних метеостанцій та характеристиках ґрунтового профілю. Це дозволило визначити оптимальні строки та норми поливу, що забезпечило економію води на рівні 22–28 % порівняно з традиційними методами управління зрошенням. Крім того, застосування моделей водного балансу сприяло підвищенню врожайності сої на 3–4 ц/га завдяки зменшенню водного стресу у критичні фази розвитку рослин. Таким чином, цифрові інструменти у поєднанні з технологією Strip-Till дозволяють досягти не лише ресурсної економії, а й підвищення стабільності врожаю.

У сукупності ці три напрями демонструють, що точне землеробство є потужним інструментом підвищення продуктивності та екологічної

стійкості агровиробництва. Використання даних для побудови просторових карт врожайності, оптимізації удобрення та управління водними ресурсами дозволяє аграріям мінімізувати вплив кліматичних ризиків, знизити витрати та підвищити ефективність технологічних процесів.

Таблиця 3.4. Результати впровадження цифрових технологій

Технологія	Переваги	Кількісні результати
Дрони	Виявлення стресу, точна діагностика проблем	точність локалізації проблемних зон — 90–95 %
Супутники	Аналіз тенденцій, прогнозування	прогноз урожаю з точністю 85–93 %
Метеостанції	Локальні кліматичні дані	скорочення ризику втрати врожаю від заморозків на 20–30 %
VRA-технології	Оптимізація ресурсів	економія добрив 10–25 %
Моделі ET ₀	Управління поливами	економія води до 30 %

1. Цифрові технології є ключовим елементом адаптації аграрного сектору до кліматичних ризиків.
2. Умови Івано-Франківської області — різкі перепади температур, перезволоження та літні посухи — вимагають застосування комплексних систем моніторингу.
3. Дрони, супутникові дані та метеостанції дозволяють з високою точністю виявляти ризики та оперативно коригувати технологію вирощування.
4. Інтеграція цифрових інструментів у точне землеробство забезпечує зменшення витрат і зростання врожайності на 10–30 %.

5. Впровадження цих технологій підвищує стійкість господарств до кліматичних змін і забезпечує ефективне планування агротехнологій майбутнього.

3.4. Економічна ефективність запропонованих заходів.

Оцінка економічної ефективності запропонованих технологічних та організаційних рішень є ключовим елементом адаптації аграрних підприємств до кліматичних ризиків. Упровадження таких технологій, як No-Till, Strip-Till, диференційоване внесення добрив (VRA), краплинне зрошення, а також засобів цифрового моніторингу — дронів, автоматичних метеостанцій і супутникових систем — змінює структуру витрат господарства, однак забезпечує істотне підвищення урожайності, оптимізацію використання ресурсів і стабілізацію агровиробництва в умовах кліматичної нестабільності. На основі експериментальних даних та середніх ринкових показників 2024–2025 рр. проведено узагальнений економічний аналіз витрат та фінансових результатів від реалізації комплексної програми адаптації.

Таблиця 3.5.. Перехід на No-Till

Стаття витрат	Орієнтовна сума, грн/га
Спеціалізована сівалка (амортизація / 7 років)	850–1200
Зростання потреби в гербіцидах	+200–350
Зменшення витрат на пальне	–1200...–1500
Зменшення витрат на механізовані операції	–700...–900

Чистий ефект економії: 1 300–1 800 грн/га. Додатковий приріст урожайності сої: +2–4 ц/га. Окупність: 1,5–2 роки.

Перехід на технологію No-Till передбачає інвестиції у спеціалізовану сівалку, амортизаційні витрати якої становлять 850–1200 грн/га. Водночас

потреба у гербіцидному захисті зростає на 200–350 грн/га, проте витрати на паливе зменшуються на 1200–1500 грн/га, а на механізовані операції — на 700–900 грн/га. У підсумку чистий економічний ефект становить 1300–1800 грн/га, а приріст урожайності сої сягає 2–4 ц/га. Строк окупності технології — 1,5–2 роки, що робить No-Till фінансово привабливою інвестицією.

Таблиця 3.6. Впровадження Strip-Till

Стаття витрат	Значення
Strip-Till агрегат (амортизація / 7 років)	1000–1500 грн/га
Економія добрив (локальне внесення)	–300...–500 грн/га
Економія пального	–400...–600 грн/га
Приріст урожайності	+3–6 ц/га

Чистий економічний ефект: +2 000–3 500 грн/га. Окупність: 1–1,5 роки.

Впровадження Strip-Till потребує дещо вищих початкових витрат, оскільки амортизація агрегату становить 1000–1500 грн/га. Однак завдяки локальному внесенню добрив економія ресурсів сягає 300–500 грн/га, а економія пального — 400–600 грн/га. Приріст урожайності в середньому становить 3–6 ц/га, що забезпечує чистий економічний ефект у розмірі 2000–3500 грн/га. Технологія окупається за 1–1,5 роки, що свідчить про її високу ефективність.

Таблиця 3.7. Краплинне зрошення для Strip-Till

Показник	Значення
Вартість системи (амортизація / 5 років)	1200–1800 грн/га
Економія води	22–28 %
Приріст урожайності сої	+3–4 ц/га
Додатковий дохід	3500–4500 грн/га

Економічний ефект: +2200–2800 грн/га. Окупність: 1 сезон.

Краплинне зрошення у поєднанні зі Strip-Till демонструє ще вищу економічну результативність. Витрати на систему, розраховані з амортизацією за 5 років, становлять 1200–1800 грн/га. Натомість економія води досягає 22–28 %, а приріст урожайності сої — 3–4 ц/га, що формує додатковий дохід у розмірі 3500–4500 грн/га. Чистий економічний ефект становить 2200–2800 грн/га, а технологія окупається протягом одного сезону, особливо в роки з дефіцитом опадів.

Цифрові технології моніторингу також забезпечують відчутний економічний ефект. Використання дронів вартістю 150–300 грн/га дає змогу зменшити втрати врожаю від кліматичного стресу на 5–8 %, а також знизити витрати на засоби захисту рослин на 10–15 %, що створює сумарний економічний ефект у межах 600–1200 грн/га.

Таблиця 3.8. Впровадження цифрових технологій моніторингу

Показник	Значення
Вартість послуг / обладнання	150–300 грн/га
Зменшення втрат врожаю від стресу	5–8 %
Економія на ЗЗР	10–15 %

Сумарний ефект: +600–1200 грн/га

Встановлення автоматичних метеостанцій, амортизаційні витрати яких становлять 80–120 грн/га, дозволяє зменшити втрати врожайності від заморозків і перегріву на 300–600 грн/га, а також забезпечує економію води на рівні 12–20 %. Загальний ефект становить 400–850 грн/га.

Таблиця 3.9. Автоматичні метеостанції

Показник	Значення
Вартість станції (амортизація / 5 років)	80–120 грн/га
Зменшення втрат від заморозків і перегріву	300–600 грн/га
Економія поливу	12–20 %

Сумарний ефект: +400–850 грн/га

Використання супутникового моніторингу є найменш витратним — 20–50 грн/га — проте дозволяє оптимізувати внесення добрив та прогнозувати врожайність із точністю 2–5 %, що формує додатковий економічний ефект у розмірі 100–200 грн/га.

Таблиця 3.10. Супутниковий моніторинг

Показник	Значення
Вартість	20–50 грн/га
Прогноз урожайності, оптимізація внесень	+2–5 % економії

Сумарний ефект: +100–200 грн/га

Високу результативність демонструє диференційоване внесення добрив (VRA), вартість обладнання для якого становить 200–300 грн/га. Завдяки цьому методу економія добрив досягає 15–20 %, а приріст урожайності, особливо на легких ґрунтах, становить 6–8 %. Загальний економічний ефект складає 900–1500 грн/га. Строк окупності технології — 1,5–2 роки.

Таблиця 3.11. Диференційоване внесення добрив (VRA)

Показник	Значення
Вартість обладнання (амортизація / 7 років)	200–300 грн/га
Економія добрив	15–20 %
Приріст урожайності (особливо на легких ґрунтах)	+6–8 %

Сумарний ефект: +900–1500 грн/га

На основі усереднених розрахунків для господарства в Івано-Франківській області (1000 га, у структурі посівів 20–25 % сої) загальний ефект становить:

Таблиця 3.12. Загальний економічний ефект впровадження комплексу технологій

Технологія	Економія / додатковий дохід, грн/га
No-Till	1 300–1 800
Strip-Till	2 000–3 500

Краплинне зрошення	2 200–2 800
Дрони	600–1 200
Метеостанції	400–850
Супутники	100–200
VRA	900–1 500

Сумарний потенційний економічний ефект:

від 7 500 до 11 800 грн/га, або 7,5–11,8 млн грн на 1000 га.

Таблиця 3.13. Показники окупності

Технологія	Строк окупності
No-Till	1,5–2 роки
Strip-Till	1–1,5 роки
Краплинне зрошення	1 сезон
Дрони	0,5–1 рік
Метеостанції	1 рік
VRA	1,5–2 роки

Загальний економічний ефект від комплексного впровадження адаптаційних заходів (No-Till, Strip-Till, краплинне зрошення, VRA, дрони, метеостанції та супутниковий моніторинг) для господарства площею 1000 га з часткою сої 20–25 % становить від 7500 до 11 800 грн/га. У грошовому вимірі це відповідає загальному додатковому доходу або економії витрат у межах 7,5–11,8 млн грн на рік.

Строки окупності також підтверджують доцільність упровадження зазначених технологій: No-Till окупується за 1,5–2 роки, Strip-Till — за 1–1,5 роки, краплинне зрошення — вже протягом першого сезону, тоді як дрони й автоматичні метеостанції мають окупність у межах одного року. VRA окупується за 1,5–2 роки, забезпечуючи довгострокову економію на добривах і підвищення врожайності на різних типах ґрунтів.

РОЗДІЛ 4.

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

У сучасних умовах кліматичних змін, що супроводжуються підвищенням середньодобових температур, появою тривалих періодів спеки, різкими погодними коливаннями та збільшенням частоти екстремальних явищ, проблеми охорони праці в аграрному секторі набувають особливої актуальності. Сільське господарство традиційно належить до галузей із високим рівнем виробничих ризиків, а поєднання фізично важких робіт, роботи на відкритому повітрі та використання складного технічного обладнання потребує комплексного підходу до забезпечення безпеки працівників.

4.1. Особливості умов праці в сільському господарстві в умовах підвищених температур

Умови праці в сільському господарстві значною мірою залежать від температурного та вологісного режимів навколишнього середовища. Зростання температур, пов'язане з глобальними кліматичними змінами, створює додаткові ризики для здоров'я працівників. Фізичні навантаження під прямим сонячним промінням у спекотні дні спричиняють підвищення ризику теплових і сонячних ударів, порушення терморегуляції та дегідратацію. Надмірне перебування на сонці також підвищує вплив ультрафіолетового випромінення, що може призводити до дерматологічних захворювань. Перегрівання організму негативно впливає на серцево-судинну систему, знижує концентрацію уваги та реакцію, що підвищує імовірність виробничого травматизму при роботі з технікою, особливо з рухомими або важкими механізмами.

Кліматичні зміни також призводять до збільшення кількості днів із надзвичайно високими температурами, що збігаються з піковими періодами польових робіт — сівбою, доглядом за культурами та збиранням урожаю. За цих умов працівники зазнають значного теплового навантаження, яке ускладнює виконання фізичних операцій та може призвести до гострих порушень здоров'я. Оптимізація умов праці вимагає створення відповідного режиму роботи: зменшення тривалості перебування під прямим сонячним світлом, перенесення найбільш інтенсивних робіт на ранкові та вечірні години, облаштування місць відпочинку в тіні та забезпечення працівників достатньою кількістю питної води. Не менш важливою є необхідність навчання персоналу розпізнаванню симптомів перегрівання, теплового виснаження та інших станів, що можуть виникати під впливом високої температури. Комплекс таких заходів є критично важливим для зниження ризиків та підтримання продуктивності праці в умовах високих температур.

4.2. Заходи безпеки при роботі з новітньою агротехнікою

Паралельно зі зростанням кліматичних навантажень у сільському господарстві відбувається стрімке впровадження новітніх агротехнологій, включаючи роботизовані системи, GPS-навігацію, автоматизовані модулі Strip-Till і No-Till, обладнання для точного внесення добрив, обприскувачі з автоматичним керуванням, а також дрони для моніторингу посівів. Хоча такі технології підвищують ефективність виробництва, зменшують втрати ресурсів та оптимізують управління полем, вони створюють нові ризики, пов'язані з використанням високотехнологічного обладнання. Наявність електронних модулів, гідравлічних систем високого тиску, сенсорів, обертових деталей та програмного забезпечення потребує високого рівня підготовки персоналу. Небезпеки при роботі з агротехнікою можуть бути пов'язані з неправильним налаштуванням обладнання, неконтрольованими

рухами навісних механізмів, ризиком ураження електричним струмом, некоректним управлінням дронами, а також порушенням правил техніки безпеки при застосуванні засобів захисту рослин. Для мінімізації ризиків необхідно забезпечити належний рівень навчання операторів, включно з інструкціями щодо безпечної експлуатації обладнання, плановими перевітками технічного стану машин і механізмів, а також дотриманням правил охорони праці. Особливо це стосується роботи з гідравлікою високого тиску, яка у разі витoku може спричинити серйозні поранення, та роботи з дронами, польоти яких суворо залежать від погодних умов і вимагають точного виконання протоколів запуску та посадки.

Забезпечення безпечної робочої зони є ще одним критичним аспектом охорони праці. Для роботи зі складною технікою необхідно визначати території з обмеженим доступом, застосовувати попереджувальні знаки й огороження, контролювати переміщення людей поблизу техніки та систем автоматичного керування. Сучасні зміни клімату також потребують постійного моніторингу атмосферних явищ: сильний вітер, грози або буревії створюють небезпеку для роботи з дронами, високими машинами та сільськогосподарськими агрегатами, що можуть втратити стійкість або вийти з ладу. Крім того, надзвичайні ситуації природного характеру — зокрема, пожежі на полях, зливи, шквали, паводки та повені — створюють додаткові загрози для працівників. Тому на підприємстві має бути розроблений комплексний план реагування на НС, який включає алгоритм евакуації, забезпечення засобів пожежогасіння, засоби індивідуального захисту, а також систему оповіщення про наближення небезпечних метеорологічних явищ.

У цілому, впровадження новітніх технологій вимагає поєднання технічних, організаційних і навчальних заходів, які дозволяють підвищити рівень безпеки праці, адаптувати виробничі процеси до кліматичних викликів і забезпечити мінімізацію ризиків для здоров'я працівників.

ВИСНОВКИ

У магістерській роботі на основі теоретичних узагальнень та експериментальних досліджень вирішено науково-прикладне завдання щодо підвищення ефективності аграрного виробництва Івано-Франківської області в умовах змін клімату.

Аналіз динаміки кліматичних процесів за останні 10–20 років засвідчив, що аграрний сектор регіону функціонує в умовах стійких трансформацій, які проявляються у зростанні середньорічної температури повітря на 0,8–1,2 °С. Це призвело до суттєвого зсуву агрокліматичних зон, зокрема зона Опілля за показниками теплозабезпеченості наближається до умов Лісостепу, а Покуття стає більш посушливим. Водночас змінився характер зволоження: при відносно стабільній річній кількості опадів зросла їх інтенсивність та нерівномірність, що спричиняє чергування періодів перезволоження через зливи та атмосферних посух у літні місяці.

Оцінка сучасного стану агровиробництва виявила тенденцію до зміни структури посівних площ, де в рівнинних районах (Тисменицький, Городенківський, Коломийський) зростає частка теплолюбних культур, таких як кукурудза та соя. Однак існуюча система землеробства залишається вразливою через недостатнє вологозбереження та ерозію ґрунтів, що вимагає переходу на адаптивні технології. Експериментальні дослідження, проведені в Коломийському районі (с. Підгайчики), підтвердили неефективність традиційної оранки в нових умовах та переваги ресурсозберігаючих систем. Зокрема, технологія No-Till забезпечила збереження вологості ґрунту на глибині 30 см на рівні 18,9 %, що на 4,7 % вище, ніж при традиційному обробітку, а найкращий результат продемонструвала технологія Strip-Till із локальним зрошенням — 22,5 %. Застосування цих систем також сприяло формуванню оптимальної щільності ґрунту (1,25–1,30 г/см³) та покращенню його структури.

Впровадження адаптивних технологій забезпечило достовірний приріст урожайності основних культур. При використанні системи Strip-Till урожайність кукурудзи зросла до 82 ц/га порівняно з 62 ц/га на контролі. Для сої технологія No-Till забезпечила врожайність 26 ц/га, а Strip-Till зі зрошенням — до 31–35 ц/га, що значно перевищує показники традиційного обробітку (21 ц/га). Обґрунтовано також зміну сортової політики: в умовах подовженого вегетаційного періоду найбільш продуктивними визначено середньостиглі сорти сої (групи стиглості 1.0–1.1), які здатні формувати врожайність на рівні 30–40 ц/га.

Важливою складовою адаптації є цифровізація виробництва. Використання дронів дозволяє виявляти стресові зони посівів із точністю 90–95 % та прогнозувати врожайність із похибкою не більше 7–10 %. Локальні метеостанції дають змогу оптимізувати графік зрошення, економлячи до 30 % води, та попереджати про ризики заморозків. Водночас диференційоване внесення добрив (VRA) забезпечує економію ресурсів на 15–20 % та додатковий приріст урожаю на строкатих ґрунтах.

Комплексна модернізація виробництва є економічно обґрунтованою: для господарства площею 1000 га сумарний економічний ефект становить від 7,5 до 11,8 млн грн на рік. Термін окупності переходу на технологію Strip-Till складає 1–1,5 роки, No-Till — 1,5–2 роки, а системи краплинного зрошення окупаються протягом одного сезону. Поряд із технологічними змінами розроблено рекомендації з охорони праці, спрямовані на захист працівників від теплового стресу та мінімізацію ризиків травматизму при роботі з новітньою автоматизованою технікою. Таким чином, адаптація аграрного сектору регіону до змін клімату потребує системного впровадження вологозберігаючих технологій, інтегрованих із цифровими рішеннями та сучасним менеджментом.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Адаменко О. М. Екологічна безпека та сталий розвиток: проблеми і перспективи (на прикладі Карпатського регіону). *Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування*. 2021. № 2. С. 12–19.
2. Шувар І. А., Беген Л. Л. Агроекологічні аспекти адаптації землеробства до змін клімату в умовах Західного Лісостепу та Передкарпаття. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. 2022. Вип. 71. С. 5–18.
3. Волощук М. Д. Ерозійна деградація ґрунтів передгірської зони Карпат та шляхи її мінімізації. *Вісник аграрної науки*. 2020. № 4. С. 55–61.
4. Кавецький С. В. Оцінка впливу кліматичних змін на врожайність основних сільськогосподарських культур в Івано-Франківській області. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2021. Т. 31, № 4. С. 60–65.
5. Седіло Г. М. Наукові основи адаптації агропромислового виробництва Карпатського регіону до змін клімату : монографія. Львів : Сполом, 2019. 240 с.
6. Снітинський В. В., Лихочвор В. В. Сталий розвиток сільських територій Карпатського регіону в умовах євроінтеграції. Львів : Українські технології, 2020.
7. Гребінь В. В. Водні ресурси гірських річок Українських Карпат в умовах кліматичних змін. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2019. № 3. С. 22–30. (Важливо для контексту повеней/паводків в області).
Технології адаптації та загальнодержавні дослідження:
8. Балабух В. О. Прогноз зміни клімату України у ХХІ столітті та його вплив на галузі економіки. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2020. № 25. С. 18–28.

9. Тараріко О. Г., Ільєнко Т. В., Кучма Т. Л. Вплив змін клімату на продуктивність та валові збори зернових культур в Україні. *Агроєкологічний журнал*. 2021. № 1. С. 6–14.
10. Вожегова Р. А. Адаптивні системи землеробства в умовах змін клімату: теорія і практика. Херсон : Олді-Плюс, 2020.
11. Камінський В. Ф., Сайко В. Ф. Наукові основи землеробства в контексті змін клімату. *Землеробство*. 2019. Вип. 1. С. 3–12.
12. Польовий А. М., Божко Л. Ю. Агрокліматичне районування України в умовах сучасного потепління клімату. *Вісник Одеського державного екологічного університету*. 2022. № 23. С. 9–17.
13. Балюк С. А., Медведєв В. В. Заходи з адаптації ґрунтового покриву України до змін клімату. *Вісник аграрної науки*. 2021. № 11. С. 5–12.
14. Патика М. В. Мікробіологічні препарати як елемент адаптивних технологій вирощування сільськогосподарських культур. *Мікробіологія і біотехнологія*. 2020. № 2. С. 45–56.
15. Стрижак О. В. Точне землеробство як інструмент підвищення стійкості агровиробництва до погодних ризиків. *Економіка АПК*. 2021. № 6. С. 88–95.
16. Дмитрук Ю. М. Ґрунти Західного регіону України: генеза, екологія, використання. Чернівці : Рута, 2019.
17. Фурдичко О. І. Агроєкологічне обґрунтування сівозмін у зонах ризикованого землеробства Карпат. Київ : Аграрна наука, 2020.
18. Приліпка О. В. Страхування сільськогосподарських ризиків в умовах глобальних кліматичних змін. *Фінанси України*. 2021. № 3. С. 102–115.
19. Лихочвор В. В., Петриченко В. Ф. Рослинництво. Технології вирощування сільськогосподарських культур : підручник. 5-те вид. Львів : НВФ «Українські технології», 2022. 1046 с. (Базове джерело по технологіях).

20. Яремко Ю. І. Економічна ефективність впровадження вологозберігаючих технологій в агровиробництві. *Інноваційна економіка*. 2020. № 5-6. С. 15–21.
21. FAO. Climate-Smart Agriculture Case Studies 2021. Projects from Around the World. Rome : Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2021.
22. IPCC. Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, 2022.
23. European Commission. EU Strategy on Adaptation to Climate Change: Forging a climate-resilient Europe. Brussels, 2021.
24. European Commission. The European Green Deal. COM(2019) 640 final. Brussels, 2019. (Важливо для контексту євроінтеграції України).
25. World Bank. Ukraine - Soil fertility to strengthen climate resilience : Preliminary assessment. Washington, D.C. : World Bank Group, 2020.
- Scientific Articles & Carpathian Specifics:
26. Boychenko, S., Voloshyna, N. Climate Change in Ukraine: Trends, Risks and Adaptation Measures in Agriculture. *Journal of Environmental Research, Engineering and Management*. 2020. Vol. 76, No. 3. P. 54–65.
27. Müller, D., et al. Land-use change in the Carpathian ecoregion and its implications for climate adaptation. *Regional Environmental Change*. 2021. Vol. 21. Article 45.
28. Didukh, Y. P. Biotopes of the Carpathian Region and their Adaptive Potential to Climate Change. *Ukrainian Botanical Journal*. 2022. Vol. 79(1). P. 3–14.
29. Olesen, J. E., Trnka, M. Risks and opportunities for agriculture in Europe under climate change. *Biodiversity and Conservation*. 2020. Vol. 29. P. 1361–1382.

30. Lykhovyd, P. V. Rational use of water resources in agriculture under climate change conditions: Ukrainian perspective. *Journal of Water and Land Development*. 2021. No. 49. P. 120–127.
31. Lal, R. Soil organic matter content and crop yield. *Journal of Soil and Water Conservation*. 2020. Vol. 75, No. 2. P. 27A-32A. (Класика по збереженню ґрунтів).
32. Howden, S. M., et al. Adapting agriculture to climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2019. Vol. 104, No. 50. P. 19691–19696.
33. Kruhlov, I. Land Cover Change in the Ukrainian Carpathians: Monitoring and Driving Forces. *Journal of Mountain Science*. 2020. Vol. 15. P. 1–15.
34. Toth, G. Soil quality and climate change synergies in the Carpathian Basin. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2021. Vol. 301. 107067.