

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Агрономічний факультет
Ступінь вищої освіти «Магістр»
Спеціальність 201 – «Агрономія»
Освітньо-професійна програма «Агрономія»

«Допускається до захисту»

Декан агрономічного факультету,
кандидат с.-г. наук, доцент

_____ Олександр МИЦИК
“ _____ ” _____ 2022 р.

**ВПЛИВ АГРОКЛІМАТИЧНИХ УМОВ СТЕПОВОЇ
ЗОНИ УКРАЇНИ НА ВРОЖАЙНІСТЬ ЗЕРНОВИХ
КУЛЬТУР**

Здобувач вищої освіти: _____ Олена ГОЛОВАТАЯ

Керівник дипломної роботи:
доктор с. г. наук, с. н. с., професор _____ Сергій КРАМАРЬОВ

Консультанти:

з економіки
_____ Ігор ПРИХОДЬКО

з охорони праці
_____ Олексій ДЕРКАЧ

Дніпро 2022 рік

Дніпровський державний аграрно-економічний університет
Агрономічний факультет
Ступінь вищої освіти «Магістр»
Спеціальність 201 – «Агрономія»
Освітньо-професійна програма «Агрономія»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Декан агрономічного факультету,
кандидат с.-г. наук, доцент

_____ Олександр МИЦИК
“ _____ ” _____ 2021 р.

ЗАВДАННЯ

на виконання дипломної роботи здобувача вищої освіти

Головатая Олена Іванівна

1. Тема роботи: Вплив агрокліматичних умов степової зони України на врожайність зернових культур

2. Термін подачі завершеної роботи на кафедру «05» лютого 2022 року

3. Вихідні дані для роботи:

с.-г. підприємство – ДУ Інститут зернових культур НААН України;
сільськогосподарські культури – *пшениця озима, ячмінь ярий, кукурудза.*

4. Перелік завдань, які виконуються в роботі:

- аналіз наукових робіт та літератури щодо впливу агрокліматичних чинників на врожайність культур;
- оцінити динаміку опадів і температур в Дніпропетровській області в період вегетації;
- визначити, як змінюється врожайність зернових культур і їх склад в залежності за роками.

5. Перелік ілюстративного та аналітичного матеріалу в таблицях:

- дані щодо температури повітря та ґрунту за період з травня по вересень;
- кількість опадів за вищенаведений період;
- врожайність культур і якісна характеристика врожаю за рівнем виходу протеїну;
- гідротермічний коефіцієнт.

6. Консультанти з роботи із зазначенням розділів, що їх стосуються:

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
5	Економіка д. н. з держ. упр. проф. Приходько І. П.		
6	Охорона праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях – к. т. н., доцент Деркач О. Д.		

7. Дата видачі завдання : _____

Керівник _____
(посада, П. І. Б., підпис)

Завдання прийняв до виконання _____
(група, П. І. Б., підпис)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назви етапів дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
Огляд літературних джерел щодо теми роботи	1.09.21 – 25.10.21	
Умови проведення дослідження	25.10.21 – 31.10.21	
Основна частина	01.11.21 – 20.12.21	
Економічний аналіз	21.12.21 – 31.12.21	
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	01.01.22 – 07.01.22	
Оформлення магістерської роботи, висновки та рекомендації виробництву	08.01.22– 03.02.22	

Здобувач вищої освіти _____
(група, П. І. Б., підпис)

Керівник дипломної роботи _____
(посада, П. І. Б., підпис)

ЗМІСТ

Перелік розділів дипломного проекту	Сторінки
Вступ	8
1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ	11
1.1. Дисбаланс температур та опадів як загроза врожайності і якості товарного зерна	11
1.2. Особливості потреби видів рослин в ефективних температурах та їх динаміка в умовах Північного Степу України з 2010 по 2020 роки	14
1.3. Ґрунтовий клімат та особливості його формування	16
1.4. Класифікація методів прогнозування, що застосовуються при побудові моделей врожайності та для визначення впливу на неї конкретного фактору	17
1.5 Прогнози щодо врожайності, умови їх розробки та застосування, практичне значення для діяльності аграріїв	19
1.6. Побудова статистичних моделей шляхом вибору предикторів з числа відомих вегетаційних індексів, з використанням років-аналогів та на основі приросту біомаси	20
1.7. Гідротермічні умови, звичайне та надлишкове зволоження і інсоляція, оцінка агрокліматичних умов при розробці агрономічних моделей	23
2. Методика проведення досліджень	25
3. ОСНОВНА ЧАСТИНА	28
3.1 Аналіз агробіологічних умов, що обумовлюють опосередкований вплив на зернові культури Дніпропетровщини	28
3.2. Динаміка врожайності зернових та олійних культур в розрізі 2019–2021 років на Дніпропетровщині	33

3.3. Оцінка та аналіз врожайності основних зернових культур Дніпропетровщини за 2016–2018 роки та основні агротехнологічні чинники в цей період	38
3.3. Теоретичне підґрунтя створення прогностичної моделі за допомогою засобів програмного забезпечення MS Excel	42
3.4. Розробка регресійних рівнянь та їх подальше застосування	44
3.5. Запропоновані ситуації для використання моделі	46
4. Аналіз впливу змін агрокліматичних умов на продуктивність агроценозів зернових культур	48
5. Економічна ефективність використання даних агрометеорологічних умов при прогнозуванні врожайності зернових культур	52
6. Безпека праці в умовах вирощування зерна	54
ВИСНОВКИ	56
Рекомендації виробництву	58
Список літератури	59

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ

- NDVI – нормалізований вегетаційний індекс
- VCI – індекс стану вегетації
- TCI – індекс стану температури
- ГТК – гідротермічний коефіцієнт Селянинова
- ВП – вихід протеїну в кг на 1 га
- СТГ – середня температура ґрунту
- ВГ – вологість ґрунту
- ОП – опади, мм

РЕФЕРАТ

Дипломна робота викладена на 65 сторінках, містить 13 таблиць, 2 графіки і рівняння регресії. Опрацьовано 54 літературних джерела.

Об'єктом досліджень є врожайність зернових культур та її якісні показники в залежності від мікрокліматичних умов зони Степу України, які на даний час характеризуються значним потеплінням, перенасиченням вологою на початку літа та її дефіцитом навесні та в другій половині літа, що узгоджується з прогнозами міграції кліматичних зон.

Дане питання є актуальним внаслідок різкої зміни кліматичних умов, які обумовлюють значне коливання реалізації генетичного потенціалу врожайності рослин, оскільки надлишок ефективних температур та недостатня кількість опадів зумовлює дефіцит природних ресурсів (найбільше вологозабезпечення) для формування зерна в період трубкування і колосіння пшениці та ячменю та викидання волоті у кукурудзи.

Для цього проаналізовано динаміку температур повітря та ґрунту, визначено суму опадів за часовий проміжок, який охоплює термін вегетації та його критичні періоди, охарактеризовано врожайність зерна, кількість протеїну та сирого жиру з метою визначення і обґрунтування оптимального часу для посіву насіння.

Встановлено, що для зернових є доцільним більш ранній посів з метою мінімізації негативного впливу літніх екстремальних температур та спеки, яка супроводжується падінням зволоженості ґрунту і внаслідок цього формуванням зернівки меншої маси.

Ключові слова: ВОЛОГОЗАБЕЗПЕЧЕНІСТЬ, СУМА ЕФЕКТИВНИХ ТЕМПЕРАТУР, ВРОЖАЙНІСТЬ ЗЕРНА, ПШЕНИЦЯ ОЗИМА, ЯЧМІНЬ, КУКУРУДЗА, ЗОНА СТЕПУ УКРАЇНИ, ГІДРОТЕРМІЧНИЙ ІНДЕКС СЕЛЯНИНОВА, ПРОТЕЇН, ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ

ВСТУП

Актуальність теми. Підвищення врожайності сільськогосподарських культур є важливим для росту рентабельності виробництва, забезпечення продовольчої безпеки держави та вдосконалення існуючих сортів та гібридів. З огляду на те, що за останні десятиліття значно прискорилось глобальне потепління, все частіше спостерігаються неочікувано теплі зими без снігового покриву, аномальні весни з затяжною дощовою погодою, екстремально високі температури влітку, відсутність або надмірна кількість атмосферних опадів влітку, врожайність культур має значну амплітуду коливань.

Агрокліматичні ресурси України суттєво коливаються в залежності від географічного розташування земельних угідь. Зона Степу на даний час має найбільш цінні чорноземні ґрунти, збалансовані за вмістом в них рухомих форм поживних речовин і агрофізичними показниками гранулометричного складу. Вони відзначаються оптимальною волого- та теплоємністю, насичені повітрям та позитивно реагують як на сонячне тепло, так і на опади. Але з огляду на те, що різка зміна умов зволоження та постачання тепла потребує аналогічної адаптації рослин до кліматичних змін, і тому є доцільним визначити, які саме показники температур повітря та поверхневого шару ґрунту прискорюють ріст та розвиток культур, що є важливими для забезпечення продовольчої безпеки України.

Тому актуальним є прискорене визначення показників врожайності як зернових колосових, так і олійних культур. Прогнозування врожайності, виходу протеїну та сирого жиру в перерахунку на 1 гектар в залежності від суми ефективних температур, кількості опадів впродовж початкових фаз вегетації та в період колосіння, за умови отримання бездефіцитного балансу гумусу в ґрунтах дозволить завчасно і з великою ймовірністю достовірності оцінити дані показники.

Мета і завдання досліджень.

Для виконання мети досліджень потрібне вирішення наступних завдань:

- оцінка мікрокліматичних факторів, що здійснюють вплив на ріст і розвиток рослин впродовж вегетаційного періоду зернових культур на протязі травня – вересня;
- розрахунок гідротермічного коефіцієнта Селянинова (ГТК);
- обчислення врожайності зерна в перерахунку на одиницю площі та кількості протеїну, що визначає біологічну цінність зернових культур;
- знаходження взаємозв'язків та розрахунок рівняння регресії, що вказує на залежність між ГТК та виходом протеїну з одиниці посівної площі;
- визначення економічної ефективності розробки.

Об'єкти досліджень – врожайність та кількість протеїну зернових культур Дніпропетровщини, агробіологічні фактори (температура повітря та ґрунту, зволоженість), ГТК.

Методи досліджень – агробіологічні, метеорологічні, хімічні, математичні, статистико-економічні.

Опрацювання й узагальнення результатів дослідів та спостережень проводилося самостійно та за науково-методичною допомогою керівника дипломної роботи.

Наукова новизна полягає в тому, що вперше:

- визначено вплив агрокліматичних умов Дніпропетровської області на врожайність зернових культур в період глобального потепління та переміщення кліматичних зон;
- розраховано вихід протеїну в залежності від врожайності за посушливих та помірних умов вегетаційного періоду;
- обчислено коефіцієнт Селянинова та встановлено, що він значно зменшився у порівнянні з даними 1980-х років, що вказує на перехід зони Степу в більш посушливу;

- розроблено рівняння регресії, яке вказує на прямий взаємозв'язок між кількістю сирого протеїну та рівнем ГТК: при зменшенні ГТК відбувається пропорційне зниження протеїну.

Практичне значення одержаних результатів. Для мінімізації впливу негативних умов клімату (надмірне зволоження або екстремальні денні температури) буде превентивним заходом застосування необхідних технологічних методів та агротехнічних заходів, що будуть сприяти найкращій реалізації наявного генетичного потенціалу насіннєвого матеріалу сортів як вітчизняної, так і зарубіжної селекції. Для цього слід перенести строки сівби для проходження критичного періоду росту і розвитку в сприятливий за ГТК період, проводити штучне зволоження для підтримання ГТК на рівні 0,7–1 одиниць.

Особистий внесок здобувача полягає у розробці теми та напряму досліджень, аналізі та узагальненні літературних джерел, обчисленні даних щодо ГТК, протеїну та рівняння регресії, економічної ефективності.

Апробація роботи проводилася на Всеукраїнських конференціях ДУ ІЗК НААН (25.02.2021 р.) «Роль науково-технічного забезпечення розвитку агропромислового комплексу в сучасних ринкових умовах»: матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції та ІХ науково-практичній конференції молодих вчених «Актуальні проблеми агропромислового виробництва України» (с. Оброшине, 12 листоп. 2020 р.).

Публікації. Частково матеріали роботи опубліковані в двох наукових роботах, виданих у збірниках за матеріалами конференцій.

Структура та обсяг роботи. Загальний об'єм дипломної роботи 65 сторінки, опрацьовано 54 літературні джерела, є 13 таблиць, 2 графіки і одне рівняння регресії.

Дані аспекти обумовлювали вибір теми магістерської дипломної роботи з огляду на те, що різке нарощування суми температур в початковий період вегетації та під часу наливу зерна і неочікувані зміни клімату негативно впливають на врожайність культур, а, отже, слід заздалегідь уникнути зниження показників врожайності.

1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

Різке глобальне потепління, яке набирає швидкість за останні десятиліття, свідчить про те, що настав час зміни геокліматичних поясів планети. За останні 10 років середня швидкість росту температур досягла в Україні приблизно 0,8–1,5 °C [53., 14.] і може наростати в арифметичній прогресії надалі, що не може не викликати тривогу аграріїв та вчених агрономічної науки. З огляду на це вчені визначають, як дані фактори впливають врожайність культур та розроблюють методи, що допомагають нівелювати несприятливі для росту і розвитку рослин умови.

Біокліматичний потенціал Степу України суттєво змінився. На даний час відбулося значне потепління, яке супроводжується надмірним або незначним зволоженням ґрунту, що потребує більш жорсткого районування гібридів соняшнику та сортів зернових культур та обумовлює потребу в моделюванні їх розрахункових врожаїв, виходячи з даних агрокліматичної оцінки.

1.1. Дисбаланс температур та опадів як загроза врожайності і якості товарного зерна

Про це свідчить значна спрямованість робіт науковців, які досліджують гідротермічні фактори та їх вплив на ріст і розвиток культур, врожайність. Зокрема від дисбалансу температур та кількості атмосферних опадів, яка може досягати до 300–400 % та більше за місяць або знижуватись до 50 % від місячної норми, потерпають ярові колосові культури та кукурудза. Причиною цього є як нестача вологи для росту та розвитку кореневої системи, так і надлишкове зволоження, яке спричиняє набухання генеративних частин рослин, проростання зерна в колосі та інше.

Про це повідомляють роботи Гирки А. Д. [4., 5.], Черенкова А. В. [3.], які вказують на те, що для успішного вирощування культур у зоні Степу

України потрібно зважати на гідротермічні чинники та застосовувати технологічні заходи, які будуть сприяти мінімізації випаровування вологи з поверхні ґрунту (наприклад, мульчування пожнивними залишками на кшталт соломи чи подрібнених стебел культур).

Про небезпеку збільшення температури вказує Кульбіда М. [6.], який наголошує на тому, що глобальне потепління хоча може зумовити ріст загальної продуктивності агроценозів пшениці, але погіршить показники концентрації білку і кількості клейковини в зерні. Це, в свою чергу, негативно вплине на торгівельні прибутки країни, яка буде реалізовувати продовольче зерно за зниженими на 10–30 % цінами.

Розподіл опадів, тепла та вологи відбувається за кількома моделями агрокліматичного районування. Загальні риси за зонами окреслюють масштабні моделі, які охоплюють кілька регіонів або навіть країну. Але більш цікавим є розподіл за макро- чи мезорайонами, які мають риси, характерні для обмеженої території. Останні залежать від абіотичних факторів, кліматичних чинників та на їх основі науковці розроблюють науково обґрунтовані рекомендації щодо адаптивного рослинництва на територіях певної області або району.

Якщо порівняти генетичний потенціал врожайності сорту чи гібриду певної культури з тими, що отримують виробничники, то ми бачимо, що він реалізується лише на 50–70 % від наявного. Одна з причин – неврахування агробіологічних та агрокліматичних ресурсів локального об'єкту землевпорядкування, використання технологій, що підходять для іншого локального району чи регіону.

Тому використання біокліматичного потенціалу певної зони має допомогти якнайкраще реалізувати генетичний потенціал продуктивності врожайності культури, якщо розроблювати та застосовувати фізико-статистичні моделі щодо взаємозв'язків клімату та врожайності, як про це зазначають Міщенко З. А. та Кирнасівська Н.В. [14.].

Вищенаведені науковці зазначають, що найбільш цікавим є теплий період року за сумами активних температур понад $+10^{\circ}\text{C}$. В цей час слід визначати та аналізувати сумарну сонячну радіацію, тривалість сяяння сонця, враховуючи кількість днів вегетаційного періоду. Радіаційно-теплові та світлові ресурси картують, використовуючи точкові дані агрометеорологічних станцій, на основі яких створюють агрокліматичні карти. Інтерполяційно розглядається можливість розрахунку похибки для прогнозування відхилень з огляду на добову амплітуду коливань температури, річних мінімумів та максимумів.

Особливо це важливе для визначення активної радіації, розподілу ізоліній з урахуванням рельєфу конкретної місцевості. Чим меншим є перепад висот, тим більш точним є прогноз щодо агрокліматичних ресурсів конкретної зони. Так, наприклад, за даними Міщенко та Кирнасовської, Дніпропетровщина, Донецька, Кіровоградська, Запорізька та частково Київська і Полтавська області відносяться до південного теплого макрорайону, де тривалість температур понад $+10^{\circ}\text{C}$ досягає 180–188 діб, а середня кількість ефективних температур 3200–3400 $^{\circ}\text{C}$.

Але з огляду на те, що середньодобова температура змінюється, на півдні Дніпропетровщини зафіксовано перехід до південного дуже теплого макрорайону, який дослідники характеризують 3400–3650 $^{\circ}\text{C}$ суми ефективних температур та тривалістю періоду, де добова температура перевищує 10°C , 188–196 діб.

Все це обумовлює визначати, які біологічні потреби сільськогосподарських культур слід задовольняти і розподіляти їх за потребами та строками стиглості (ранньо-, середньо- та пізньостиглі), тривалістю вегетаційного періоду в певних макро- чи мікрорегіонах України, роблячи прив'язку до агрокліматичних карт.

Умови зволоження, потенційна небезпека щодо весняних заморозків є важливими параметрами агрокліматичних моделей при вирощуванні олійних

та озимих зернових культур. Найбільш сприятливим є розташування на рівнинних землях, де є достатня зволоженість та освітленість.

1.2. Особливості потреби видів рослин в ефективних температурах та їх динаміка в умовах Північного Степу України з 2010 по 2020 роки

Зміна температур в подальшому вплине на районування сільськогосподарських культур, адже в залежності від сорту чи гібриду, виду, рослини потребують різної суми активних температур. Так, для ярої пшениці вона коливається в межах 1200–700 °С, для ярового ячменю – в діапазоні 950–1450 °С. Значна мінливість потреби кукурудзи у теплі визначається показником, що знаходиться на проміжку від 1100 до 2900 °С. Соняшник потребує в середньому 2000–2300 °С для дозрівання зерна.

Північний Степ раніше охоплював регіони, які відзначалися сумою активних температур на проміжку 2900–3300 °С. Але з ростом потепління відбулося певне накопичення теплозабезпеченості, тому з'явилася нагальна потреба у ретельному підборі культур для кожного регіону. Також, як наголошують дослідники, зміна кількості отриманого тепла розширює кількість певних шкідників, яким для росту і розвитку одного покоління потрібно забезпечити отримання від 400 до 1300 °С ефективних температур.

Теплозабезпеченість культур визначається за середнім рівнем активних та ефективних температур. Але в умовах континентального клімату слід враховувати добову ритміку температур вночі та вдень для визначення впливу термічних ресурсів. Термоперіодизм тісно пов'язаний з процесами розвитку рослин: у рослин короткого дня розвиток відбувається переважно при підвищених нічних температурах, довгого дня – за протилежних умов, коли вдень збільшені температури.

Термоперіодизм і фотоперіодизм, як діючі механізми, визначають розвиток та врожайність культур. Встановлено, що культурні сорти краще реагують на підвищені денні і знижені нічні температури, за умови, що ті

знаходяться в певних оптимальних межах. Відбувається це таким чином: асиміляція проходить вдень, коли накопичується органічна речовина, а вночі протилежний процес затримується, оскільки при знижених температурах уповільнюється дихання.

Це слід враховувати при оцінці вегетаційного періоду багатьох культур. Прискорення розвитку рослин пов'язане саме зі зростанням кількості денних та спаданням суми нічних температур. Так, за даними Олейникової Т. В. та Міщенко З. А., для ярої пшениці в період вегетації оптимальною є температура денна 18–20 °С, нічна – 6–10, на стадії репродукції – 21–23 та 10–12 °С відповідно.

В. С. Шевелуха з співавторами зазначають, що для озимої пшениці, ярого ячменю та кукурудзи аналогічно в період вегетації ці температури складають 17–19 і 6–8, 18 і 6–10, 22–24 і 10–12 °С. В репродуктивний період дані показники коливаються відповідно для вищенаведених культур 22–24 і 9–11, 20–22 та 8–10, 24–26 і 10–12 °С.

Є прямий та опосередкований методи підрахунку температур, що оснований на даних сітки метеорологічних станцій. Прямий метод є більш складним, оскільки він пов'язаний з обчисленнями тривалості доби, коли температура перевищує середньодобовий рівень або дорівнює йому. Опосередкований метод дозволяє визначити показник, виходячи з мінімальних чи максимальних добових температур, помножених на коефіцієнт в межах 0,90,96, з відніманням від 2 до 3,5 одиниць.

Завдяки цьому можна побудувати емпіричні залежності між температурою о 13 годині та денною, оскільки дані показники тісно взаємопов'язані між собою на протязі всього року. Дані суми також біологічно характеризують зв'язки теплового забезпечення з фото- та термоперіодизмом, які визначають розвиток, врожайність, кількісний та якісний склад отриманого врожаю. Тому даний показник рекомендовано застосовувати для оцінки наявності теплових ресурсів та забезпеченості рослин.

Біокліматична оцінка теплових ресурсів особливо цінна з огляду на комплексне районування на території України. Г. В. Ляшенко, ущільнивши агрокліматичну інформацію та застосувавши кореляційно-регресійний аналіз, побудувала ізолінії, вказавши тривалість теплих періодів та межі переходу максимальної та мінімальної денної та нічної температури восени та навесні.

1.3. Ґрунтовий клімат та особливості його формування

Ґрунтовий клімат є визначальним для реалізації генетичного потенціалу врожайності. На нього впливають кілька чинників, з яких найбільш важливими є такі, як:

- атмосферний клімат, рослинний та сніжний покриви;
- механічний склад ґрунту, рельєф та розташування схилів;
- глибина розташування підземних водних ресурсів.

При розгляді ґрунтового клімату визначають та характеризують до 25 см поверхневого шару землі, де розташована більша частина кореневої системи рослин. Потім оцінюють шари ґрунту від 25 см до 1 м. Сонячна енергія поглинається поверхневими шарами ґрунту, перетворюється в теплову і поступає вглиб. Вночі відбувається протилежний процес, тому поверхня ґрунту охолоджується. Обидва процеси визначають загальний тепловий режим.

Для теплової характеристики ґрунту використовують об'ємну теплоємність, коефіцієнти тепло- та температуропровідності. Останній коефіцієнт впливає на добові та річні коливання температури, але залежить від вологості ґрунту та кількості повітря в ньому. Об'ємна теплоємність також зростає поряд зі збільшенням продуктивної вологості ґрунту.

Механічний склад ґрунту має значне агрокліматичне значення. Так, якщо для суглинистих ґрунтів з важким гранулометричним складом характерні висока вологоємність, незначна повітропроникність та дефіцит

повітря, що характеризує їх як холодні, то, навпаки, середньо- та легкосуглинисті ґрунти мають сприятливі водно-фізичні властивості.

Дніпропетровщина за цими показниками відноситься до 4 та 5 агрокліматичних районів в орному шарі ґрунту та у повітрі на рівні метеорологічної будівлі. Гранулометричний склад вказує на те, що ґрунти регіону найбільш цінні з огляду на баланс температур, повітро- та водопроникність. Тому тепловий режим орного шару ґрунту доцільно використовувати для визначення строків обробітку ґрунту, вибору оптимального часу посіву зернових та олійних культур.

Мікрокліматична залежність температур ґрунту понад 10 °С Дніпропетровщини, що належить до 4 та 5 макрорайонів, від гранулометричного складу, коливається від абсолютних мінімальних значень 2760–2960 до максимальних 3460–3660 °С. Тому побудова регіональних моделей мікроклімату, що є особливо важливим на ділянках, де присутня певна плямистість за гранулометричним складом, є одним з напрямків сучасних наукових програм та досліджень.

Дані також застосовують у прикладних аспектах, а саме – у сільськогосподарському виробництві, при плануванні певних бізнес-планів та виборі типу культур з огляду на агрокліматичні умови локального району, незначного за площею.

1.4. Класифікація методів прогнозування, що застосовуються при побудові моделей врожайності та для визначення впливу на неї конкретного фактору

Прогнозування впливу певного фактору або кількох чинників на залежний показник обумовлює вибір дослідником методу прогнозування [18.]. В агрономії більш за все використовують аналітичний та фактографічний методи (за Сухарьовим), а саме:

- експертний логічний аналіз;

- безпосередній екстраполяційний та інтерполяційний аналіз;
- розробку регресійних моделей.

Ретроспективна статистика є основою побудови математичних моделей. Завдяки отриманим факторіальним даним є можливість розрахунку конкретної реакції та її числового вираження. Побудова сценарію також може відбуватися на основі попередніх досліджень. Безпосередню екстра- та інтерполяцію можна розглядати як попередній етап досліджень, з тим, щоб надалі його уточнити. Доповнює їх регресійний аналіз, що базується на визначенні певного показника, що залежить від одного або кількох інших незалежних факторів. Змінні (або функції) вибирає дослідник, орієнтуючись на власний досвід та дані, що отримані попередніми науковцями.

Наприклад, врожайність колосової культури в певному регіоні можна спрогнозувати за природними умовами регіону, кількістю опадів, якістю та кількістю насінневого матеріалу, показниками обробки ґрунту, наявності в ньому рухомих форм поживних речовин та дотриманням агротехнічних заходів. Для цього якісні фактори також мають бути переведені в кількісний формат. Залежна величина має назву предиктору, а компоненти вектору X – регресорами або прогнозними змінними. Особливу важливість має підбір регресорів (складових вектору x), від яких залежить цінність моделі.

Емпіричні або експериментальні дані на етапі розробки регресійної моделі є підґрунтям «математичного очікування». Іноді в такому випадку чітко спрацьовують лінійні рівняння регресії, якщо коефіцієнт кореляції за двома показниками знаходиться на рівні 0,5 одиниць та більше. Але у більшості випадків дослідник застосовує кілька незалежних величин, які певною мірою впливають на результат.

Інші вчені, такі, як Трубілін А. І., Петрик Г. Ф. та Прудніков А. Г. [19.] для прогнозування врожайності наголошують на необхідності визначення похибки, яка базується на результатах за кілька років між розрахованими та фактичними даними. В ідеалі даний показник має бути рівним 1. Але дані

автори вважають аномальними фактори, що обумовлюють недобір врожаю на кшталт посухи, значних злив, різкого перепаду температур та інше.

Надійність прогнозу обумовлена реалізацією сценарію, який він математично моделює. Чим краще модель описує дійсні умови, тим більш доцільно використовувати їх на виробництві. Похибка середньострокового планування на проміжок до 5 років не має перевищувати 15 %, довгострокового – 5 % (з урахуванням саме середніх показників).

1.5. Прогнози щодо врожайності, умови їх розробки та застосування, практичне значення для діяльності аграріїв

Прогнози щодо врожайності зернових і олійних культур, кукурудзи розробляють, враховуючи коефіцієнти регресії та співвідношень врожайності, їх біологічні особливості. На Дніпропетровщині опади в липні, коли збирають озиму пшеницю та ячмінь, збільшують втрати та знижують врожайність за умови, що збір проводять непрямим комбайнуванням, а скошені стеблини формують валки. Втрати можуть досягати 10–15 %. Але для кукурудзи опади в першій половині липня вкрай важливі, адже в цей час іде інтенсивне формування качанів.

Як показали результати, отримані дослідниками, найбільш точними є дані, отримані за кілька десятиліть (мінімум 1–2), при цьому вищесередня врожайність приблизно на 10 % більше середньої величини, а нижчесередня – на 5 % менше. Сингулярноспектральний аналіз дозволяє виділити складові ряду: аддитивна модель зі змінною компонентою, що характеризує вплив довготермінових факторів, а циклічна відображає вплив тимчасових та випадкових чинників.

Дані моделі доцільно розробляти для певного агрорайону, виконуючи групування за кількістю площ сіяних культур та їх врожайністю. Економічну оцінку ріллі проводять за балами бонітету, оцінюють питому вагу кількості базового насіння та першої репродукції, посівних площ угідь, засіяних

культурами (або їх співвідношенням), кількість внесених мінеральних добрив. Виходячи з цих даних, науковці розраховують, яка може бути врожайність культур.

Розрахунки на основі кореляційно-регресійного та кластерного аналізів при таких умовах показують, що аграрії мають значний резерв підвищення врожайності. Це, в свою чергу, є важливим виробничо-економічним маркером, який допомагає визначити, чи буде успішною модель ведення господарчої діяльності чи розробленого бізнес-плану, будь-якого сценарію розвитку або функціонування аграрної фірми та виробництва. Дані показники застосовують науковці Башкирського ДАУ і пропонують розповсюдити їх в агроформуваннях з аналогічними умовами клімату та подібними ґрунтами.

1.6. Побудова статистичних моделей шляхом вибору предикторів з числа відомих вегетаційних індексів, з використанням років-аналогів та на основі приросту біомаси

Статистичні моделі також будують, використовуючи дані супутникового моніторингу, що представлені у вигляді вегетаційних індексів. Найбільш відомим з них є NDVI, який відображує різницю потоків відбиття сонячної радіації у діапазоні видимого та близького інфрачервоного світла. Вегетаційні індекси, що характеризують стан розвитку та наявності рослинності, мають високе просторове розширення і є водночас кумулятивними показниками, які показують інтегральну картину розвитку рослинного покриву.

Також є похідні індекси від NDVI – VCI та TCI, які уточнюють значення кожного пікселю під час конкретного часового проміжку. Для них найбільш прийнятими є мінімальне та максимальне значення NDVI, яке було зафіксоване під час спостережень. При цьому, якщо показник VCI наближується до нуля, це свідчить про умови, які вкрай стресові для рослин.

Найбільш сприятливими є умови, коли VCI дорівнює 1 або наближений до цього рівня.

Американські науковці Центру CENSCS активно застосовують їх у своїй роботі, визначаючи активні тренди та аномалії. Так, вони виключають з прогнозних рішень лінійні та квадратичні графіки, а при виборі предикторів користуються кількома методами.

Найбільш активно застосовується феноменологічний метод, який тісно корелює з предиктантом, що, в свою чергу, визначається послідовністю відносних аномалій врожайності культур. Останній показник тісно пов'язаний з реальною та очікуваною трендовою врожайністю. Другий метод, так званий «квазікроковий», базується на взаємозв'язку вегетаційного індексу, який обирають в якості першого предиктора, та інших предикторів, які відбирали за принципом Ст'юдента, відзначаючи їх статистичну вірогідність на рівні не менше 75 %. Пошук останніх предикторів продовжувався до кількості 6 одиниць, але потім відбувався зворотній процес розрахунку, коли залишали найбільш важливий (або кілька найбільш важливих).

Найбільш простим є спосіб побудови кількох регресійних залежностей, починаючи від звичайних двофакторних (зазвичай лінійних) і закінчуючи багатфакторними (зазвичай, американські науковці максимально аналізують лише 6 факторів). Чим більше змінних в рівнянні регресії, тим більша кількість рівнянь розроблюється. Залежності також аналізуються за принципом взаємозв'язку між вегетаційними індексами та аномаліями врожайності.

На їх основі формується заключна регресійна модель і на основі на кшталт температурного індексу TCI робляться висновки щодо очікуваної врожайності. Для використання є доцільними як окремі індекси, що стосуються початку вегетаційного року, так і індекси, які відносяться до весняного періоду.

Метео-умови є одним з факторів, яким дослідники приділяють увагу. При цьому аналіз посівів проводять за прямими ознаками, але вторинні ознаки враховують за розвитком рослин. Якщо в цей процес втручається неоптимальний фактор (екстремальний), погіршується динаміка індексу. Вони мають неоднаковий вплив на культуру в межах одного вегетаційного сезону – наприклад, на ярову мінімальний, на озиму – максимальний.

Таким чином, на основі NDVI на протязі вегетаційного сезону, в залежності від лінії тренду, можна також спрогнозувати, який буде врожай цього року. Цей принцип також базується на використанні методу років-аналогів, коли розвиток рослин порівнюють з врожайністю.

Доцільним для оцінювання є також метод, коли науковці порівнюють щоденний приріст біомаси з початку вегетаційного сезону на конкретному полі. Суть даного методу полягає в оцінці, як сонячна радіація потенційно впливає на розвиток рослин. Максимально можливий ріст можуть обмежувати температурні умови, надлишок радіації та дефіцит вологи, що враховуються в даному аналізі. Доступність елементів мінерального живлення, кількість шкідників та збудників хвороб в цьому випадку не враховуються, як прямі, а лише як опосередковані критерії, що звужують площу асиміляційного апарату.

Дані обчислення виконують наступним чином: будують маски ділянок з посівами, потім моделюють нарощування біомаси і розраховують середньозважену величину накопиченої біомаси та порівнюють з середньою врожайністю. Вона зазвичай відрізняється від аналогічних статистичних даних по регіону, але втрати врожаю автори списують на те, що певна кількість втрачена при зборі, транспортуванні чи інших причинах. Таким чином можна контролювати якість статистичної інформації та перевіряти врожайність на окремо взятому агропідприємстві, щоб потім шукати шляхи зниження втрат.

Окрім того, прогнози щодо очікуваного рівня врожаю надають можливість планувати структуру посівів з огляду на те, яка культура дасть

максимальний прибуток внаслідок співвідношення цін та сумарного збору врожаю.

1.7. Гідротермічні умови, звичайне та надлишкове зволоження і інсоляція, оцінка агрокліматичних умов при розробці агрономічних моделей

Гідротермічні умови середовища разом з температурними показниками навколишнього середовища є одними з визначальних факторів формування врожайності культур. Але якщо для озимих культур є важливими як періоди формування кореневої системи після посіву, восени, так і періоди після настання теплого періоду року, коли відбувається ріст стебла і формування колосу, налив зерна, то для ярових культур, кукурудзи та соняшнику важливим є період від посіву, що відбувається навесні до середини-кінця літа.

Саме тому вони є більш чутливими до умов зволоження та інсоляції, оскільки від цих показників мікроклімату залежить ріст генеративних та репродуктивних органів. Тому застороги вчених щодо глобального потепління науковцям-аграріям слід розглядати в напрямку створення сортів та гібридів сільськогосподарських культур, що адаптовані до стійкої спеки з підвищенням температури до +40 °C, періодичних злив впродовж 15–30 днів, коли кількість опадів перевищує середньомісячну норму в 3–5 разів і більше.

Саме в таких випадках необхідно застосовувати досвід країн, які вирощують аналогічні культури в схожих умовах та отримують при цьому високі врожаї. Зрозуміло, що для запобігання випаровування води з орного шару ґрунту необхідно запобігати цим втратам шляхом застосування мульчування, внесенням оптимальних норм органічних та доз мінеральних добрив.

Але в умовах надлишкового зволоження слід також йти шляхом призупинення збільшення кількості вологи – можливо, на непромивних

грунтах забезпечити дренажування або ввести вологопоглинаючі домішки, які шляхом накопичення вологи в собі зможуть бути своєрідними резервами води в посуху.

Попри це, дослідники мають враховувати зміни клімату і за допомогою засобів обчислювального програмного забезпечення оцінювати можливі ризики при плануванні перспективного плану посівів та очікуваних врожаїв в конкретному регіоні.

Для Дніпропетровщини, яка є одним з провідних регіонів України щодо отримання врожаю зернових, олійних культур та кукурудзи (доказ цього – копітка праця провідного наукового Центру – Державної установи «Інститут зернових культур НААН» та науковців агрономічного факультету Дніпровського державного аграрно-економічного університету саме в Дніпропетровській області та в регіонах, що є її сусідами) оцінка агрокліматичних умов є одним з важливих чинників підтримання ділової репутації держави як одного з світових виробників продовольчої продукції рослинництва.

Про це в своїх роботах опосередковано або в цілому зазначають такі науковці, як Мицик О. О. та Крамарьов С. М., Черчель В. Ю. і Гирка А. Д., Сатарова Т. М. та Ярчук І. І. Тому приділення уваги в цьому аспекті кліматичним змінам та спроби прогнозування їх впливу на врожайність рослин, що мають вирішальне значення для забезпечення продовольчої безпеки є важливим напрямком роботи науковців, дослідників та виробників до часу стабілізації клімату та встановлення певної рівноваги між показниками врожайності рослин, їх стресостійкістю та виживаністю, економічною ефективністю.

2. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

Визначення впливу агрометеорологічних умов на врожайність зернових культур та розробка алгоритму проводилась за допомогою сучасного програмного забезпечення MS Excel. Дані щодо врожайності культур – результати як фактичного збору врожаю за період 2019–2021 років, так і врожайності на одиницю площі на Дніпропетровщині (за даними департаменту агропромислового розвитку м. Дніпра).

Інформацію за погодно-кліматичними умовами (кількість опадів та рівень температур) отримано з сайтів, які ілюструють погодні умови на протязі даного періоду в регіоні.

Дані щодо динаміки температур повітря та ґрунту, кількості опадів та вологості ґрунту отримано з ресурсів «Pogoda360» (посилання <http://ukraine.pogoda360.ru/884320/avg/>) та незалежного сервісу «Метео Фарм». Врожайність оцінюваних культур – фактичні дані сервісу Latifundist.com за статистичною інформацією, наданою Департаментом агропромислового розвитку.

Застосовували розрахунок ГТК (гідротермічного коефіцієнту Селянинова Г. Т.), який визначає співвідношення між вологою та теплом, характеризуючи зону за рівнем вологозабезпеченості ґрунту з точки зору придатності для вирощування певних культур і визначається за класичною формулою:

$$\text{ГТК} = R \times 10 / \Sigma t,$$

де R – сума опадів в мм за період вегетації з температурами понад $+10$ °С, Σt – сума температур за вказаний період. Згідно Селянинову Г. Т., ізолінія, що характеризує насиченість вологою центральних регіонів України, які за географічним положенням та кліматичними умовами були традиційно виробниками зернових та олійних культур, коливається в межах 0,7–1. В період з 2019 року помітним стало різке потепління даних регіонів, до яких належить і Дніпропетровщина.

Для аналізу використовували термін, який є найбільш актуальним для вегетації та репродуктивного періоду у рослин, а саме – часовий проміжок, що охоплює травень – вересень.

Аналіз температур та вологості ґрунтів Дніпропетровської області було зроблено в розрізі 2019–2021 років за даними ресурсу «Метео Фарм», при цьому враховували середні показники за період інтенсивної вегетації культур в часовому проміжку з травня по вересень і розраховували середнє за даний період часу по рокам.

Кількість протеїну визначали методом К'ельдаля та даними ДУ ІЗК НААН та табличними даними Томме М. Ф., сумарну кількість виходу протеїну з 1 га – аналітичним методом.

Розрахунок ефективних температур проводився за формулою:

$$X = (T - 4) \bullet t,$$

де X – сума ефективних температур; T – температура навколишнього середовища; 4 – константа, що визначає біологічний нуль і t – кількість годин або днів з температурою, яка перевищує поріг розвитку культури. Методика визначення викладена на сайті Таврійського державного агротехнологічного університету ім. Д. Моторного за посиланням <http://www.tsatu.edu.ua/ros1/wp-content/uploads/sites/20/ahrometeorolohija-lr5.pdf>.

Схема послідовності алгоритму дій щодо прогнозу врожайності та якісних показників культур розроблена автором. Для локального уточнення прогностичних результатів користувачам є сенс придбати професійну метеостанцію (середня вартість, в залежності від кількості функцій та призначення, коливається в межах 6,5–45 тис. гривень), щоб після накопичення масиву даних за певний проміжок часу (2–3 роки та більше) мати можливість розробити власний прогноз агропідприємства, точність якого буде досягати 90–95 % в межах 25–50 км від точки встановлення метеостанції.

Обробка даних проводилася за допомогою вбудованих операторів «Аналіз даних» MS Excel, а саме – «Регресія». За допомогою оператора

«Регресія» розроблено багатофакторне прогностичне рівняння регресії, в таблиці MS Excel проведено пробне тестування.

Під час написання дипломної роботи використовували навчальні посібники Доспехова Б. А. [9.], видання «Клімат України» [16.] за редакцією Ліпінського В. М., інформацію щодо врожайності культур [22.], рекомендації Сорокіна О. Д. [26.] відносно застосування сучасних засобів ПК у прикладній статистиці.

3. ОСНОВНА ЧАСТИНА

3.1 Аналіз агробіологічних умов, що обумовлюють опосередкований вплив на зернові культури Дніпропетровщини

В процесі створення моделі, яка аналізується комплексом взаємопов'язаних формул (рівнянь регресії), є доцільним застосування розрахункових даних ГТК Селянинова (формулу процитовано в методиці досліджень), який вказує на вологозабезпеченість певних регіонів і опосередковано впливає на врожайність культур. Як доводять дослідження вчених за останній час, в Україні даний індекс суттєво зменшився та відбулася певна міграція кліматичних зон, що особливо позначилося на центральних регіонах країни (Дніпропетровщина, Запорізька область, частково Кіровоградська, ін.).

За даними, наведеними в [метеографії «АгроПогода України»](#), ми можемо розглядати динаміку змін температури Дніпропетровської області як у повітрі, так і ґрунті, на протязі останніх років з 2019 по 2021 рік (інформація на порталі наведена в режимі реального часу і охоплює проміжок з 2010 року до 2021).

Оскільки нас найбільш всього цікавить час, на який припадає період інтенсивної вегетації культур (формування стебла, послідує утворення і налив зернівки), то є сенс розглядати період з травня по вересень: якщо у липні закінчується збір зернових, то збір кукурудзи на зерно розпочинається тільки у вересні.

В таблиці 1 ми розглянемо місячну динаміку середніх температур ґрунту та його вологості, кількість опадів за вищенаведений проміжок часу (з травня по вересень) та в цілому за рік. Обчислено також середній показник температур за 5 місяців весняно-літньо-осіннього періоду, в який відбувається формування зерна.

Динаміка показників температури 0С та вологості ґрунту і кількості опадів

Показник	Роки		
	2019	2020	2021
Середня температура ґрунту, 0С:			
травень	18	15	16
червень	24	22	20
липень	23	24	25
серпень	23	24	26
вересень	18	20	17
За 5 місяців в середньому	21,2	21	20,8
Середньорічний показник	13	13	9
Вологість ґрунту, %			
Травень	23	22	21
Червень	19	21	25
липень	16	15	17
серпень	16	11	13
вересень	11	9	12
За 5 місяців в середньому	17	15,6	17,6
В середньому за рік	21	19	25
Опади, мм			
травень	36	16	23
червень	20	37	141
липень	25	13	41
серпень	46	10	20
вересень	11	24	18
За 5 місяців в середньому	27,6	20	48,6
За рік	358	343	335

Як видно з даних, наведених в таблиці 1, кількість опадів за останні 3 роки суттєво знизилась з 358 мм до 335 (або на 6,87 %), незважаючи на

суттєве їх зростання у певні місяці – наприклад, в серпні 2019, червні та вересні 2020 та у червні та липні 2021 років. Значних коливань зазнала вологість ґрунту, пори те, що середня температура ґрунту за період вегетації майже не змінилася завдяки рясним опадам в 2021 році.

Попри значне збільшення опадів, середня температура ґрунту рік за роком стрімко зростає саме в період формування та наливу зерна – у липні та серпні. Це вказує на необхідність створення посухостійких сортів, які зможуть проявляти потенціал генетичної продуктивності в період росту температур. Запропонований нами спосіб попередньої оцінки реагування культур на дані фактори дозволить системно відбирати кращі сорти та гібриди для подальшого їх вирощування. Графічне зображення табличних показників наведено на рисунку 1.

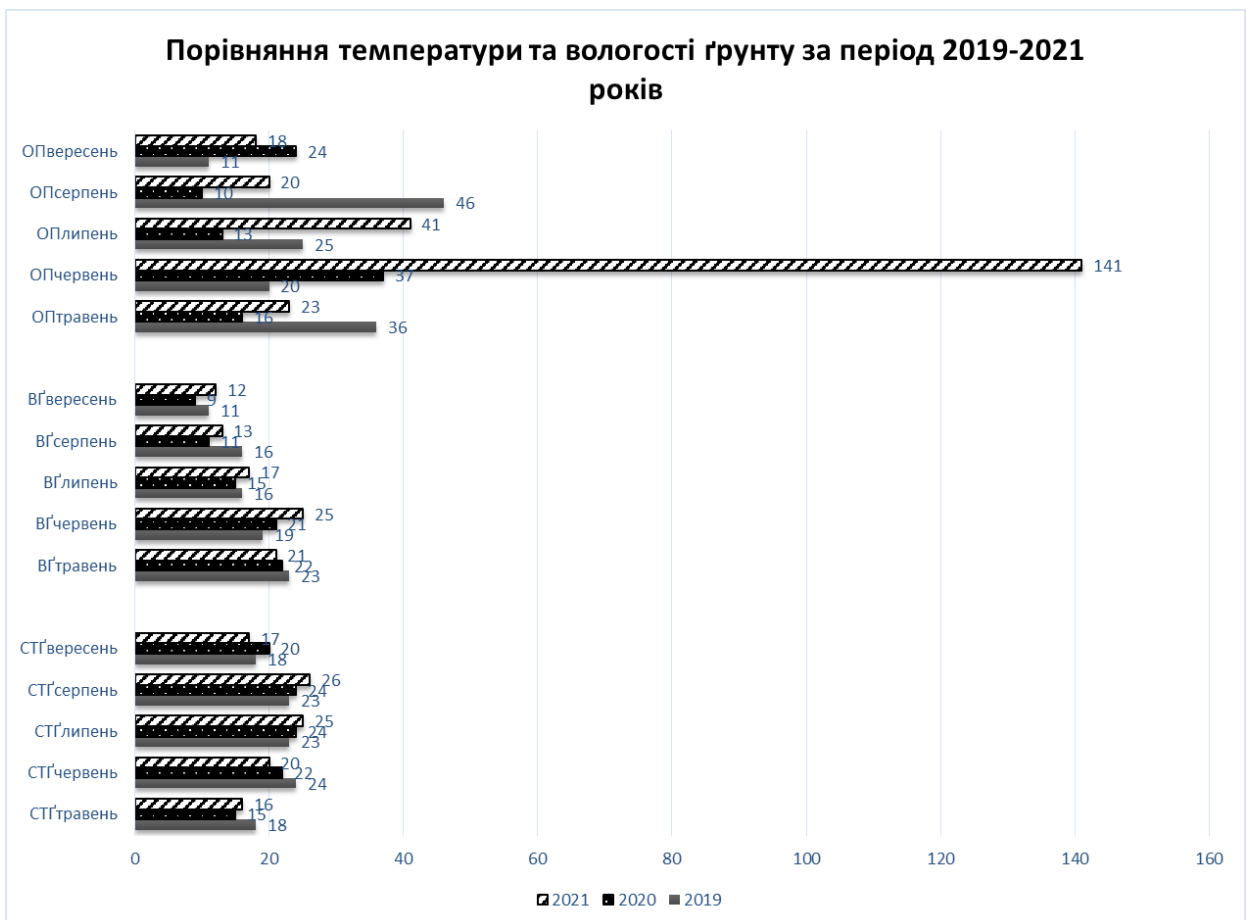


Рис. 1. Порівняння кількості опадів, вологості та середньої температури ґрунту за період з травня по червень 2019–2021 років на Дніпропетровщині

Дані показники можна застосовувати як незалежні значення при розрахунку регресійної залежності, де залежною величиною може бути як врожайність, так і орієнтовний вихід протеїну чи сирого жиру (в кг), енергії (МДж або ккал) з 1 гектару культури, що визначає якісні показники врожаю і його економічну цінність як сировини, що експортується за кордон (наприклад, ціна пшениці зі вмістом 11,5 % протеїну и вище дорівнює \$330 за тону (дані за грудень 2021 року).

Звісно, вищенаведені фактори не можна розглядати без застосування аналітичної інформації щодо температури повітря. В таблиці 2 наведено інформацію щодо мінімальних, максимальних та середніх значень температур у Дніпропетровській області за 2019–2021 роки.

Таблиця 2

Динаміка температур повітря за вегетаційний період та в середньому за рік

Показник	Роки		
	2019	2020	2021
Середньомісячна температура повітря, °С:			
травень	19	15	17
червень	24	23	21
липень	23	25	26
серпень	23	24	26
вересень	18	20	16
За 5 місяців в середньому	21,4	21,4	21,2
Середньорічний показник	12	12	8
Максимальна температура повітря, °С:			
травень	33	27	30
червень	36	35	38
липень	37	38	37
серпень	37	36	38
вересень	34	37	31
За 5 місяців в середньому	35,4	34,6	34,8

Незважаючи на те, що середньомісячні та максимальні температури періоду вегетації сільськогосподарських культур не змінюються, чітко видно тенденцію щодо їх росту в період липня – серпня. Агрокліматичну ситуацію ускладнює різке коливання, яке супроводжується значними опадами, що більше норми на 300–400 %.

Щоб визначити, до якої зони відноситься на даний час Дніпропетровщина, визначили гідротермічний коефіцієнт Селянинова. Дані наведено в таблиці 3.

Таблиця 3

Динаміка ГТК за період вегетації та репродукції на 2019–2021 роки

Місяці	2019	2020	2021
Травень	0,61	0,34	0,44
Червень	0,28	0,54	2,24
Липень	0,35	0,17	0,51
Серпень	0,65	0,13	0,25
Вересень	0,20	0,40	0,38
За 5 місяців	0,42	0,31	0,75

В цілому за рівнем ГТК регіон відноситься до зони сухого землеробства або посушливої. Незважаючи на те, що за 2021 році був надлишок опадів, ситуація погіршилась в середині літа та наприкінці. Тому необхідно враховувати фактор наближення регіону до зони, де в другій половині літа фіксуються сильні або середні посухи. Якщо ГТК буде досягати 0,1–0,3 одиниць, на Дніпропетровщині будуть фіксувати явища опустелювання.

На рисунку 2 вказано, як змінювався рівень ГТК за останні 3 роки.

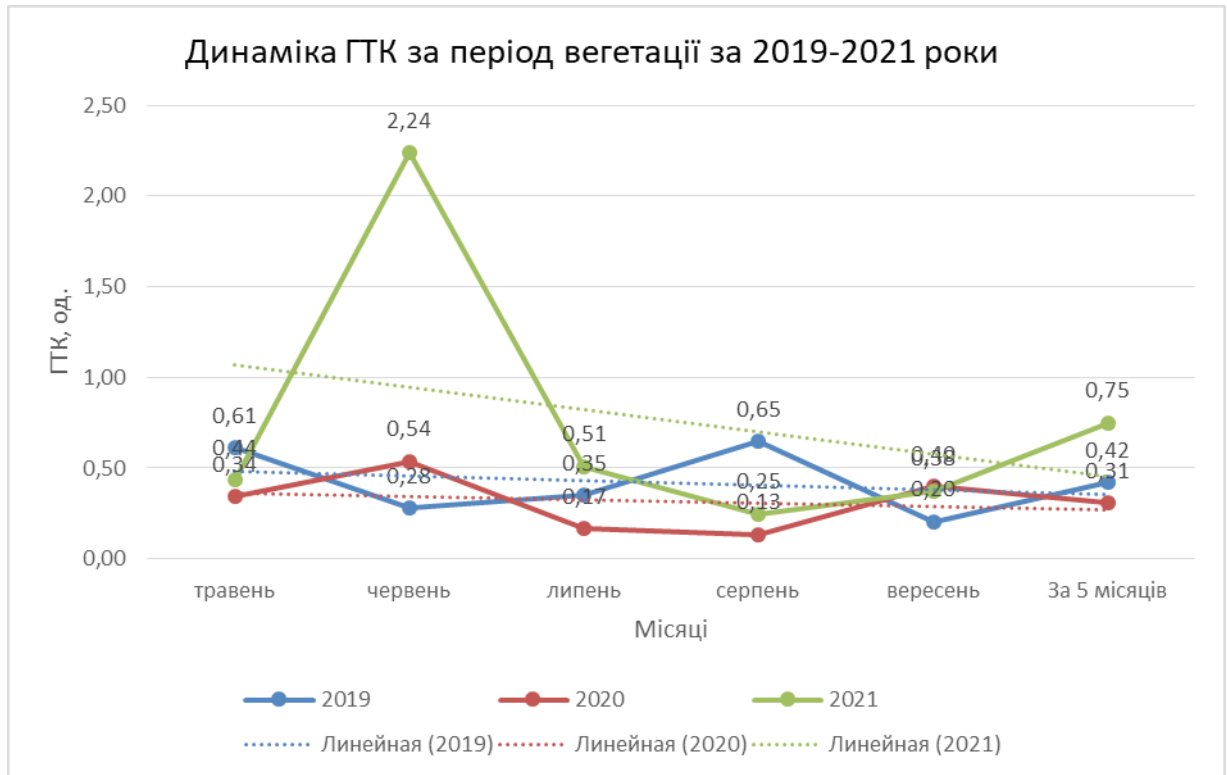


Рис. 2. Динаміка ГТК за роками

Нестабільні гідротермічні умови, які характерні для Дніпропетровщини в літньо-осінній період, можуть негативно впливати на ріст та розвиток кореневої системи ярих культур та кукурудзи, а тому – і тому попередня оцінка врожайності в даний період може бути важливою для коригування живлення рослин шляхом проведення прикореневого та позакореневого підживлення азотними та фосфорними добривами з низьким сольовим індексом. Про це в своїх працях неодноразово зазначає Гирка А. Д. [4., 5.], як у випадках вирощування озимих зернових, так і під час вегетації ярових культур, кукурудзи та ін.

3.2. Динаміка врожайності зернових та олійних культур в розрізі 2019–2021 років на Дніпропетровщині

Для побудови регресійної моделі слід розглянути динаміку врожайності основних культур, що мають важливе народно- та

сільськогосподарське значення в структурі забезпечення продовольчої безпеки країни. З цією метою слід оцінювати і загальний тренд, який визначає напрямок формування врожайності конкретного регіону, щоб потім визначити, який опосередкований вплив здійснюють на дані фактори агрокліматичні умови.

Хоча для довгострокових прогнозів слід використовувати дані за 10–20 років, для короткострокових достатньо мати інформацію за останні 3–5 років. Тим більше, що нарощування середньорічної температури в регіоні відбувається неочікувано високими темпами, тому ми обмежились даним проміжком часу.

В таблиці 4 наведено дані щодо врожайності культур Дніпропетровщини у перерахунку на 1 гектар ґрунту та в середньому за останні 3 роки (з біометричною обробкою).

Таблиця 4

Врожайність культур Дніпропетровщини, ц/га

Культура/Рік	2019	2020	2021	В середньому за 3 роки
Пшениця озима	37,8	40,4	44,22	40,8±1,86
Кукурудза	46,2	23,8	47,4	39,1±7,67
Ячмінь	34,5	34,98	33,79	34,4±0,35
Соя	16,7	14,7	16,6	16,0±0,65
Соняшник	24,1	16,3	23,3	21,23±2,477
Ріпак озимий	22,7	25,12	24,33	24,05±0,712

Як видно з даних, наведених в таблиці, спостерігається загальна тенденція щодо збільшення врожайності зернових культур, невелике зниження врожайності олійних культур (соняшник та ріпак) та різке – кукурудзи. Останній фактор обумовлений посухами, які постійно виникають в другій половині літа.

Звичайно, значний вплив на врожайність мав посушливий сезон 2020 року, коли суттєво зменшилась кількість опадів, збільшилась температура повітря та ґрунту в період формування та наливу зерна (таблиця 5). Від цього особливо постраждала врожайність кукурудзи, період формування та наливу зерна якої припадає на другу половину літа.

Щоб визначити, яку спрямованість мають біологічні процеси, що обумовлюють підвищення чи зниження врожайності, проведено статистичний аналіз. Дані біометричної обробки за основними зерновими та олійними культурами регіону, що мають найбільший інтерес, наведено в таблиці 5 за вищенаведеними показниками.

Таблиця 5

**Врожайність культур Дніпропетровщини, ц/га (біометрична обробка) –
середнє за 2019-2021 роки**

Культура/Рік	Пшениця озима	Кукурудза	Ячмінь озимий	Соя	Соняшни к	Ріпак озимий
Середнє	40,8	39,1	34,4	16,0	21,2	24,05
Стандартна похибка	1,86	7,68	0,35	0,65	2,478	0,713
Медіана	40,4	46,2	34,5	16,6	23,3	24,33
Стандартне відхилення	3,23	13,29	0,599	1,127	4,291	1,23
Мінімум	37,8	23,8	33,79	14,7	16,3	22,7
Максимум	44,22	47,4	34,98	16,7	24,1	25,12
Стандартне відхилення у % до середнього	7,92	33,99	1,74	7,04	20,24	5,11

Як видно, у більшості випадків медіанне значення дещо більше від середнього, а величина стандартного відхилення коливається в межах 1,74 до 34 % у порівнянні з середнім арифметичним. Це свідчить про те, що

кукурудза та соняшник більше піддаються впливу негативних факторів, оскільки репродуктивний період формування насіння у них припадає на другу половину літа, коли спостерігається значний ріст температур та дефіцит опадів.

Але, щоб визначити, наскільки впливають зміни клімату на врожайність, слід проаналізувати, як змінювався сумарний врожай за останні 3 роки. Тому нами в таблиці 6 проаналізовано за категоріями, як змінювався за останні 3 роки даний показник для вищенаведених культур та проведено біометричний аналіз.

Таблиця 6

Сумарний валовий збір врожаю культур Дніпропетровщини, тис. т

Культура/Рік	2019	2020	2021	В середньому за 2019–2021 роки
Пшениця (озима і яра)	1958,5	2054,11	2475,7	2162,8±158,88
Ячмінь озимий і ярий	724,9	838,58	844,7	802,7±38,95
Кукурудза	1449,3	740,2	1438	1209,2±234,51
Соя	5,9	4,3	9,8	6,67±1,633
Соняшник	1406,4	999,1	1393,6	1266,4±133,68
Ріпак озимий	251,6	301,89	204,4	252,6±28,15

Як видно з таблиці 6, найбільш сприйнятливими до змін клімату є кукурудза, соняшник та озимий ріпак, оскільки похибка середнього арифметичного перевищує 10–20 % від середнього. Це вказує на необхідність застосування до них агротехнічних заходів на кшталт зсуву строків посіву з тим, щоб на період посухи відбулося формування зерна.

Валовий збір пшениці суттєво виріс за останній період, що вказує на її добру пристосованість до аномальної спеки влітку завдяки тому, що вегетаційний та репродуктивний період припадає на часовий проміжок, коли фіксується оптимальне співвідношення вологи та термічних факторів. Аналогічна ситуація з ячменем та дещо мінлива – з соєю.

Отже, щоб визначитись, яка саме статистична картина впливає з вищенаведених даних, оцінили, яка мінливість та рівні коливання стандартного відхилення за сумарною врожайністю притаманні основним зерновим та олійним культурам Дніпропетровщини. Ці дані наведено в таблиці 7.

Таблиця 7

Визначення основних статистичних біометричних показників за рівнем сумарного валового збору врожаю культур на Дніпропетровщині за 2019-2021 роки

Культура/Рік	Пшениця (озима і яра)	Ячмінь озимий і ярий	Кукурудза	Соя	Соняшник	Ріпак озимий
Середнє	2162,8	802,7	1209,2	6,7	1266,4	252,6
Похибка	158,88	38,95	234,51	1,63	133,68	28,15
Медіана	2054,11	838,58	1438	5,9	1393,6	251,6
σ	275,19	67,47	406,18	2,83	231,55	48,75
Дисперсія	75729,2	4552,1	164979,2	8,0	53614,6	2376,9
Мінімум	1958,5	724,9	740,2	4,3	999,1	204,4
Максимум	2475,7	844,7	1449,3	9,8	1406,4	301,89
C_v , %	12,72	8,41	33,59	42,44	18,28	19,30

Як бачимо, цілком консолідований збір врожаю у пшениці і ячменю, що свідчить про їх доцільність вирощування в регіоні. А от соя демонструє несподівано найбільш різкий показник мінливості, оскільки C_v (коефіцієнт варіації) досягає 42,44 %. Коливання C_v кукурудзи трохи менше і досягають

33,59 %, що в подальшому може означати стрімкий ріст її вартості внаслідок неочікувано знижених рівнів врожайності. Соняшник і озимий ріпак також задовільно реагують на зміни клімату, що підтверджується коефіцієнтом варіації C_v на рівні 18,28 і 19,3 % відповідно.

3.3. Оцінка та аналіз врожайності основних зернових культур Дніпропетровщини за 2016–2018 роки та основні агротехнологічні чинники в цей період

Динаміка загальної врожайності культур є найкращим інструментом визначення, як агротермічні умови впливають на стан вегетації та репродукції рослин. З цією метою зроблено даний аналіз за 2016–2018 роки.

Таблиця 8

Сумарний збір врожаю Дніпропетровщини, тис. т

Культура/Рік	2016	2017	2018
Пшениця озима	1044,7	1837,9	1577,6
Пшениця яра	51,5	31,7	16,3
Кукурудза	1678,85	977,6	1274,3
Ячмінь озимий	47	211	223,8
Ячмінь ярий	329,6	469,2	320
Соя	357,07	8,21	6,2
Соняшник	425,77	1144,2	1212,4
Ріпак озимий	43,4	133,48	188,7

Як видно, переважна кількість важливих у продовольчому значенні культур обмежується озимою пшеницею, кукурудзою, ярим ячменем, соєю та соняшником, оскільки їх збір коливається від 357 до 1838 тис. т. Значна кількість коливань щодо збору за цей період притаманна озимому ячменю і сої, кукурудзі та озимій пшениці, що обумовлено як погодними, так і господарськими причинами.

Для повного аналізу вищенаведених даних проведено біометричний аналіз сумарного врожаю культур, визначено коефіцієнт варіації за 3 роки.

Таблиця 9

Статистично-біометричний аналіз сумарного врожаю в середньому за 2016-2018 роки

Біометричні показники	Пшениця озима	Пшениця яра	Кукурудза	Ячмінь озимий	Ячмінь ярий	Соя	Соняшник	Ріпак озимий
Середнє	1486,73	33,17	1310,3	160,60	372,93	123,8	927,46	121,86
Стандартна помилка	233,44	10,19	203,23	56,92	48,21	116,62	251,61	42,34
σ	404,3	17,6	352,0	98,6	83,5	202,0	435,8	73,3
Мінімум	1044,7	16,3	977,6	47	320	6,2	425,77	43,4
Максимум	1837,9	51,5	1678,9	223,8	469,2	357,07	1212,4	188,7
C_v , %	27,20	53,20	26,87	61,39	22,39	163,13	46,99	60,19

З огляду на кліматичні чинники коливання сумарної врожайності найбільш чутливими до кількості опадів та температур виявилися озимий ячмінь, ріпак, яра пшениця і соняшник, пшениця озима і кукурудза (у порядку зменшення).

Для якісної оцінки врожаю проаналізовано врожайність в перерахунку на 1 га. Дані наведено в таблиці 10.

Таблиця 10

Врожайність культур Дніпропетровщини, ц/га

Культура/Рік	2016	2017	2018
Пшениця озима	53,3	38,08	31,01
Пшениця яра	45,6	31,08	19,66
Кукурудза	76,29	31,2	41,4
Ячмінь озимий	49,1	30,89	28,95
Ячмінь ярий	46,1	24,97	17,88
Соя	21,37	11,4	17,1
Соняшник	27,03	18,8	20,8
Ріпак озимий	25,5	26,52	21,7

Як видно, найбільше врожайність змінюється за даний період у озимої та ярої пшениці, ячменю, піддається суттєвим коливанням у кукурудзи та соняшнику.

Біометричну обробку за цей період наведено в таблиці 11.

Таблиця 11

Статистично-біометрична обробка даних врожайності в перерахунку на 1 га в середньому за 2016-2018 роки

Показники	Пшениця озима	Пшениця яра	Кукурудза	Ячмінь озимий	Ячмінь ярий	Соя	Соняшник	Ріпак озимий
Середнє	40,8	32,1	49,6	36,3	29,7	16,6	22,2	24,6
Похибка	6,58	7,51	13,65	6,42	8,48	2,89	2,48	1,47
Медіана	38,08	31,08	41,4	30,89	24,97	17,1	20,8	25,5
σ	11,39	13,00	23,64	11,12	14,68	5,00	4,29	2,54
min	31,01	19,66	31,2	28,95	17,88	11,4	18,8	21,7
max	53,3	45,6	76,29	49,1	46,1	21,4	27,03	26,52
Cv, %	27,92	40,48	47,64	30,61	49,51	30,1	19,33	10,34

Найкраще мінливість врожайності характеризують стандартне відхилення та коефіцієнт варіації. Тому у трійку культур з найбільш вимогливими умовами до зволоження та температурного режиму потрапили ярий ячмінь, кукурудза та яра пшениця. Оскільки період формування зерна у них припадає на терміни, коли зафіксовано мінімальні опади та значну інсоляцію, ГТК може спадати до 0,170,25 одиниць, це обумовлює таку реакцію на недостатньо сприятливі умови розвитку стебла, кореневої системи і власне колосу.

Одним з показників, що визначає біологічну та господарську цінність врожаю, є кількість протеїну, який отриманий в перерахунку на 1 га поля. Для визначення, наскільки змінювалась загальна кількість отриманого протеїну (що має значну харчову цінність) за ці роки з найбільш значущих

культур Дніпропетровщини, було проведено аналіз за цим показником. Дані представлені в наступній таблиці 12.

Таблиця 12

**Динаміка сумарної кількості сирого протеїну (кг), що отримано з
врожаєм в перерахунку на 1 га**

Роки	Пшениця озима	Пшениця яра	Кукурудза	Ячмінь озимий	Ячмінь ярий
	Кількість сирого протеїну, кг/га				
2016	639,6	501,6	648,465	589,2	507,1
2017	495,04	348,096	280,8	401,57	299,64
2018	418,635	245,75	364,32	390,825	228,864
2019	472,5	-	397,32	427,8	-
2020	492,88	-	211,82	426,756	-
2021	521,796	-	402,9	425,754	-
Біометрична обробка та статистичний аналіз					
M±m	506,7±30,08	365,2±74,35	384,27±60,871	443,65±29,77	345,2±83,49
σ	73,68	128,77	149,1	72,94	144,6
Cv, %	14,54	35,27	38,80	16,44	41,89
M ± σ	580,42	493,92	533,37	516,59	489,81
M - σ	433,06	236,37	235,17	370,71	200,60

За наведеними даними можна стверджувати, що варіабельність показників отриманого протеїну суттєво коливається в залежності від року. Про це свідчить коефіцієнт варіації, який знаходиться в межах 14,44–41,89 %. Якщо застосуємо значення стандартного відхилення (за законом 6 σ всі дані охоплюють повний масив), відсікаючи на рівні 1 σ (це уособлює не менше 50–60 % випадків), то побачимо, що кількість отриманого протеїну може коливатися в межах від 200 кг у ячменю ярого до 580 кг у озимій пшениці.

Незважаючи на відносно сприятливий 2021 рік, загалом кількість отриманого протеїну з 1 га зменшується. Це наочно видно на графіку.

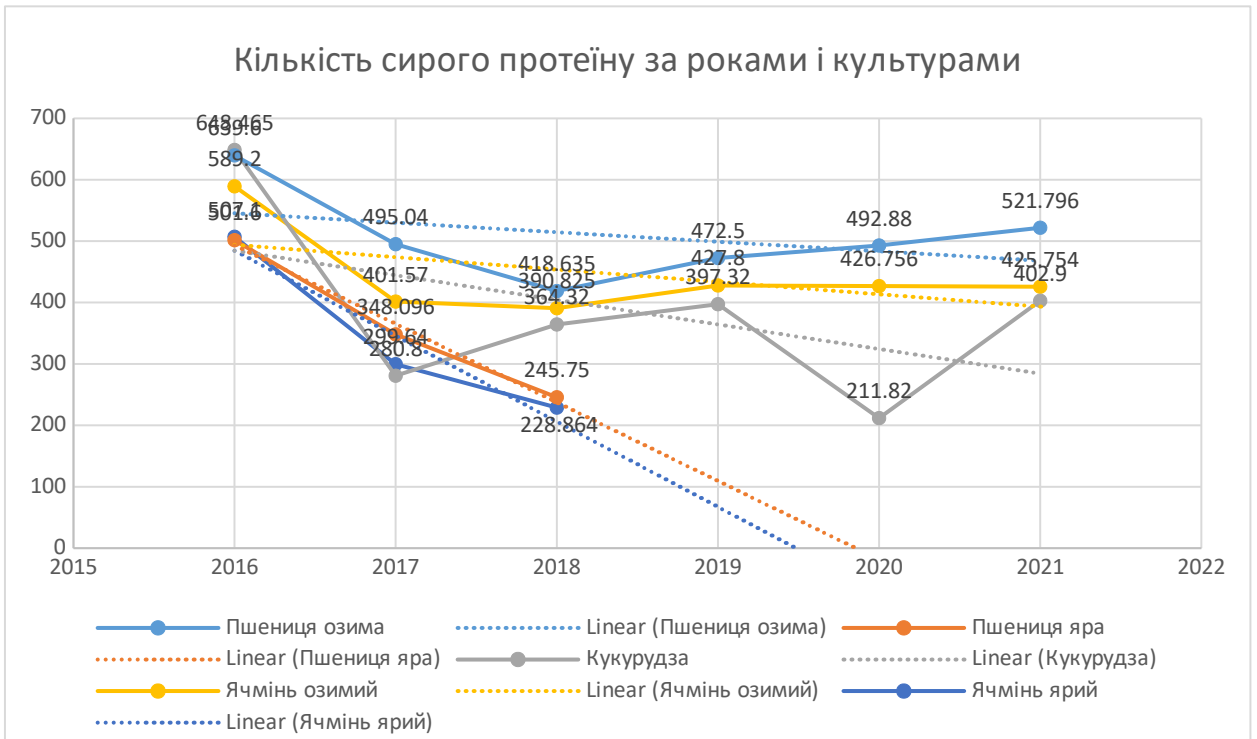


Рис. 2. Динаміка виходу протеїну в кг на га в агроценозах зернових колосових культур та кукурудзи в роки з різним рівнем зволоження

Як видно за лініями тренду, в подальшому якісні показники врожаю будуть зменшуватися, що в різній мірі пояснюється як змінами родючості ґрунту внаслідок недостатнього внесення норм органічних добрив, так і внаслідок дефіциту вологи і надлишку тепла. Очевидно, що в орному шарі ґрунту не вистачає мінеральних форм азоту в доступній для рослин формі, а нестача вологи і екстремальні температури погіршують становище з рівнем врожайності зерна колосових культур та кукурудзи.

3.4. Теоретичне підґрунтя створення прогностичної моделі за допомогою засобів програмного забезпечення MS Excel

Зрозуміло, що можна відстежити динаміку врожайності культури за певний відрізок часу (3–5–10 років), побудувати лінію тренду та розглянути її у взаємозв'язку з 1–2 важливими чинниками (наприклад, сумою ефективних температур, середньою чи максимальною кількістю опадів,

особливостями перебігу початкового періоду вегетації або строків настання фаз розвитку рослин – кущіння, трубкування, колосіння, наливу зерна та ін.

Але графічне зображення даної картини буде обмеженим максимум 3 показниками і не дасть можливості спрогнозувати кінцевий результат, який цікавить агронома або сільськогосподарського виробника з точки зору отримання врожаю чи потенційного прибутку.

Тому запропонований нами спосіб розрахунку прогнозованої врожайності, кількості виходу в перерахунку на 1 га біохімічних показників зерна, що визначають його якість (очікувана кількість сирого протеїну або білку для твердої та м'якої пшениці, озимих та ярих сортів ячменю, сирого жиру та його ключових складових, які обумовлюють біологічну цінність олійних культур (соняшник, ріпак), інтегровану оцінку зерна кукурудзи дасть можливість ще до початку формування найбільш біологічно та господарсько корисних складових врожаю, визначити кількісно їх рівень.

Потім за необхідності загрози падіння врожаю внаслідок кліматичних чинників можливим буде застосування певних технологічних операцій (штучне зрошування, додаткове внесення органічних чи мінеральних добрив, розширення чи звуження спектру операцій обробітку ґрунту, обмеження або доповнення кількості запланованих до внесення агрохімікатів та ін.) до терміну формування репродуктивних та генеративних частин рослин в цей час.

Перед розробкою прогностичних рівнянь регресії (більш правильним є розрахунок багатofакторних формул, що окреслюють кілька найбільш важливих чинників) слід виконати побудову кореляційної решітки між окремими показниками для визначення впливу основних факторів на залежну величину, що цікавить дослідника і технолога в господарському чи науковому аспекті.

Безумовно слід включати до цього переліку показники, що корелюють на рівні 0,5 та вище. Але інколи є важливою і низька кореляція, особливо якщо вона стосується ознак, що мають істотну мінливість (C_v) та низький,

але вкрай важливий до передачі майбутньому насінневого матеріалу коефіцієнт спадковості.

Від отриманих даним способом результатів аналізу можна чітко виокремити ланки, що найбільш сильно впливають на загальні ознаки (врожайність в ц/га та вихід безпосередньо цінних складових – кілограмів протеїну чи рослинного жиру на одиницю площі). Адже ключовими показниками врожайності є не валовий збір зерна та насіння, а саме вихід протеїну в цілому та білку (аміди є менш важливими), сирого жиру та поліненасичених жирних кислот, що обумовлюють харчову та біологічну цінність рослинницької продукції.

3.5. Розробка регресійних рівнянь та їх подальше застосування

Розглянувши кореляційну решітку, приймаємо рішення щодо важливості включення певних показників для розробки моделі врожайності за допомогою регресійних одно- або багатофакторних рівнянь регресії за допомогою останніх версій програмного забезпечення пакету MS Office Excel, що є одним з найбільш доступних операторів для проведення статистичного дослідження чи розробки поліномів або лінійних залежностей.

Для цього створюємо в MS Office Excel лист Excel, який представляє собою електронну таблицю, вносимо перелік емпіричних даних за проміжок часу, що є в наявності, визначаємо одну залежну величину (яка уособлює собою невідому прогнозовану y), що цікавить нас та одну або кілька незалежних величин у стовпчиках таблиці і робимо побудову регресійного рівняння.

З отриманих результатів розраховуємо в операторі «Регресія» MS Excel формулу регресійної залежності за виглядом:

$$y = a \pm b \times x_1 \pm c \times x_2 \pm d \times x_3 \dots$$

Кількість незалежних показників, які в формулі означені як x_1 , x_2 , x_3 та далі, може бути різною, досягаючи 10–15 категорій x_n . Але, як показали проведені науковцями дослідження та на нашу думку, у більшості випадків переважно не є доцільним їх розширення, варто обмежитись 3–5 ключовими параметрами, оскільки їх збільшення до 10–20 дасть розмиту та неточну картину прогнозу.

Наприклад, маємо дані, щодо виходу протеїну з 1 га у пшениці озимій за 5 років та коефіцієнт ГТК за 5 місяців трьох сезонів (дані наведено в розділах 3.1 і 3.2). Робимо з цього рівняння регресії в MS Excel, де незалежними змінними є показники ГТК, а залежною – сумарна кількість протеїну.

Після розрахунку отримали наступне рівняння:

$$\text{ВП}_{1\text{га}} = 495,2825151 - 16,5416141255875 \times \text{ГТК}_{2019} + \\ 124,386098878922 \times \text{ГТК}_{2020} - 62,48813854 \times \text{ГТК}_{2021}, \text{ де}$$

ВП – вихід протеїну, кг/га, ГТК – гідротермічний коефіцієнт Селянинова за певний рік

Якщо спробуємо підставити у рівняння дані ГТК на проміжку від 0,3 до 0,7 почергово, то побачимо, що є прямо пропорційна залежність – чим нижче рівень ГТК, тим більше буде знижуватись кількість протеїну, яку ми отримаємо з врожаєм.

Так, при постійному середньому ГТК за 3 роки в період з травня по вересень на рівні 0,3 одиниць з 1 га ріллі вихід протеїну буде 556,3 кг протеїну, 0,4 – 577 кг, 0,5 – 597 кг, 0,7 – 637 кг. Отже, попри те, що рівень протеїну в зерні при зниженні врожайності піднімається, недостатня кількість вологи та підвищений рівень температур будуть стримувати реалізацію генетичного потенціалу врожайності насінневого матеріалу.

За наведеним прикладом ми можемо розробити кілька регресійних залежностей, які будуть формувати цілісну модель очікуваної врожайності культури та її якісних показників. Зрозуміло, що дана модель працюватиме лише за умови її застосування у схожих умовах клімату, при подібному

складі ґрунтів та за використання культур, які є аналогами або подібними за рядом ознак, сорту, гібриду чи культури, які були застосовані дослідниками для проведення даної оцінки.

3.6. Запропоновані ситуації для використання моделі

Цінність запропонованого нами способу прогнозування врожайності полягає в тому, що дані моделі можна розробити в будь-якому локальному районі чи регіоні, вказуючи параметри функціонування моделі: тип ґрунту, зона (Степ чи Лісостеп), клімат, застосовуючи до описання додаткові параметри на кшталт інтегрованого показника NVDI чи рівня вмісту гумусу в ґрунті.

Але ще більшої цінності даний показник набуває за використання даного способу у лабораторних умовах, коли є можливим контролювати більш численну кількість параметрів, щоб потім переносити їх в природні умови і прогнозувати, як новостворений сорт або гібрид буде проявляти себе при польовому експерименті.

Наприклад, розробники гібридних ліній ДУ ІЗК НААН (Черчель В. Ю., Дзюбецький Б. В., Сатарова Т. М.) для утворення значної кількості гібридів в умовах контрольованого формування генетичних форм застосовували генетичні методи (використовували протопласти, внесення чужорідного генетичного матеріалу в клітину, проводили поєднання генетичних форм). Наступна адаптація до ґрунту отриманих гібридів надає можливість визначення доцільних для подальшого розведення ліній.

Виходячи з лабораторних результатів досліджень та польових дослідів, створення комплексу регресійних залежностей щодо конкретного досліджуваного новоствореного гібриду дасть можливість рекомендувати його для наступного мікроклонального розмноження та отримання добазового насінневого матеріалу прискореними темпами – за рік-два, а не за значно більші терміни.

Для цього насіння створеного гібриду є сенс водночас висівати посадити у кількох геобіохімічних провінціях різних зон країни (Степ, Лісостеп різних напрямків), отримати дані, розробити моделі, використовуючи вищенаведений алгоритм і вже надалі, потім, приймати аргументоване рішення, за яких умов він найкраще реалізовуватиме наявний генетичний потенціал своєї продуктивності.

Зрозуміло, що клітинно-інженерні технології, визначення молекулярно-генетичних маркерів та подальша маркер-асоційована селекція за ними є основою створення саме гібридів. Але їх перевірка в польових умовах з метою подальшого прогнозування відгуку на кліматичні умови та тип ґрунту, оцінка реалізації генетичного потенціалу врожайності може бути виконана саме завдяки розробці та застосуванню багатofакторних регресійних рівнянь, що є основою цієї моделі.

4. Аналіз впливу змін агрокліматичних умов на продуктивність агроценозів зернових культур

Середнє подовження терміну вегетаційного періоду за умов України коливається від 7 до 15 днів. Зросла кількість частоти появи посух у районах, де вирощуються зерно та олійні культури. Дніпропетровщина належить до районів ризикованого землеробства. Середня денна температура влітку досягає 45–50 °С, а взимку – до –20 °С. Про це свідчать фактичні дані науковців України, які оцінюють зміни кліматичних умов [13., 16.].

Як встановили Чабан В. І. та Гасанова І. І. зі співробітниками [44., 45.], високі врожаї зернових культур та кукурудзи характерні для тих років, коли переважає достатнє постачання рослин продуктивною вологою, починаючи з другої половини вегетації. Але коли температурний літній режим перевищує середній за багато років (орієнтовно 10–20), фіксуються низькі врожаї.

Зниження врожаїв відповідає аномальним опадам – мізерним, які супроводжуються змінами валового збору. Про це свідчать дослідження зарубіжних вчених Ашабокова Б. А., Балабайкіна В. Ф., Єгушової Олени і Нурлигаянова Разіта [36., 46., 47.]. Аналогічні процеси відбуваються і в Україні, що викликає стривоженість аграріїв та працівників міністерства аграрної політики і продовольства.

Очікуване майбутнє потепління створить проблеми для врожайності ярих зернових культур, кукурудзи та соняшнику. Тому, щоб адаптувати сільськогосподарське виробництво, слід знайти ризики та вразливості, що виникають через вплив кліматичних факторів та погоди.

Оскільки змінюються умови осінньо-зимового періоду, слід оптимізувати строки сівби озимих та ярих культур. Розширювати посівні площі необхідно теплолюбними, пристосованими під посуху культурами з високою врожайністю. Також необхідно впроваджувати вологозберігаючі технології та підбирати культури, які стійкі до таких несприятливих погодних недоліків.

Взаємозв'язок врожайності зернових та олійних культур з кліматом і показниками, що з ним пов'язані, необхідні для використання стратегії сталого розвитку сільськогосподарських підприємств. Застосування комплексних вологозберігаючих заходів у посушливих районах області простимулює зростання врожайності.

Антропогенні фактори прояву зміни клімату характеризуються зростанням в атмосферному повітрі вуглекислого газу, метану та інших газів. Оскільки Дніпропетровщина виробляє зерно та олійні культури для споживання всередині країни та на експорт, необхідно з'ясувати, які фактори впливають на врожайність.

Показник зволоженості, як величина, що характеризує водний баланс – наявність опадів та випаровуваність, дуже важливий. Для комплексного оцінювання необхідно враховувати, яка тривалість календарного періоду з температурою вище 5 °С. Гідротермічний коефіцієнт, сума опадів, водні запаси ґрунту в середині літа та індекс сухості Будико пов'язані між собою, тому їх слід враховувати при прогнозуванні врожайності.

Моніторинг кліматичних показників дуже важливий для оцінки кількісних взаємозв'язків при програмуванні врожаю. До того він є однією з основ для розрахунку й економічного обґрунтування розміщення посівів зернових, пшениці та кукурудзи в природно-кліматичних мікрорайонах регіону.

Різко-континентальний клімат виявляється особливо вразливим для аграрного виробництва внаслідок змін екології та агрокліматичних факторів. Оскільки нестійкість опадів в період вегетації рослин занадто сильно коливається, може спостерігатися зниження кількості валових зборів зерна кукурудзи, ярої пшениці і ярого ячменю.

Середньорічний гідротермічний коефіцієнт Дніпропетровщини в середині та наприкінці ХХ століття коливався від 0,6 до 0,9–1. А нині він варіє в межах від 0,13 до 2,25. До того ж посушливі умови клімату на частині земельних угідь зумовлюватимуть і в подальшому нестійкість зернового

виробництва. Для оцінки короткострокових або нерегулярних компонентів необхідно скористатися стандартним відхиленням та уточнити, наскільки вони змінюються у часовій динаміці. Потребують уточнення умови мікроклімату, оскільки навіть в ідеальній формі прогноз не буде більш точним і буде залежати від розміру нерегулярного показника.

Оцінку кількості опадів та високих температур роблять, оцінюючи такий статистичний показник, як коефіцієнт варіації. Але довгострокові кліматичні моделі, розраховані на 20–30 років, демонструють ймовірність значного підвищення температури, що зумовить падіння врожайності на 5–15 %. Внаслідок деградації систем стаціонарного поливу і надалі здійснюватиметься зниження виробництва.

Таким чином, агрономічне моделювання передбачає необхідність адаптації не лише великих, а й фермерських господарств під мінливі погодні умови для пом'якшення глобального потепління та локальних факторів, що посилюють вплив погоди в регіоні на врожайність культур.

Методологічний підхід підвищує впевненість щодо впливу кліматичних факторів на цінні сільськогосподарські культури. Він дуже важливий для регіонів, де фіксують клімат, що різко змінюється, оскільки забезпечує продовольчу безпеку країни. Тому в майбутньому доцільно буде використовувати статистичні схеми прогнозування врожайності, а облік атмосферних факторів буде безпосередньо пов'язаний з урожайністю.

Вже зараз вчені застосовують сингулярний спектральний аналіз, який стискає інформацію, згладжує часові ряди і робить прогноз їх динамічного розвитку. Паралельно виникає необхідність обліку та аналізу факторів, що не завжди спостерігаються в природних умовах, але суттєво корелюють з іншими змінними.

Сильна волатильність кліматичних значень показує свою специфічність, оскільки, наприклад, після рекордної кількості опадів на початку літа 2021 року почалася посуха. В свою чергу, це підвищило

температуру повітря і зумовило висихання ґрунту. Фактор часу також дуже важливий при створенні лінійних рівнянь регресії і поліномів.

Як свідчать вчені, збільшення кількості опадів протягом усієї весни та більшої частини літа негативно впливає на врожайність. Визначення оптимальної температури і трактування гідротермічних коефіцієнтів вказує, як змінюється продуктивність зернових культур. Так, низка вчених стверджує, що підвищення середньорічної температури на 1 °С знижує врожайність зернових культур на 17 %. Але якщо температура помірно підвищується восени і навесні, то врожайність зростає.

Тому врахування погодних чинників і прогнозування врожайності на їх основі дає широке поле експериментам науковців для забезпечення продовольчої безпеки країни та отримання в майбутньому суттєвих комерційних прибутків від реалізації продукції рослинництва.

5. Економічна ефективність використання даних агрометеорологічних умов при прогнозуванні врожайності зернових культур

Прогнозування валового збору врожаю, його кількісних та якісних показників тісно пов'язане з рентабельністю виробництва, оскільки ціна зернових культур залежить від їх якості в перерахунку на 1 т та загального збору. Погіршення вологозабезпеченості в критичні періоди розвитку обумовлює нестачу вологи для генеративних та репродуктивних органів, недостатній розвиток кореневої системи.

Тому з огляду на це, передбачення можливого економічного ефекту шляхом штучного підвищення вологості ґрунту або зсуву часу посіву на більш ранні строки забезпечить середній коефіцієнт ГТК в весняно-літній на рівні 0,7 одиниць і більше.

З огляду на це було розраховано економічну ефективність прогнозування для забезпечення сталого росту і розвитку продовольчих зернових культур на прикладі пшениці озимої.

Для цього ми визначили кількість протеїну, яка визначає цінність пшениці твердої озимої, підраховали, скільки можливо отримати її в класичних умовах, коли ГТК коливається в межах 0,3–0,5 та при застосуванні заходів, що підвищують ГТК до оптимального рівня 0,7–1 одиниць.

Потім взяли результати аукціонів, які вказують, що вартість твердої пшениці за березневими ф'ючерсами станом на початок лютого 2022 року становила 290,9 \$ та еквівалент у гривнях (з огляду на те, що більша кількість української пшениці експортується).

Останнім кроком було визначення вартості пшениці, яку отримують за класичних умов, без додаткового зволоження та при зсуві посівів або додатковому зрошенні для підняття рівня ГТК і доведення його до оптимального.

Аналітичні дані наведено в таблиці 13.

**Економічна ефективність розробки та застосування ГТК
для прогнозу виходу протеїну та його вартісної цінності**

Показники	При розробці регресійного рівняння регресії	За класичних умов
Рівень ГТК, одиниць	0,71	0,3–0,5
Вихід протеїну на 1 га, кг	638–698,7	556,3–597
Кількість протеїну в 1 т озимої пшениці	140	140
Валовий збір зерна з 1 га при підтриманні ГТК на рівні 0,7–1 та 0,3–0,5, т	4,5574,991	3,974 – 4,264
Вартість 1 т твердої озимої пшениці:		
у доларах США (\$)	290,9	
у гривнях по курсу НБУ на 04.02.2022 року	8218,089	
Очікувана вартість продукції з розрахунку на 1 га		
у доларах США (\$)	1324,76–1450,80	1155,12–1239,63
у гривнях по курсу НБУ на 04.02.2022 року (грн.)	37451,01–41014,13	32655,16–35044,28
Економічний ефект в перерахунку на 1 га		
у доларах США (\$)	169,64–211,17	–
у гривнях по курсу НБУ на 04.02.2022 року (грн.)	4795,84–5969,86	–
Рентабельність, %	114,69–117,04	100

Таким чином, встановлено, що очікувана рентабельність врахування агротермічних умов на Дніпропетровщині за умови розрахунку коефіцієнту ГТК та підтриманні його в орному шару ґрунту на рівні 0,7–1 в період вегетації пшениці дасть додатковий прибуток на 1 га 169,64–211,17 \$ при рентабельності, що перевищує класичну, на 14,69–17,04 %.

6. Безпека праці в умовах вирощування зерна

Охорона праці на сільськогосподарських підприємствах під час посіву та збору зернових культур здійснюється з урахуванням вимог нормативно-правових актів України, до яких відносяться наступні:

- Закон України «Про охорону праці»;
- Правила охорони праці у сільськогосподарському виробництві від 21.09.2018 р. за № 1090/32542.

Під час сівби слід забезпечувати безпеку людей, що готують для внесення мінеральні добрива з метою мінімізації впливу пилу на дихальну систему. Для цього слід застосовувати спеціальні механізми, а співробітники – спецодяг та ЗІЗ, спецвзуття. У місцях спецобробки забороняється зберігати харчові продукти та приймати їжу.

Забороняється знаходитися в зоні, де можливе травмування маркерами чи навісними механізмами. Працівник не може одночасно обслуговувати дві або більше сівалок. Завантаження насінням має бути механізоване, ручне – лише при повній зупинці агрегатів та вимкненому двигуні. Обслуговування та ремонт посівної техніки мають відбуватися за умови її вимкнення.

Під час руху ТЗ працівнику заборонено підніматися чи опускатися з техніки, так же, як і праця на навісній сівалці.

Під час збирання врожаю зернових культур, що є найбільш травмонебезпечним періодом в порівнянні з іншими, у комбайні мають перебувати лише комбайнер та його помічник. Запасні ножі зберігають у дерев'яних чохлах для запобігання травмування.

Забороняється перевозити людей у ТЗ, куди зсипається зерно. Під час спорожнення бункера люди не мають знаходитися в причепі вантажного автомобіля. Щоб зерно пересувалося до шнека, застосовують дерев'яну лопату. У списку додаткового обладнання мають бути дерев'яні підкладки та башмаки під колеса.

Забороняється рух комбайнів та інших збиральних машин з робочими органами, що не знаходяться в транспортному положенні. Рух здійснюється згідно ПДД, які затверджені постановою КМУ від 10.10.2001 № 1306.

Відпочивають працівники під час збору зернових у місцях, які чітко виділені віхами та ліхтарями, у обладнаних і відведених місцях. Забороняється відпочинок під машинно-тракторною технікою, на полі, під копицями.

При проведенні лабораторних досліджень щодо аналізу зерна на протеїн використовується внутрішня Інструкція з правил безпеки та інструкція щодо послідовності дій виконання аналізу. Забороняється необережне поводження з сірчаною кислотою та лужними речовинами для титрування.

ВИСНОВКИ

1. Встановлено, що агрокліматичні умови Дніпропетровщини за останні 3 роки набули незворотних змін, що виявляється в тенденціях росту температурних факторів ґрунту, зниження рівня його зволоженості, що негативно впливає на ярі культури та кукурудзу і меншою мірою – на врожайність озимих.
2. Рівень гідротермічного коефіцієнту Селянинова за період вегетації та репродуктивного періоду коливається в межах 0,13–2,24, в середньому за 5 місяців мінімальне значення складає 0,31, а максимальне – 0,75.
3. Коливання врожайності культур Дніпропетровщини за останні 3 роки знаходяться в межах 5–50 %, що вказує на необхідність поєднання метеорологічних досліджень та їх прогнозів в агрономії з прогресивними методами захисту рослин від посух, суховіїв або перезволоження для мінімізації втрат зерна.
4. Кількість валового збору протеїну в зерні пшениці, ячменю та кукурудзи в перерахунку на 1 га знижується, оскільки йде різкий спад загального збору зерна: в цілому з 1 га пшениці озимої збирають 418–639 кг протеїну, кукурудзи – 211–648, ячменю озимого – 390–589 кг при тенденції повільного зниження його виходу за останні роки, на що вказує лінія тренду.
5. При зниженні врожайності відбувається ріст вмісту протеїну в зерні, що свідчить про включення компенсаторних біологічних функцій культур та спробах реалізувати генетичний потенціал навіть в екстремальних погодних умовах.
6. Розроблене рівняння регресії вказує, що є прямий зв'язок між кількістю сирого протеїну, отриманого з 1 га поля та коефіцієнтом ГТК

- Селянинова: при його низькому рівні відбувається аналогічне зниження кількості протеїну.
7. В зв'язку з тим, що критичний період фаз розвитку зернових припадає на періоди, коли відбувається кущення та трубкування, є сенс переносити строки сівби в сторону більш ранніх для запобігання негативного впливу посух на формування зерна.
 8. Прогностична розробка багатофакторних рівнянь регресії за допомогою MS Excel дозволяє створити цілісну картину потенційної врожайності культури і перенести її в умови, що є аналогічними з досліджуваними. У випадку, якщо культура вирощується за умов несталого клімату (значний діапазон температур та опадів), дво- або багаторічне формування бази даних щодо її реакції дозволить оцінити її пластичність, посухо- та вологостійкість під дією несприятливих факторів.
 9. Запропонований спосіб моделювання врожайності культур для визначення реалізації генетичного потенціалу може бути застосований для превентивної оцінки новостворюваних сортів та гібридів ще до періоду формування партії добазового насіннєвого матеріалу і буде розглядатися як модель в радіусі вирощування досліджуваної культури орієнтовно 25–50 км.
 10. Прикладне моделювання та локальне обчислення прогнозу щодо врожайності культур (програмування врожайності) є невід'ємною операцією в агрономічній практиці за умов глобального потепління та пересуви кліматичних мікрозон в регіонах України, тому його слід розширити на агропідприємства з переважним напрямком виробництва зернових та олійних культур.
 11. Для створення локальних прогностичних моделей при застосуванні даних щодо зволоження та сонячного опромінення, температурних чинників є можливим використання ПО MS Excel з метою розробки регресійних рівнянь.

ПРОПОЗИЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ

На основі результатів, отриманих під час виконання досліджень нами були розроблені наступні пропозиції виробництву:

1. Для подальшого планування оптимальної структури посівних площ зернових культур в степовій зоні України з метою підвищення прибутковості рослинницької галузі необхідно постійно проводити оцінку рівня вологозабезпеченості та здійснювати термічний облік атмосферного повітря і ґрунту впродовж всього вегетаційного періоду.
2. В агрономічній практиці з метою потенційної оцінки можливої врожайності зернових культур і статистичного аналізу біологічної цінності їх основної продукції потрібно постійно розраховувати та застосовувати в роботі ГТК Селянинова.
3. Розроблювати рівняння регресії (лінійні та поліноми) для прогнозу майбутньої врожайності зернових культур в зоні Північного Степу України, виходячи з даних за попередні 3–5 років та більше.
4. Для уникнення негативного впливу посух в критичні фази розвитку рослин потрібно зміщувати строки сівби зернових культур в сторону більш ранніх.

ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРИ ТА ПОСИЛАНЬ

1. Ярчук І. І. Вплив вологи в ґрунті та строки сівби озимої пшениці / Бюлетень Інституту зернового господарства УААН. 2001. № 17. С. 59–62.
2. Ярчук И. И. Агробиологические основы повышения зимостойкости и урожайности озимой пшеницы в условиях северной Степи Украины: дис. доктора с.-г. наук: 06.01.09. 2005. 386 с.
3. Черенков А. В., Пихтін М. І., Бабіч Ю. В., Солодушко М. М., Гирка А. Д. Технологічні аспекти вирощування озимої пшениці в північному Степу. – Бюл. Ін-ту зерн. госп-ва УААН. – Дніпропетровськ. 2005. № 2627. - С. 176183.
4. Гирка А. Д. Сортова реакція рослин ячменю ярого на зміну погодних умов / [А. Д. Гирка, Т. В. Гирка, І. О. Кулик, О. Г. Андрейченко] // Вісник центру наукового забезпечення АПВ Харківської області. – 2012. – №12. – С. 34-40.
5. Гирка А. Д. Вуглеводний обмін та зимостійкість сучасних сортів озимої пшениці залежно від гідротермічних умов осінньо-зимового періоду / А. Д. Гирка // Вісник Полтавської державної аграрної академії. – 2007. – №2. – С. 147-149.
6. Кульбіда М. Глобальне потепління в природі може зумовити підвищення врожайності зернових і ймовірно погіршення якості білка та клейковини / М. Кульбіда // Зерно і хліб. – 2006. – № 3. – С. 3–4.
7. Никитишев В. И. Плодородие почвы и устойчивость функционирования агроэкосистем / [В. И. Никитишев]; под ред. В. Г. Минеева. – М.: Наука, 2002. – 258 с.
8. Гасанова І. І. Кореляційний зв'язок між кількістю азоту в листках рослин пшениці озимої протягом вегетації та вмістом білка в зерні / І. І. Гасанова, Є. Л. Конопльова, Н. С. Пальчук // Бюлетень Інституту

- сільського господарства степової зони НААН України.– Дніпропетровськ, 2014. – № 6. – С. 95–97.
9. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта / Доспехов Б. А. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с. : ил. – (Учебники и учебные пособия для высш. учеб. заведений).
 10. Сатарова Т.Н. Андрогенез и эмбриокультура у кукурузы *in vitro*: Автореф. дис... д-ра биол. наук. — Киев, 2002. — 41 с.
 11. Эффективность технологий различного уровня интенсивности при возделывании зерновых культур на черноземных почвах Центрального Черноземья [текст] / Гостев А.В. – Курск: ФГБНУ ВНИИЗиЗПЭ, 2017. – 160 с. – http://vniizem.kurskfarc.ru/attachments/article/130/Monografia_Gostev.pdf.
 12. Development of high input systems of cereal production in Europe <https://orbi.uliege.be/bitstream/2268/72073/1/1982%20development%20of%20high-input.pdf>
 13. Довідник з агрокліматичних ресурсів України. Агрокліматичні умови росту та розвитку основних сільськогосподарських культур. Серія 2.- Київ: МСП, 1993, Частина 2. – 718 с.
 14. Мищенко З. А., Кирнасовская Н. В. Агроклиматические ресурсы Украины и урожай: Монография / З. А. Мищенко, Н. В. Кирнасовская. – Одесса: Экология, 2011. – 296 с.
 15. Малицька Л.В., Балабух В.О. Ймовірні зміни кліматичних умов України до середини ХХІ ст. // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія, 2020. № 1(56). С. 94-100. DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2020.1.10>.
 16. Клімат України / За ред. В.М. Ліпінського, В.А. Дячука, В.М. Бабіченко. – К.: Вид-во Раєвського, 2003. – 343 с.
 17. Бабіченко В.М., Ніколаєва Н.В., Рудішина С.Ф., Гущина Л.М. Настання весняного сезону в Україні (перехід середньої добової

- температури повітря через 0 °С) в умовах сучасного клімату / Український географічний журнал. 2009. № 1. С. 25–35.
18. Сухарев М. Г. Методы прогнозирования. Учебное пособие — М.: РГУ нефти и газа, 2009 г., 208 с.
19. Прогнозирование урожайности сельскохозяйственных культур: учеб. пособие / А. И. Трубилин, Г. Ф. Петрик, А. Г. Прудников – Краснодар: КубГАУ, 2017. – 95 с.
20. Агропрогноз: активні та ефективні температури для сільгоспкультур: Режим доступу <https://kurkul.com/blog/690-agropogoda-rozrahovuyemo-aktivni-ta-efektivni-temperaturi-dlya-silgospkultur>
21. Посилання на дані щодо температурних показників та опадів за період 2019–2021 року: <https://www.meteo.farm/news/155> (березень),
<https://www.meteo.farm/news/159> (квітень),
<https://www.meteo.farm/news/163> (травень),
<https://www.meteo.farm/news/167> (червень),
<https://www.meteo.farm/news/171> (липень),
<https://www.meteo.farm/news/175> (серпень),
<https://www.meteo.farm/news/179> (вересень),
<https://www.meteo.farm/news/183> (жовтень),
<https://www.meteo.farm/news/187> (листопад) та
<https://www.meteo.farm/news/142> (загальний за 2020 рік).
22. Інформація щодо врожайності культур:
23. <https://latifundist.com/urozhaj-online-2019>
24. <https://latifundist.com/urozhaj-online-2020>
25. <https://latifundist.com/urozhaj-online-2021>
26. Шарков И.Н., Колбин С.А. Влияние погодных условий вегетационного периода на урожайность яровой пшеницы и эффективность азотного удобрения в Лесостепи Приобья. Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). 2020; (1):33-41.
<https://doi.org/10.31677/2072-6724-2020-54-1-33-41>

27. Сорокин О. Д. Прикладная статистика на компьютере. - Новосибирск: СО РАСХН, 2008. - 217 с.
28. Сухарев М.Г. Методы прогнозирования: Учебное пособие. — М.: РГУ нефти и газа, 2009. — 208 с.
29. Прогнозирование урожайности сельскохозяйственных культур: учеб. пособие / А. И. Трубилин, Г. Ф. Петрик, А. Г. Прудников – Краснодар: КубГАУ, 2017. – 95 с.
30. Программирование урожаев сельскохозяйственных культур: учебное пособие / Устименко, Е.А., Есаулко А.Н., Голосной Е.В. и др.. – Ставрополь : АГРУС Ставропольского гос. аграрного ун-та, 2019. – 178 с.
31. Асалханов П. Г. Линейные и нелинейные многофакторные модели в задаче прогнозирования сроков агротехнологических операций / Вестник СГТУ. 2012. № 4 (68). С. 172–176.
32. Иваньо Я. М. Методы моделирования производственных процессов в АПК: учеб. пособие по самостоятельной работе / Я.М. Иваньо, М.Н. Барсукова, Т.С. Бузина. Иркутск: ИрГСХА, 2008. 184 с.
33. Можаяев Н., Серикпаев П., Стыбаев Г. Программирование урожаев сельскохозяйственных культур: Учебное пособие. - Астана: Фолиант, 2013. – 160 с.
34. Полевой А. Н., Перстнева И. Ф. Оценка агроклиматических ресурсов различных ландшафтов Молдовы применительно к возделыванию кукурузы // Метеорология и гидрология. – 2001. - №6. – с. 107 – 116.
35. Польовий А.М., Божко Л.Ю. П 49 Довгострокові агрометеорологічні прогнози: Підручник. – К.: КНТ, 2007. – 296 с.
36. Ашабоков, Б. А. Прогнозирование урожайности с учетом изменений агрометеорологических факторов / Б. А. Ашабоков, Р. М. Бисчоков // Аграрная наука. 2008. - № 8. - С. 67.
37. Лосев А. П., Журина Л. Л. Агрометеорология. - М.: Колос, 2001. 297 с.

- 38.Грингоф И. Г., Клещенко А. Д. Основы сельскохозяйственной метеорологии. Том I. Потребность сельскохозяйственных культур в агрометеорологических условиях и опасные для сельскохозяйственного производства погодные условия. Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2011. – 808 с. (Режим доступа http://elib.rshu.ru/files_books/pdf/Gringof-kniga-new.pdf).
- 39.Гончаренко А. А. Об адаптивности и экологической устойчивости сортов зерновых культур / А. А. Гончаренко // Вестник РАСХН. – 2005. – № 6. – С.49–53.
- 40.Лосев А.П. Агрометеорология / А. П. Лосев, Л. Л. Журина. – М.: Колос, 2001. – 301 с.
- 41.Духовный В.А., Нерозин С.А., Стулина Г.В., Солодкий Г.Ф. Программирование урожая сельскохозяйственных культур (системный подход в приложении к мелиорации). Ташкент: НИЦ МКВК. – 2015. 184 с.
- 42.Кашкин В.Б., Сухонин А.И. Дистанционное зондирование Земли из космоса. Цифровая обработка изображений. / Уч. пособие. М.: Логос, 2001. – 264 с.
- 43.Черчель В.Ю., Дзюбецький Б.В., Сатарова Т.М., Денисюк К.В., Стасів О.Ф. Вихідний матеріал зародкової плазми Ланкастер у селекції і біотехнології кукурудзи : монографія. Київ: Аграрна наука, 2020. 352 с., з ілюстр. [Cherchel V.Yu., Dziubetskyi B.V., Satarova T.M., Denysiuk K.V., Stasiv O.F. Initial material of Lancaster germplasm in maize selection and biotechnology: monograph Kyiv: Agrarna nauka, 2020. 352 p., with illustr.]
- 44.Чабан В.І., Подобед О.Ю., Клявзо С.П., Термічні ресурси Північного Степу України в контексті глобального потепління / Інноваційні технології в умовах зміни клімату: Матеріали Всеукр. наук.-практич. конференції, 12 червня 2019 р., Полтава / Полтавська ДСГДС ім.М.І.Вавилова ІС і АПВ НААН, НУБіП, Укр. лабор. якості і безпеки

- продукції АПК; редкол.: А.В. Кохан, О.А. Самойленко, Л.Д. Глущенко [та ін.]. – Полтава, ПП «Астрая», 2019. – С. 20–22.
45. Гасанова І.І., Веклич А.С., Ноздріна Н.Л. Особливості вегетації рослин пшениці озимої залежно від гідротермічних чинників та заходів агротехніки в Північному Степу / Інноваційні технології в умовах зміни клімату: Матеріали Всеукр. наук.-практич. конференції, 12 червня 2019 р., Полтава / Полтавська ДСГДС ім. М.І.Вавилова ІС і АПВ НААН, НУБіП, Укр. лабор. якості і безпеки продукції АПК; редкол.: А.В. Кохан, О.А. Самойленко, Л.Д. Глущенко [та ін.]. – Полтава, ПП «Астрая», 2019. – с. 29–31.
46. Балабайкин В.Ф., Ёлкин К.В. Влияние изменения климата на урожайность зерновых в Костанайской области / Аграрный вестник Урала. № 11 (129), 2014 г. – С. 54–59.
47. Егушова Елена, Нурлыгаянов Разит. Влияние климатических изменений на производство продукции растениеводства (на примере Кемеровской области) / Международный сельскохозяйственный журнал № 3, 2015 г. – С. 45–49.
48. Божко Л.Ю. Агрометеорологічні розрахунки і прогнози: навч. Посібник для вузів за напрямком «Гідрометеорологія» / Л.Ю. Божко. – К.: КНТ, 2005. – 216 с.
49. Вильфонд Р.М. Статистический прогноз хода температуры воздуха внутри месяца с использованием выходных данных гидродинамических моделей / Р.М. Вильфонд, В.А. Тищенко, В.М. Хан // Метерология и гидрология. – 2007. - №3. – С. 513.
50. Ліпінський В.М. Активізація стихійних метеорологічних явищ на території України – прояв глобальних змін клімату / В.М. Ліпінський, В.І. Осадчий, В.М. Бабенко // Укр. географ. журн. – 2007. - №2. – С. 11-20.
51. Моделювання і прогнозування стану довкілля: підручник / В.І. Лаврик, В.М. Боголюбов, Л.М. Полетаєва та ін.. – К.: Академія, 2010. – 397 с.

- 52.Бойченко С.Г. Трансформация природных зон на территории Украины при дальнейшем глобальном потеплении: равновесные и неравновесные модели, сценарии / С.Г. Бойченко // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. – 2005. - №1. – С. 53–58.
- 53.Мищенко З.А. Оценка и районирование биоклиматического потенциала Украины с учетом микроклимата / З.А. Мищенко, Н.В. Кирнасовская // Вісн. Одес. держ. екол. ун-ту. – 2005. – Вип. 1. – С. 63–71.
- 54.Остапчук В.В. Синоптико-статистичний метод прогнозу різких змін температури повітря всередині місяця на території України у теплий період року: дис. канд. геогр. наук: (11.00.09) / В.В. Остапчук; Укр. наук.-дослід. гідрометеорологічний ін.-т. – К., 2002. – 197 с.