

УРОЖАЙНІСТЬ ВИШНІ ЗАЛЕЖНО ВІД КЛІМАТИЧНИХ УМОВ РОКІВ ВИРОЩУВАННЯ

І. Є. Іванова, кандидат сільськогосподарських наук, доцент

ORCID ID: 0000-0003-2711-2021

М. Є. Сердюк, доктор технічних наук, професор

ORCID ID: 0000-0002-6504-4093

В. М. Малкіна, доктор технічних наук, професор

ORCID ID: 0000-0002-2076-2032

А. М. Шкіндер-Бармина, кандидат сільськогосподарських наук, молодший науковий співробітник

ORCID ID: ORCID 0000-0002-8818-7820

І. А. Кривонос, старший викладач

ORCID ID: 0000-0001-7079-5150

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного
Мелітопольська дослідна станція садівництва імені М. Ф. Сидоренка

У ході досліджень в результаті комплексного використання методів математичної статистики були проаналізовані 20 парних кореляційних залежностей на етапах: вегетаційний період, цвітіння, дозрівання плодів і в період знімання врожаю. Визначено вплив десяти погодних факторів на показники урожайності вишні за період 2007-2019 роки.

Розрахована модель врожайності вишні під впливом абіотичних погодних факторів вигляд:

$Y = 4,040 - 0,634X_2 + 0,054X_4 + 0,3281X_6 + 0,670X_7 - 1,122X_8 - 0,755X_9 - 0,392X_{10}$. Розробка останньої дала можливість спрогнозувати врожайність вишні залежно від впливу стресових факторів навколишнього середовища.

Ключові слова: врожайність, вишня, погодні фактори, багатфакторна модель, температура, опади, вологість повітря.

Постановка проблеми. Сучасне промислове плодівництво – наукомістка галузь сільськогосподарського виробництва. Виробничий потенціал промислового садівництва повністю визначається трендом змін кількісного та якісного складу основного капіталу в галузі плодоносних насаджень. Одним із принципів «Галузевої програми розвитку садівництва України на період до 2025 року» є максимальне використання можливостей природно-економічних факторів регіонів нашої держави та підвищення врожайності плодівих культур. Згідно з технологічними основами розвитку галузі садівництва експерти рекомендують близько 60% промислових насаджень вишні зосередити в зоні Степу (переважно східна і південна частини) [1, 2].

Завдяки багаторічній роботі вітчизняних селекціонерів було створено ряд сортів вишні і вишнево-черешневих гібридів (дюків), які істотно змінили зареєстрований сортимент України [3, 4]. Селекційна робота була спрямована на отримання

низькорослих сортів з високою врожайністю, високою якістю плодів, зимостійкістю та стійкістю до грибних хвороб [5, 6]. Проте нові великоплідні сорти української селекції дуже повільно вводять у виробництво.

Однією з основних вимог до сучасних сортів вишні є висока врожайність. Необхідною умовою для успішного вирощування вишні є добір сортів, що відповідають місцевому клімату. Особливе значення при цьому має їх пристосованість до зимового періоду. Вишня належить до найбільш морозостійких кісточкових плодівих порід [6-8], але для зимового періоду Південного Степу України характерним є суттєве коливання значень температури у другій половині зими, що може спричинити зниження морозостійкості дерев і генеративних бруньок та, відповідно бути наслідком низької врожайності культури [9, 10].

Отже, визначення особливостей реакцій вишні на сучасні агрокліматичні умови Південного Степу України і виділення основних погодних

факторів, що чинять вплив на врожайність культури є актуальним питанням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Вишня належить до традиційних плодкових культур, що вирощують в Україні. Її цінність полягає у скороплідності, зимостійкості, стабільній врожайності, ранньому досяганні плодів та невибагливості до ґрунтових умов [2,10,11].

При оцінюванні науковцями сортів досліджуваної культури за особливостями плодоношення головними її показниками є скороплідність та урожайність. Плодоношення у вишні починається на 3-7-й рік після садіння. Урожайність – це складна ознака, яка залежить від комплексу чинників: кількості утворених квіткових бруньок та квіток у них, здатності до запліднення, величини плодів, вимог до ґрунтового живлення та ін. Впливають на врожайність культури також зимостійкість бруньок та стійкість до хвороб [2,12].

Аналіз літературних джерел за реакцією досліджуваної породи щодо впливу абіотичних факторів дозволив визначити, що порівняно з такими кісточковими культурами, як черешня, абрикос та персик, вишня менш світлолюбна, але у цілому позитивно реагує на високу інсоляцію в умовах Степу [2,11,13]. Вимоги до вологи у вишні помірні – вона посухостійка культура, але меншою мірою, ніж мигдаль, абрикос і персик [13]. При цьому вишня не витримує перезволоження, а за нестачі вологи, тривалих весняних суховіях різко послаблюється ріст пагонів, опадає зав'язь [13, 14, 7, 8]. Вишня – найбільш морозостійка плодова порода серед кісточкових. Є дані про те, що при нормальному проходженні загартування вона може витримувати такі ж морози, як і яблуня: $-40...-45^{\circ}\text{C}$. Ряд авторів вказують на пошкодження надземної частини при температурі $-35^{\circ}\text{C}...-36^{\circ}\text{C}$, а генеративних бруньок – $-25^{\circ}\text{C}...-28^{\circ}\text{C}$ [5-7, 15]. Заходів захисту дерев кісточкових культур від заморозків в Україні практично не застосовують або використовують їх недостатньо, а найбільш ефективний з них – дощування – впроваджують дуже повільно [2, 9, 16].

Таким чином, аналітичний огляд наукової літератури з питань аналізу реакції культури на гідротермічні фактори при вирощуванні свідчить про недосконалість інформації щодо оптимізації впливу несприятливих умов довкілля на врожайність вишні, що вирощена на Півдні Степової зони України, та потребує подальших досліджень [18, 19].

Метою досліджень було встановити об'єктивні агрокліматичні показники, що мають вплив на врожайність вишні в умовах Півдня Степової зони України та створити математичну

модель врожайності культури на підставі виявлених стресових чинників.

Для досягнення мети нами було проведено кореляційний та регресійний аналізи: розрахована міцність кореляційних зв'язків між агрокліматичними показниками та врожайністю культури; визначено комплекс погодних факторів, що суттєво впливають на врожайність вишні; встановлено моделі залежності врожайності вишні від погодних умов, що склалися в Запорізькій області у 2007 – 2019 рр.; виходячи з практичної доцільності визначити найбільш ефективну математичну модель; отримати рівняння регресії, яке можна використовувати для побудови статистичних прогнозів.

Матеріали і методи досліджень.

Дослідження проводили у 2007-2019 роках у межах Мелітопольського району Запорізької області. З метою дослідження впливу погодних чинників на врожайність вишні використано дані, що були надані Головним управлінням статистики у Запорізькій області та метеорологічні дані за період з 2007 по 2019 роки Мелітопольської метеостанції.

Мелітопольський район розташований у південно-західній частині Запорізької області, це Південна Степова зона України, що має рівнинний ландшафт. Клімат району проведення досліджень континентальний і характеризується достатньо великою кількістю тепла на фоні невеликої кількості опадів, сухістю повітря та інтенсивним випаровуванням вологи влітку. Випадання опадів взагалі відзначається нерівномірністю і значним коливанням їх кількості по роках. Зимі теплі з частими відлигами, найхолодніші місяці – січень та лютий. Весняні заморозки в повітрі закінчуються переважно в другій декаді квітня. Осінні заморозки наступають у середньому наприкінці другої декади жовтня [17].

За даними Мелітопольської метеостанції, клімату району притаманна середньорічна температура повітря $9,1-9,9^{\circ}\text{C}$. Абсолютний максимум температури було зафіксовано 18.08.2010, він склав $41,0^{\circ}\text{C}$. Серпень та липень визначені як найбільш теплі місяці з середньомісячними температурами від $22,8$ до $21,7^{\circ}\text{C}$. Абсолютний річний мінімум температур було зафіксовано 14 січня 1950 року – мінус 31°C . Найбільш холодними місяцями визначено січень та лютий із середньомісячною температурою нижче 0°C від $2,5$ до мінус $3,1^{\circ}\text{C}$. Середньорічна сума активних температур вище 10°C з квітня по жовтень складає 3316°C . Значний перепад температур в умовах регіону відбувається у лютому та березні. Саме в цей період, як правило,

дерева виходять з вимушеного спокою та можуть бути пошкоджені низькими температурами. Різкий перепад температур характерний і для грудня, що разом із заморозками створює стресові умови та веде до загибелі врожаїв кісточкових культур. За кількістю опадів район належить до зони з недостатнім зволоженням. На рік середня кількість опадів становить 475 мм. Середньорічна вологість повітря 73%. Посушливість клімату обумовлена пануванням сухих північно-східних, східних вітрів. Накопичення вологи в ґрунті відбувається, головним чином, восени, частково взимку та раною весною. Середньобагаторічне значення гідротермічного коефіцієнту (ГТК) в районі за період активної вегетації складає 0,8 та коливається в межах значень від 0,6 до 1,1.

Розрахунок моделей врожайності вишні у зв'язку з абіотичними погодними факторами проводили за такою схемою [9,11]:

1. Збір даних та створення комп'ютерної бази про середню врожайність вишні в умовах Мелітопольського району. Середню врожайність породи визначали у виробничих насадженнях, узагальнюючи врожайність сортименту регіону.

2. Створення комп'ютерної бази погодних умов у роки досліджень з добором показників: температура (мінімальна, середня, максимальна), сума опадів, кількість днів з опадами більше одного міліметра, середня відносна вологість повітря.

3. Розрахунок показників: тривалість безморозного періоду, сума опадів, гідрометеорологічні коефіцієнти та перепад температур за певні періоди, суми активних температур та інші показники.

4. Визначення погодних факторів, що суттєво впливають на врожайність вишні.

5. Аналіз визначених в пункті 4 факторів методами регресійного аналізу з метою виявлення ефекту кореляції між факторами.

6. Побудова і аналіз регресійної моделі залежності врожайності вишні від погодних умов.

У період проведення досліджень було використано представлені нижче методи варіаційної статистики, що дозволили проаналізувати, обробити експериментальні дані та зробити прогноз остаточних результатів: проводили математичну обробку, парний та множинний кореляційний і регресійний аналізи – за загальноприйнятими методиками [11, 9]. Розраховано показник наявності ефекту мультиколінійності – фактор інфляції дисперсії VIF [20-23]. Також були використані комп'ютерні програми «Ms office Excel», пакет «Statistica»,

програмне середовище для статистичної обробки даних R.

Виклад основного матеріалу. За допомогою методів математичної статистики було отримано сільськогосподарську оцінку впливу погодних умов на врожайність вишні в період 2007-2019 рр. Урожайність є складною ознакою, яка залежить від багатьох чинників, тому проводили пошук кореляційних зв'язків між врожайністю вишні (Y) та комплексом гідротермічних умов (факторів) – X_i , де $i=1...10$. Обрано 20 чинників (факторів), які можуть впливати на зміни врожайності вишні. Для визначення погодних факторів, що суттєво впливають на врожайність вишні, у розрізі кожного року проаналізовано 20 парних кореляційних залежностей на етапах: вегетаційний період, цвітіння, досягання плодів та у період знімання врожаю.

За даними табл. 1, аналіз тісноти кореляційного зв'язку для десяти погодних факторів (X_i) по відношенню до врожайності вишні (Y) проведено згідно за шкалою англійського статистика Чеддока [24]. Згідно з даними табл. 1, для 10-ти погодних факторів (X_i , де $i=1...10$) встановлено середню та сильну лінійну кореляційну залежність з урожайністю вишні ($r_{YX_i} = 0,68 \dots -0,86$). Це такі фактори (X_i), як: сума активних температур за вегетаційний період, до фази досягання плодів (X_1), середньомісячна сума опадів за серпень (X_6), абсолютна мінімальна відносна вологість повітря в травні (X_7); у період цвітіння – різниця між середньою максимальною та мінімальною температурами повітря (X_2), сума активних температур (X_3), сума ефективних температур (X_4), гідротермічний коефіцієнт, ГТК (X_5), сума та загальна кількість днів з опадами ($X_{8,9}$) та середня з максимальних значень температур повітря в період цвітіння (X_{10}).

Показник суми активних температур є важливим для визначення сумарної потреби рослин у теплі [18]. Згідно з рис. 1, отримані дані дають можливість констатувати, що сума активних температур вище 10°C (САТ 10) за вегетативний період (до фази досягання плодів) коливається в межах значень 955,0-1499,1°C в інтервалі 2007 – 2019 років. Для забезпечення врожайності вишні на рівні 2010, 2013 та 2018 років, що була найвищою та досягла значень в інтервалі 9,9...11,4 т/га, показник САТ10 за весняний період повинен мати діапазон значень на рівні 1443,1°C, 1391,6°C та 1499,1°C відповідно наведених років, що підтверджується результатами статистичного аналізу даних табл. 1 – для показника X_1 ($r = 0,77$).

Результати кореляційного аналізу впливу погодних факторів (X_i) на урожайність вишні (Y), 2007-2019рр.

Позначення фактору X_i	Погодний фактор (i)	Парний коефіцієнт кореляції між фактором X_i і врожайністю Y , (r_{YX_i})
X_1	Сума активних температур за вегетаційний період (до фази досягання плодів), °С	0,77
X_2	Різниця між середньою максимальною та мінімальною температурами повітря в період цвітіння, °С	0,68
X_3	Сума активних температур період цвітіння, °С	0,76
X_4	Сума ефективних температур період цвітіння, °С	0,75
X_5	Гідротермічний коефіцієнт (ГТК) в період цвітіння	-0,75
X_6	Середньомісячна сума опадів за серпень, мм	0,84
X_7	Абсолютна мінімальна відносна вологість повітря в травні, %	-0,73
X_8	Сума опадів в період цвітіння, мм	-0,77
X_9	Загальна кількість днів з опадами в період цвітіння, доба	-0,86
X_{10}	Середня з максимальних значень температур повітря в період цвітіння, °С	0,68

Для успішного вирощування більшості європейських сортів вишні необхідна сума активних температур близько 2000...2400°С. Кількість днів за вегетаційний період з

температурою вище 15°С при цьому не повинна бути меншою 80-90. Для сортів північного походження – 100-115 безморозних днів і сума активних температур 1400...1700°С [11,13].

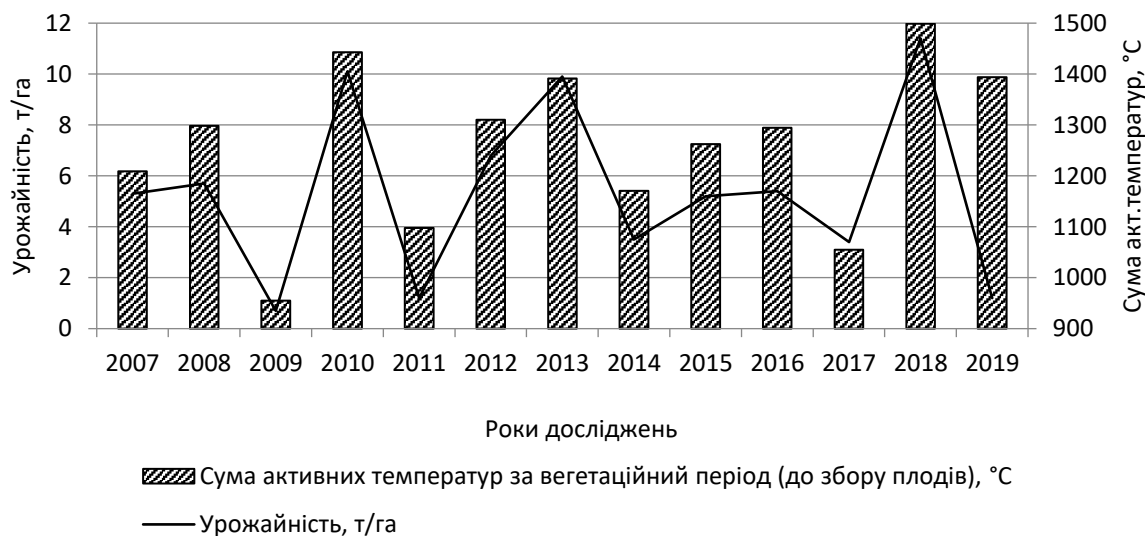


Рис. 1. Сума активних температур за вегетаційний період (X_1) (до фази досягання плодів) та урожайність вишні (Y), 2007-2019 рр.

Вплив абсолютного з мінімальних значень відносної вологості повітря у травні на врожайність досліджуваної культури відображено на рис. 2. Цей показник за зазначений період коливався в межах 13...29%. Згідно за даними рис. 2, простежується тісний обернений лінійний кореляційний зв'язок між двома параметрами ($r = -0,73$). Збільшення абсолютних з мінімальних значень відносної вологості повітря у травні в інтервалі 15...29% призводить до отримання нижчих рівнів

урожайності в інтервалі 0,7–6,8 т/га. Таку тенденцію визначено для всіх років окрім 2010, 2013, 2018 рр.

Максимальною врожайністю на рівні 9,9...11,4 т/га була сформована за показників абсолютної з мінімальних значень відносної вологості повітря в травні 13–14% у 2013 та 2018 роках. У 2010 році, рівень урожайності визначено у межах 10,1 т/га при значенні абсолютної з мінімальних показників відносної вологості повітря в травні 22%. Як виняток, підвищене значення абсолютної

ВВП за аналізований період менше впливає на формування врожайності вишні за рахунок більшої частки впливу решти оптимальних показників погодних факторів у 2010 році. Це припущення підтверджується даними науковців

півдня України, за даними Мелітопольської метеостанції, у цілому аналізом засвідчено, що 2010 рік був сприятливим для вирощування вишні і отримання сталого рівня врожаю [2].



Рис. 2. Урожайність вишні (Y) та абсолютна з мінімальних значень відносної вологості повітря у травні (X₇), 2007-2019 рр.

Аналізом впливу значень показника середньомісячної суми опадів у серпні на врожайність вишні визначено, що коливання параметру по роках досліджень відбувається в діапазоні від 0 до 42,4 мм. Дані табл. 1 підтверджують тісну сильну лінійну кореляційну залежність між значеннями суми опадів у період цвітіння (X₆) та врожайністю вишні, Y ($r_{YX_6} =$

0,84), що відображено на рис. 3. Максимальна врожайність досліджуваної культури визначена роки з максимальним значенням суми опадів у серпні. Так, для 2013, 2018 років, коли врожайність становила 9,9...11,4 т/га, значення показника, що досліджуємо, були найбільшими та склали 36,9...42,4 мм.

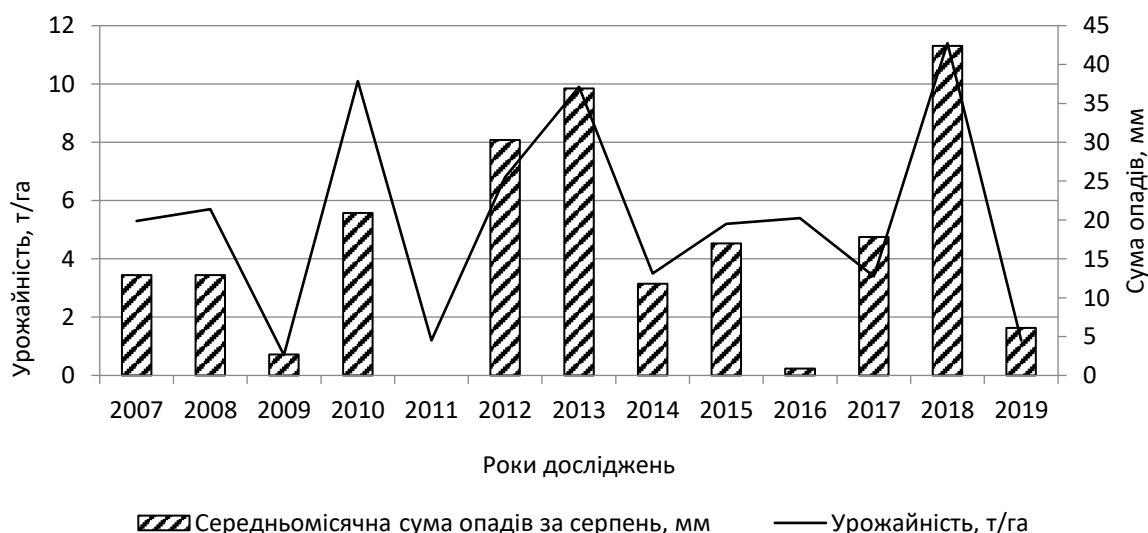


Рис. 3. Середньомісячна сума опадів за серпень (X₆) та врожайність вишні (Y), 2007-2019 рр.

Дані рис. 3 ілюструють, що у 2010 році на фоні значення середньомісячної суми опадів за серпень, яка склала 20,9 мм сформована врожайність на рівні 10,1 т/га. Вірогідно, компенсування показника

вологи відбувається в інші періоди року. За кліматичними даними кількість опадів за досліджуваний рік була близькою до багаторічного показника – 486,5 мм [2].

Слід окремо проаналізувати залежність урожайності сортів від погодних умов у період цвітіння вишні. Тривалість цвітіння у 2007 – 2019 роках варіювала від 5 до 15 діб залежно від сорту та року, а у середньому – становила близько 10 діб. Згідно з даними табл. 1, у 7 з 10-ти погодних факторів коефіцієнти множинної кореляції свідчать про наявність як прямого, так і оберненого лінійного середнього та сильного зв'язку між урожайністю і гідротермічними параметрами у період цвітіння.

Згідно з даними рис. 4, показник середніх з максимальних значень температур повітря в період цвітіння в досліджуваному інтервалі років коливається в діапазоні 17,8...25,4°C. Різниця між середньою максимальною та мінімальною температурами повітря впродовж 13 років становить від 10,7 до 18,6°C. Для двох погодних факторів (X_2 , X_{10}) по відношенню до врожайності вишні визначено прямий лінійний значний або помітний кореляційний зв'язок – $r = 0,68$. Останнє вказує на те, що впродовж років досліджень з ростом значень показників у період цвітіння: різниця між середньою максимальною та мінімальною температурами повітря та середніх з максимальних значень температур повітря, врожайність вишні буде зростати. Винятком у

наших дослідженнях із загальновизначеної тенденції є показники 2012 року. Так, на фоні максимальних значень погодних факторів, що аналізуємо (25,4 та 18,6°C), рівень урожайності склав 6,8 т/га, а на фоні максимальних їх значень упродовж 13 років досліджень 9,9...11,4 т/га. Попередні дослідження науковців Півдня України підтверджують, що на врожайність позитивний вплив мали середня і максимальна температури в період цвітіння у 83% сортів вишні, що були взяті для досліджень науковцями Мелітопольської дослідної станції садівництва ім. М. Ф. Сидоренка [2, 11, 12]. Аналіз досліджень науковців півдня України стосовно формування врожаю та якісних показників кісточкових та зерняткових культур у різні роки показує, що рівень середніх з максимальних значень температур у березні, травні є стресовим параметром для врожайності черешні, яблук, вишні. Так, занадто рання весна, що супроводжується коливаннями температури повітря, негативно впливає на рівень майбутнього врожаю плодів культур. Адже в умовах Півдня Степової зони України після березневого підвищення температури може відбуватися зниження її рівня до приморозків у квітні, а іноді і травні [9].



Рис. 4. Урожайність вишні (Y) і різниця між середньою максимальною та мінімальною температурами повітря (X₂), середня з максимальних значень температур повітря в період цвітіння (X₁₀), 2007-2019 рр.

Наведені дані рис. 5 дають можливість констатувати, що сума активних температур вище 10°C (САТ 10) у період цвітіння коливається в межах значень 114,6...261,4°C в інтервалі 2007 – 2019 років. Для забезпечення максимальної врожайності вишні на рівні 2010, 2013 та 2018 років показник САТ10 за досліджуваній період повинен знаходитися у діапазоні значень

209,3...261,4°C, тенденція підтверджується отриманими статистичними характеристиками визначеного сильного лінійного кореляційного зв'язку, де $r_{YX_3} = 0,76$. Для більш досконалої сільськогосподарської оцінки впливу погодних умов як на врожайність, так і на показники якості ягід, плодів культур, науковці рекомендують для вираження потреби рослин у теплі для росту і

розвитку застосовувати суми ефективних мінімуму, за якого розвивається рослина [8, 14, температур, відрахованих від біологічного 18].



Рис. 5. Сума активних температур у період цвітіння (X₃) та врожайність вишні (Y), 2007-2019 рр.

Сума ефективних температур (СЕТ 10) у період цвітіння за 13 досліджуваних років, (рис. 6) коливається в межах значень від 34,6 до 92,6°C. Аналогічно попередньому погодному фактору спостерігається прямий сильний лінійний кореляційний зв'язок між СЕТ10 та врожайністю вишні – $r_{YX_4} = 0,75$. Діапазон значень досліджуваного показника для отримання максимальної врожайності культури на рівні 2013 та 2018 років повинен становити: 91,4...92,6°C.

Винятком із загально визнаної тенденції є співвідношення значень СЕТ10 та врожайності вишні у 2012 році. Так, на фоні високого значення погодного фактора (СЕТ10 – 83,8°C) врожайність сформована на рівні 6,8 т/га проти рівня врожайності 2010 року – 10,1 т/га при СЕТ10 – 59,3°C, що можна пояснити впливом інших погодних факторів в аналізовані роки, які мають здатність компенсувати гідротермічні умови за рахунок інших періодів вегетації вишні [8, 11, 13].



Рис. 6. Сума ефективних температур у період цвітіння (X₄) та врожайність вишні (Y), 2007-2019 рр.

На інтенсивність росту плодівих культур та їх урожайність поряд із теплозабезпеченістю відіграє важливу роль і забезпеченість вологою. Останній показник оцінюють за середніми

сумами опадів, гідротермічним коефіцієнтом та іншими параметрами.

Узагальненою характеристикою тепло- і вологозабезпеченості певного періоду вегетації

рослин є гідротермічний коефіцієнт (ГТК). У наших дослідженнях (рис.7) ГТК за роки визначень у період цвітіння вишні коливався в межах 0,00...3,04.

Аналіз отриманих даних за 13 років досліджень дозволив визначити, що у 2010, 2012 – 2016 та 2018 роках показник ГТК у період цвітіння був нижче 1 та коливався в інтервалі 0,0...0,9.

Значення ГТК у період цвітіння для 2010, 2013, 2018 років, у які отримана найвища врожайність вишні, склала 0,0...0,1. Визначено лінійний обернений сильний кореляційний зв'язок між значеннями ГТК та врожайністю вишні по роках досліджень, що підтверджено даними табл. 1, $r_{YX_5} = -0,75$.

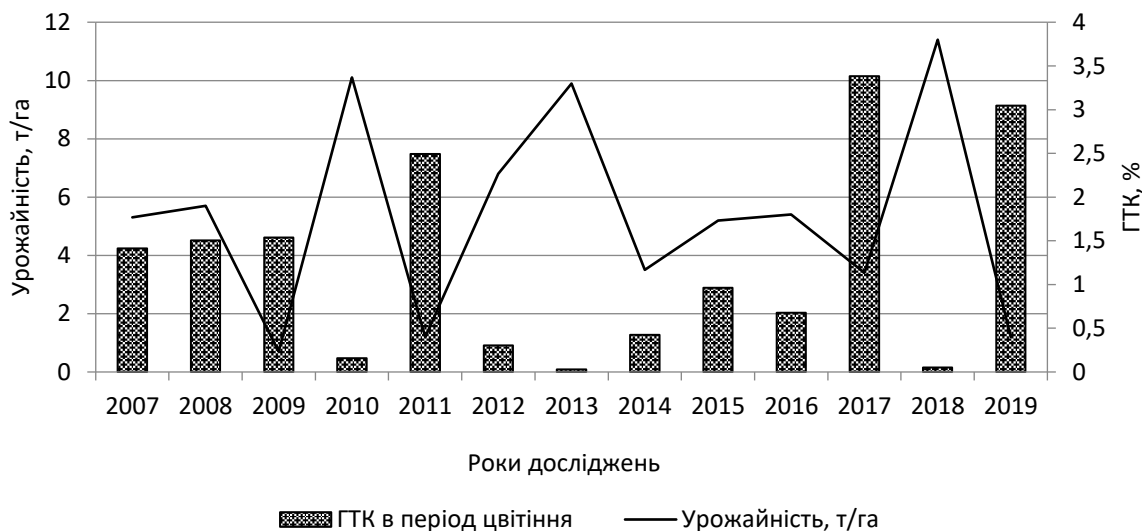


Рис. 7. Гідротермічний коефіцієнт, ГТК (X_5) в період цвітіння та врожайність вишні (Y), 2007-2019 рр.

Аналізом впливу значень суми опадів у період цвітіння на врожайність вишні визначено, що коливання параметра за роками досліджень відбувається в діапазоні від 0,7 до 46,1 мм. Дані табл. 1 підтверджують сильний обернений лінійний кореляційний зв'язок між значеннями суми опадів у період цвітіння (X_8) та врожайністю вишні, $r_{YX_8} = -0,77$. Визначену залежність відображено на рис. 8. Максимальна врожайність досліджуваної культури визначена у роки з

мінімальною кількістю суми опадів у період цвітіння. Так, для 2010, 2013, 2018 років, коли врожайність становила 9,9...11,4 т/га, сума опадів у період цвітіння коливалася від 0,7 до 3,3 мм.

Аналіз причин зниження врожайності при збільшенні показників як суми опадів, так і кількості днів з опадами в період цвітіння, свідчить, що за цих умов може відбуватися гальмування або повне призупинення процесу запилення дерев [2].



Рис. 8. Сума опадів у період цвітіння (X_8) та врожайність вишні (Y), 2007-2019 рр.

Виявлено вплив загальної кількості днів з опадами у період цвітіння на врожайність вишні. У роки з мінімальною кількістю днів з опадами за період цвітіння (2 доби) формуються високі, у межах років, рівні врожайності (рис.9). Стосовно впливу значень загальної кількості днів з опадами у період цвітіння (X_9) на врожайність плодів досліджуваної кісточкової породи визначено сильний, обернений, лінійний, кореляційний зв'язок: $r_{YX_9} = -0,86$ (табл.1). Аналіз причин

зниження врожайності при збільшенні як суми опадів, так і кількості днів з опадами в період цвітіння, засвідчує, що таке явище може бути при гальмуванні або повному призупиненні процесу запилення дерев під впливом опадів [2].

За допомогою множинного лінійного регресійного аналізу на 95% рівні вірогідності побудовано моделі залежності врожайності вишні (Y) від погодних умов (X_i , де $i=1...10$), що склалися в Запорізькій області у 2007 – 2019 рр.



Рис. 9. Загальна кількість днів з опадами в період цвітіння (X_9) та урожайність вишні (Y), 2007-2019 рр.

В табл. 2 наведено парні коефіцієнти кореляції між факторами, які свідчать про сильний лінійний кореляційний зв'язок між ними. Тобто проявляється ефект мультиколеніарності факторів.

Ефект мультиколеніарності підтверджують, також, і великі значення показника фактора інфляції дисперсії VIF (табл. 3).

Таблиця 2

Кореляційна матриця

Фактори	Y	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀
Y	1,000	0,769	0,679	0,759	0,757	0,753	0,839	0,728	0,772	0,864	0,677
X ₁	0,769	1,000	0,545	0,469	0,468	0,518	0,607	0,388	0,618	0,463	0,530
X ₂	0,679	0,545	1,000	0,425	0,706	0,584	0,808	0,676	0,724	0,477	0,719
X ₃	0,759	0,469	0,425	1,000	0,779	0,794	0,590	0,596	0,635	0,798	0,688
X ₄	0,757	0,468	0,706	0,779	1,000	0,672	0,841	0,845	0,652	0,765	0,907
X ₅	0,753	0,518	0,584	0,794	0,672	1,000	0,562	0,674	0,945	0,816	0,742
X ₆	0,839	0,607	0,808	0,590	0,841	0,562	1,000	0,897	0,644	0,700	0,746
X ₇	0,728	0,388	0,676	0,596	0,845	0,674	0,897	1,000	0,722	0,787	0,752
X ₈	0,772	0,618	0,724	0,635	0,652	0,945	0,644	0,722	1,000	0,742	0,728
X ₉	0,864	0,463	0,477	0,798	0,765	0,816	0,700	0,787	0,742	1,000	0,665
X ₁₀	0,677	0,530	0,719	0,688	0,907	0,742	0,746	0,752	0,728	0,665	1,000

Таблиця 3

Показник VIF

Фактори	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀
VIF	15,237	27,050	71,389	105,205	354,957	89,727	74,024	201,828	18,516	51,395

При побудові регресійної моделі залежності врожайності Y вишні від факторів погодних умов ($X_i, i = 1 \dots 10$) більшість факторів виявилися незначними при одночасно великому значенні коефіцієнта детермінації $R^2 = 0,9958$.

Регресійна модель залежності врожайності Y вишні від факторів погодних умов ($X_i, i=1\dots 10$) має вигляд:

$$Y=10,022-0,003X_1-1,151X_2-0,017X_3+0,105X_4+0,049X_5+0,431X_6+0,945X_7-0,187X_8-0,758X_9-0,479X_{10}$$

Усі фактори, за винятком факторів X_6 і X_7 , при перевірці за критерієм Ст'юдента при рівні значущості $\alpha=0,05$ виявилися незначимими.

З метою усунення ефекту мультиколеніарності та побудови ефективної моделі регресії пропонується видалити з розгляду корелюючі фактори та залишити ті з них, які найбільше впливають на продуктивність Y .

З метою виявлення тих факторів, які доречно враховувати, проведено статистичний аналіз регресійних моделей, побудованих за різних доборів факторів та перевірено кожен з розроблених моделей за різними критеріями їх якості.

Як відомо, показником наявності ефекту мультиколеніарності є фактор інфляції дисперсії VIF [20]:

$$VIF = 1/(1 - R_j^2),$$

де R_j^2 – коефіцієнт детермінації регресії фактора X_j від інших факторів.

Вважають, що значення $VIF>10$ свідчить про наявність кореляції даного фактора X з іншими.

Для порівняння якості моделей використовують критерій Акаїке AIC [21].

$$AIC = 2k + n(\ln(2\pi RSS/n) + 1),$$

де $RSS = \sum \varepsilon_i^2$ – остаточної сума квадратів; n – кількість спостережень; k – кількість параметрів регресійної моделі.

Для порівняння регресійних моделей з різною кількістю факторів використовують нормований коефіцієнт детермінації [22]:

$$R_{adjusted}^2 = 1 - (1 - R^2)((n - 1)/(n - k)),$$

де R^2 – коефіцієнт детермінації; n – кількість спостережень; k – кількість параметрів регресійної моделі.

Таким чином, як критерії для порівняння моделей пропонуємо такі: кількість факторів, залучених в моделі, кількість незначущих факторів в моделі, кількість факторів, які мають значення показника $VIF>10$ (тобто кількість факторів, які породжують ефект мультиколеніарності), значення оцінки моделі за критерієм AIC (вважається, що чим кращою є модель, тим менше значення критерію), значення показника нормованого коефіцієнта детермінації $R_{adjusted}^2$. У табл. 4 наведено показники, за якими було порівняно моделі.

Таблиця 4

Порівняння регресійних моделей

Перелік факторів в регресійній моделі	Кількість факторів в моделі	Кількість незначущих факторів в моделі	Кількість факторів, для яких $VIF>10$	Максимальне значення VIF	Оцінка моделі за критерієм AIC	$R_{adjusted}^2$
$X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8, X_9, X_{10}$	10	9	9	324	21,07	0,9749
$X_1, X_2, X_3, X_4, X_6, X_7, X_8, X_9, X_{10}$	9	2	6	82	19,07	0,9833
$X_2, X_3, X_4, X_6, X_7, X_8, X_9, X_{10}$	8	1	3	24	21,33	0,9826
$X_2, X_4, X_6, X_7, X_8, X_9, X_{10}$	7	1	2	14	24,13	0,9799
$X_2, X_6, X_7, X_8, X_9, X_{10}$	6	2	1	11	28,68	0,9722
$X_2, X_3, X_4, X_6, X_7, X_8, X_9, X_{10}$	8	6	3	24	21,33	0,9826
$X_2, X_7, X_8, X_9, X_{10}$	5	4	0	4	57,48	0,7455

Однозначно найкращої моделі за всіма критеріями не визначено. Тому запропоновано визначити найбільш ефективну модель, виходячи з практичної доцільності. Вибираємо модель, у якій, по-перше, найменшим є значення слабко впливових факторів i , по-друге, найбільші значення показника AIC.

Це модель:

$$Y=4,040-0,634X_2+0,054X_4+0,3281X_6+0,670X_7-1,122X_8-0,755X_9-0,392X_{10}$$

Узагальнений коефіцієнт детермінації дорівнює $R_{adjusted}^2 = 0,996$, що свідчить про суттєвий зв'язок виділених факторів з показником Y . Значення статистики при перевірці адекватності моделі за критерієм Фішера $F=84,44$ при значенні $p\text{-value}=6,898 \cdot 10^5$, що свідчить про адекватність моделі за рівня значущості $\alpha=0,05$.

Наведене вище рівняння у цілому є статистично значущим, але все одно воно містить корельовані фактори. Це означає, що хоча описана залежність урожайності вишні від

стресових погодних факторів може служити основою для прийняття деяких управлінських рішень та отримане рівняння регресії можна використовувати для побудови статистичних прогнозів, але робити висновки щодо ступеня впливу кожного фактора окремо на врожайність вишні є неможливим [22, 23].

Висновки та перспективи досліджень. Згідно з узагальненнями, в умовах Південного Степу України визначено вплив погодних факторів регіону на формування рівнів урожайності вишні у межах 2007-2019 років досліджень. Проведення кореляційного аналізу дозволило визначити десять основних погодних факторів, що мають помітний (значний) та сильний, як прямий, так і обернений лінійний кореляційний зв'язок з урожайністю вишні ($r = 0,68...-0,86$). До основних стресових погодних факторів в умовах Південного степу України, що найбільше впливають на врожайність вишні відносять:

– суму активних температур вище 10°C (САТ 10) за вегетаційний період (до періоду досягання плодів); максимальною врожайність вишні за роки досліджень у діапазоні $9,9...11,4$ т/га формувалася на фоні значень САТ10 $1391,6...1499,1^{\circ}\text{C}$ ($r_{YX1} = 0,77$);

– абсолютне з мінімальних значень відносної вологості повітря в травні; найвища врожайність $9,9...11,4$ т/га була отримана при значеннях параметра $13 - 14\%$ у 2013 та 2018 роках ($r_{YX7} = 0,73$);

– коливання середньомісячної суми опадів у серпні по роках досліджень відбувається в діапазоні від 0 до $42,4$ мм; оптимальна врожайність досліджуваної культури визначена у роки з максимальним значенням суми опадів у серпні при їх кількості $36,9...42,4$ мм ($r_{YX6} = 0,84$);

– показник середніх з максимальних значень температур повітря в період цвітіння у досліджуваному інтервалі років коливається в діапазоні $17,8...25,4^{\circ}\text{C}$; у погодного фактора по відношенню до врожайності вишні визначений прямий міцний кореляційний зв'язок – $r_{YX10} = 0,68$;

– різниця між середньою максимальною та мінімальною температурами повітря впродовж 13 років становить від $10,7^{\circ}\text{C}$ до $18,6^{\circ}\text{C}$; а значення r у досліджуваного гідротермічного параметру по відношенню до врожайності вишні – $r_{YX2} = 0,68$;

– сума активних температур вище 10°C (САТ10) у період цвітіння; для забезпечення максимальної врожайності черешні на рівні 2010,

2013 та 2018 років повинна знаходитися у діапазоні значень $209,3...261,4^{\circ}\text{C}$, тенденція підтверджується значенням $r_{YX1} = 0,76$;

– сума ефективних температур вище 10°C в період цвітіння (СЕТ10); діапазон значень досліджуваного показника для отримання максимальної врожайності культури на рівні 2013 та 2018 років повинна становити – $91,4...92,6^{\circ}\text{C}$ ($r_{YX4} = 0,75$);

– гідротермічний коефіцієнт у період цвітіння; значення ГТК для 2010, 2013, 2018 років, в які збирали найвищу врожайність вишні, дорівнює $0,0...0,1$ ($r_{YX5} = -0,75$);

– сума опадів у період цвітіння; максимальна врожайність досліджуваної культури ($9,9 - 11,4$ т/га) визначена в роки з мінімальним значенням суми опадів у період цвітіння на рівні значень від $0,7$ до $3,3$ мм ($r_{YX6} = -0,77$);

– загальна кількість днів з опадами в період цвітіння; в інтервалі досліджуваних років має бути мінімальною не більше 2 діб; між урожайністю та досліджуваним параметром визначено сильну зворотну кореляційну залежність при $r_{YX9} = -0,86$.

Кореляційно-регресійним аналізом, при порівнянні показників критерію АІС, нормованих коефіцієнтів детермінації $R^2_{adjusted}$, кількості незначимих факторів в моделі, показників фактора інфляції дисперсії VIF було побудовано модель:

$$Y = 4,040 - 0,634X_2 + 0,054X_4 + 0,3281X_6 + 0,670X_7 - 1,122X_8 - 0,755X_9 - 0,392X_{10}$$

Розробка останньої дала можливість спрогнозувати урожайність вишні залежно від впливу стресових факторів оточуючого середовища.

Зважаючи на те, що проведений кореляційний аналіз – це початковий етап досліджень зазначених показників, то на перспективу плануємо використати інші статистичні методи та поглиблений регресійний аналіз впливу погодних чинників на врожайність вишні, що дасть можливість проаналізувати ступінь впливу кожного фактора окремо на врожайність вишні. Також доцільно було б проаналізувати вплив агрокліматичних чинників на врожайність вишні у розрізі строків досягання, а також визначити залежність між погодними факторами та товарними якістьми плодів досліджуваної культури.

Список використаних джерел:

1. Галузева програма розвитку садівництва України на період до 2025 року. Київ, 2008. 76с.
2. Шкіндер-Барміна А.М. Господарсько-біологічна оцінка сортів вишні в умовах Південного Степу України: автореферат дис. канд. с.-г. наук: 06.01.07. Київ, 2014. 36 с.

3. Туровцева В.А., Туровцев Н.И., Туровцева Н.Н. Результаты селекции вишни в Институте орошаемого садоводства им. М.Ф. Сидоренка УААН. Сад, вино, виноград Украины. 2007. №3. С. 8-15.
4. Державний реєстр сортів рослин, придатних для поширення в Україні у 2006 році (витяг станом на 7.02.2006 року) / за ред. В.В. Волкодава; Держ. служба з охорони прав на сорти рослин. Київ: Алефа, 2006. 230 с.
5. Туровцева В. А., Туровцев Н. И., Шкиндер-Бармина А. Н., Туровцева Н. Н. Создание сортов вишни и дюков на юге Украины. Методологическое обеспечение селекции садовых культур и винограда на современном этапе. Краснодар, 2013. Т. 1. С. 135-142.
6. Районовані сорти плодкових і ягідних культур селекції Інституту зрошуваного садівництва / за ред. М. І. Туровцева, В. О. Туровцевої. Київ: Аграрна наука, 2002. 148 с.
7. Multicriteria Optimization of Quality Indicators of Sweet Cherry Fruits of Ukrainian Selection During Freezing and Storage / I. Ivanova et al. Modern Development Paths of Agricultural Production: Trends and Innovations. Conference proceedings. 2019. P. 707-717.
8. Effect of Living Mulch on Chlorophyll Index, Leaf Moisture Content and Leaf Area of Sweet Cherry (*Prunus avium* L.) / T. Gerasko et al. Modern Development Paths of Agricultural Production: Trends and Innovations. Conference proceedings. 2019. P. 681-688.
9. Сердюк М. Е., Расторгуев А. Б. Оценка влияния погодных факторов на урожайность яблони в условиях Южной степной зоны Украины. Плодоводство. Самохваловичи, 2013. Т. 25. С.132-140.
10. Атлас перспективных сортов плодовых и ягодных культур Украины / под ред. В. П. Копаня. Київ: Одеск, 1999. 208 с.
11. Бублик М. О. Методологічні та технологічні основи підвищення продуктивності сучасного садівництва. Київ: Нора-Друк, 2005. 288 с.
12. Орехова В. П. Сорта вишни для промышленных садов степного Крыма. Интенсификация селекции и внедрения в производство новых сортов плодовых культур. Ялта, 1989. Т. 107. С. 105-117.
13. Куян В. Г. Спеціальне плодівництво. Київ: Світ, 2004. 464 с.
14. Юшев А. А. Вишня и черешня. Ленинград: Агропромиздат, 1985. 72 с.
15. Сухоцкая С. Г. Зимостойкость сортов и отборных форм вишни степной в лесостепи Омской области. Интродукция и сортоизучение плодово-ягодных культур в Западной Сибири. Новосибирск, 1984. Вып. 3. С. 41-49.
16. Онищук И. С., Сергеев В. Ф., Одинцова В. А. Весенние заморозки и уменьшение их влияния на почки косточковых деревьев. Садоводство и виноградарство. 1997. № 2. С. 5-7.
17. Система ведення сільського господарства Запорізької області. Запоріжжя: ЦНТІ, 2006. 244 с.
18. Експерти пояснили причину «космічних» цін на черешню. UA.NEWS: веб-сайт. URL: <https://ua.news/ua/eksperty-rozysnyly-prychynu-kosmichnyh-tsin-na-chereshnyu/> (дата звернення: 22.07.2019).
19. Serdyuk M., Stepanenko D., Kurchev S. The study of mass loss intensity of plum fruit during storage. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2016. Vol. 1/10, № 79. P. 42-48.
20. Kutner M. H., Nachtsheim C., Neter J. Applied Linear Statistical Models (4thedn.) McGraw-Hill Education, 2004. 701 p. URL: <https://www.amazon.com/Applied-Linear-Regression-Models-Student/dp/0073014664> (Last accessed: 1.11.2019).
21. Akaike H. A new look at the statistical model identification. *IEEE Transactions on Automatic Control*. 1974. Т. 19. С. 716-723.
22. Бахрушин В. Е. Методы оценивания характеристик нелинейных статистических связей. *Системные технологии*. 2011. № 2 (73). С. 9-14.
23. Aiken L. S, West S. G. Multiple regression: Testing and interpreting interaction. Newbury Park. SAGE Publication. Inc, 1991. 224 p.
24. Куприенко Н. В., Пономарева О. А., Тихонов Д. В. Статистические методы изучения связей. Кореляционно-регрессионный анализ: учебное пособие. Санкт-Петербург, 2009. 115 с.

И. Е. Иванова, М. Е. Сердюк, В. М. Малкина, А. Н. Шкиндер-Бармина, И. А. Кривонос. Урожайность вишни в зависимости от климатических условий лет выращивания.

В ходе исследований в результате комплексного использования методов математической статистики были проанализированы 20 парных корреляционных зависимостей на этапах: вегетационный период, цветение, созревание плодов и в период съема урожая. У десяти определено влияние 10 погодных факторов на урожайность вишни за период 2007-2019 гг.

Модель урожайности вишни под влиянием абиотических погодных факторов разработанная нами, имеет следующий вид:

$$Y=4,040-0,634X_2+0,054X_4+0,3281X_6+0,670X_7-1,122X_8-0,755X_9-0,392X_{10}.$$

Данная модель позволяет спрогнозировать урожайность вишни в зависимости от влияния стрессовых факторов погодных условий.

Ключевые слова: урожайность, вишня, погодные факторы, многофакторная модель, температура, осадки, влажность воздуха.

I. Ivanova, M. Serdiuk, V. Malkina, A. Shkinder-Barmina, I. Kryvonos. **Cherry yield depending on the climatic conditions of the cultivation years.**

During the research as a result of the complex use of mathematical statistics methods, 20 paired correlation dependencies were analyzed at the stages: vegetation period, flowering, fruit ripening and during harvesting. Ten weather factors have determined their impact on cherry yield for the period 2007-2019.

The calculated cherry yield model under the influence of abiotic weather factors has the following form:

$$Y=4,040-0,634X_2+0,054X_4+0,3281X_6+0,670X_7-1,122X_8-0,755X_9-0,392X_{10}$$

The development of the latter made it possible to predict the cherry yield depending on the influence of stressful environmental factors.

Keywords: *yield, cherry, weather factors, multifactorial model, temperature, precipitation, humidity.*



Ця робота ліцензована Creative Commons Attribution 4.0 International License