

На правах рукописи



Стародворов Геннадий Александрович

**АГРОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ РЕАКЦИЯ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР И
ПОДСОЛНЕЧНИКА НА ИЗМЕНЕНИЕ УСЛОВИЙ ВНЕШНЕЙ
СРЕДЫ В СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ДОНЕЦКОГО КРЯЖА**

Специальность 06.01.01 – общее земледелие, растениеводство

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата сельскохозяйственных наук

Воронеж
2022

Диссертационная работа выполнена в государственном образовательном учреждении высшего образования луганской народной республики «Луганский государственный аграрный университет» и федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I».

Научный руководитель: доктор сельскохозяйственных наук, профессор,
Заслуженный работник сельского хозяйства РФ
Кадыров Сабир Вагидович

Официальные оппоненты: **Беляков Александр Михайлович**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук (Волгоград), лаборатория агротехнологий и систем земледелия в агролесоландшафтах, главный научный сотрудник;

Боронтов Олег Константинович, доктор сельскохозяйственных наук, федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт сахарной свеклы и сахара имени А.Л. Мазлумова», заведующий лабораторией агротехники и севооборотов.

Ведущая организация: федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Аграрный научный центр «Донской».

Защита диссертации состоится 07 сентября 2022 г. в 12:00 на заседании диссертационного совета Д 220.010.03, созданного на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I» по адресу: 394087, г. Воронеж, ул. Мичурина, 1, ауд. 268; тел./факс: 8(473) 253-86-51; E-mail: d220.010.03@mail.ru.

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в научной библиотеке ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ и на сайтах: ВАК Министерства науки и высшего образования РФ – <http://vak3.ed.gov.ru> и ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ – <http://ds.vsau.ru>.

Автореферат размещен на сайтах и разослан 05 июля 2022 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Т.Г. Ващенко

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Сельское хозяйство является одной из самой труднопрогнозируемой сферой деятельности человека. Эффективность производства продуктов питания в значительной мере зависит от условий произрастания культурных растений. В связи с этим в современных условиях для более эффективного управления продукционным процессом в агрофитоценозах необходима достоверная информация о степени влияния агрометеорологических факторов на урожайность сельскохозяйственных культур.

Для определения зависимости урожайности от факторов среды повсеместно применяются методы математического моделирования, которые позволяют описывать процессы влияния агрометеорологических условий на продуктивность посевов, и методы математической статистики, при помощи которых устанавливают связь урожайности с условиями произрастания. Применение методов моделирования позволяет более полно реализовать потенциальную продуктивность сельскохозяйственных культур и климатического потенциала северной части Донецкого края с одновременным повышением естественного плодородия почвы и улучшением условий внешней среды, что определяет актуальность проведенного исследования.

Степень разработанности темы исследования. Теоретические и методические основы влияния климатических факторов на урожайность сельскохозяйственных культур заложены в работах А.Т. Болотова, А.И. Воейкова, П.И. Броунова, Г.Т. Селянинова и др.

Исследования по изучению влияния абиотической компоненты на формирование урожая проводили О.А. Барсукова (2004), Ф.А. Давлетов (2005), В.П. Дмитренко (2001), К.Г. Селезнев (1995), Л.М. Эзрохин (2002); совместного влияния удобрений и погодных условий на урожайность – С.В. Лукин (2004); цикличности урожайности сельскохозяйственных культур – А.В. Олейник (2003); программирования урожаев – С.В. Кадыров (2005); моделирования и прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур – В.С. Антоненко (2002); прогнозирования агрометеорологических условий – В.М. Просунко (2003). Вопросы прогнозирования распространения основных вредителей полевых культур в агроценозах, связанных с изменением условий внешней среды, рассматривал В.Н. Чайка (2004) и др.

На территории Луганской области изучением метеорологических условий занимались Л.М. Попытченко (2019); изучением многолетней динамики осадков и температуры, разработкой методов моделирования и прогнозирования продуктивности культур в агроценозах – И.Д. Соколов (2018).

В научной литературе имеются противоречивые мнения о величине влияния климатообразующих факторов на урожайность однолетних полевых культур. Недостаточно изучены вопросы отдельного и совместного влияния погодных условий в различные периоды развития растений, а также вопросы, связанные с дальнейшим совершенствованием способов и методов программирования и прогнозирования урожайности с учетом климатических условий.

Степень совместного влияния абиотических факторов на урожайность полевых культур вызывает много споров, этот аспект изучен недостаточно полно и остается актуальным как с научной, так и практической точек зрения.

Цель диссертационного исследования заключается в установлении достоверной связи урожайности зерновых культур, гороха и подсолнечника с агроэкологическими гидротермическими факторами в северной части Донецкого края и обосновании степени зависимости уровня продуктивности полевых культур от изменения условий внешней среды.

В соответствии с целью исследования поставлены следующие **задачи**:

- создать базу данных урожайности полевых культур, атмосферных осадков и среднемесячной температуры воздуха в универсальной интегрированной системе STATISTICA за долгосрочный период времени;
- определить соответствие эмпирического распределения признаков «урожайность», «осадки» и «температура воздуха» нормальному распределению для применения апробированных методов обработки данных;
- разработать и экологически обосновать многофакторную регрессионную модель зависимости продуктивности полевых культур в агроэкосистемах от абиотических факторов среды для вычисления расчетных значений урожайности в пределах интерполяции;
- установить величину и надежность (r -уровень) связи между переменными с применением парного и множественного корреляционно-регрессионного анализа;
- усовершенствовать методику использования регрессионной модели с возможностями экстраполяции для прогнозирования уровня урожайности сельскохозяйственных культур в степных условиях.

Научная новизна диссертационного исследования заключается в получении новых экспериментальных данных, характеризующих величину влияния агроэкологических факторов на урожайность сельскохозяйственных культур, с возможностью верификации результатов исследования.

Установлено, что в условиях северной части Донецкого края урожайность зерновых культур и подсолнечника коррелирует с осадками июня ($r = 0,35$ для зерновых и $r = 0,37$ для подсолнечника), а также с температурой воздуха июня ($r = -0,31$ для озимой пшеницы, $r = -0,49$ для ярового ячменя, $r = -0,60$ для гороха). Для зерновой кукурузы определяющей является температура воздуха июня и июля ($r = -0,31$), а для подсолнечника – температура воздуха июля ($r = -0,24$).

Впервые установлена группа факторов внешней среды, которая достоверно детерминирует урожайность полевых культур в пределах от 69,2 до 86,9%. Неучтенные абиотические, биотические и антропогенные факторы оказывают влияние на изменчивость продуктивности агрофитоценозов Донбасса в пределах от 13,1 до 30,8%.

Теоретически доказана результативность примененных в исследовании методов для определения расчетных значений урожайности сельскохозяйственных культур в области интерполяции.

Разработан алгоритм реализации предложенной регрессионной модели для определения прогнозных значений продуктивности полевых культур.

Разработанная для условий Луганской области модель «Погода – урожайность» успешно применялась в учебно-научно-производственном аграрном комплексе «Колос» ЛГАУ. Связь урожайности озимой пшеницы, ярового ячменя и подсолнечника с осадками и температурой воздуха была тесной и составила соответственно 75,4% ($p = 0,01$), 70,8% ($p = 0,03$) и 78,8% ($p = 0,03$).

Для подтверждения достаточности выбранных параметров среды проведены дополнительные исследования, подтверждающие зависимость температуры почвы от температуры атмосферного воздуха и запасов почвенной влаги от выпадения осадков в производственных посевах озимой пшеницы УНПАК «Колос» ЛГАУ. Установлена положительная корреляция между температурой воздуха и почвы на глубине до 40 см. На глубине расположения узлов кущения установлена максимально значимая положительная коррелятивная связь ($r = 0,60-0,76$; $p \leq 0,001$).

Зависимость запасов продуктивной почвенной влаги от выпадения осадков в посевах озимой пшеницы сорта Дриада 1 на глубине до 50 см составляет $r = 0,75$, а в посевах сорта Одесская 267 на глубине до 100 см $r = 0,68$ ($p \leq 0,001$).

Теоретическая и практическая значимость работы обусловлена комплексным подходом и системным анализом различных аспектов агроэкологической реакции зерновых культур и подсолнечника на изменение условий внешней среды в северной части Донецкого края.

Корреляционно-регрессионный анализ, использованный в исследованиях, позволил оценить совместное влияние агроэкологических факторов на урожайность и выявить ключевые факторы, которые в свою очередь сильно варьируют как в течение вегетационного периода, так и по годам. Стандартное отклонение между минимальной и максимальной среднемесячной температурой воздуха за время исследований изменялось от 1,7 до 4,2 при отклонении между минимальной и максимальной суммой осадков от 14,7 до 38,8.

Обоснован и экспериментально доказан выбор параметров окружающей среды, от которых зависит изменчивость урожайности в северной части Донецкого края.

Установлено, что уровень урожайности сельскохозяйственных культур в условиях степи северной части Донецкого края достоверно связан со значениями количества осадков и температуры воздуха. Об этом свидетельствуют высокие значения коэффициентов множественной корреляции (R): для озимой пшеницы – 0,930, для кукурузы – 0,932, для ячменя – 0,832, для гороха – 0,856, для группы зерновых культур – 0,923 и для подсолнечника – 0,930.

Разработан алгоритм вычисления урожайности полевых культур в области экстраполяции на основании уравнения множественной регрессии:

- для группы зерновых культур

$$y = -11,3331 + (-0,1424) \times (-4,8 \text{ }^{\circ}\text{C}) + (0,1912) \times (-10,5 \text{ }^{\circ}\text{C}) + \dots + 0,0096 \times 15 \text{ мм};$$

- для подсолнечника –

$$y = 0,409733 + (-0,2397) \times (-4,8 \text{ }^{\circ}\text{C}) \times (-0,0926) \times (-10,5 \text{ }^{\circ}\text{C}) + \dots + 0,0264 \times 15 \text{ мм}.$$

Практическая значимость результатов исследования заключается в универсальности разработанной модели. Добавление в нее новых параметров дает возможность для определения совместного или отдельного влияния таких антропогенных факторов, как норма высева семян, количество внесенных органических и минеральных удобрений, пестицидов и др. на продуктивность культурных растений.

Выявленные закономерности являются основанием для выбора сортов и гибридов культурных растений, устойчивых к абиотическим стрессам в годы с прогнозной урожайностью ниже средних значений, и сортов интенсивного типа в благоприятные по погодным условиям годы, а также для проведения корректировки элементов агротехнологий на основании краткосрочного прогноза.

Практическая значимость рекомендаций подтверждается результатами производственной проверки в Луганском институте селекции и технологии, Луганском институте агропромышленного производства УААН и в ООО «Керамик лимитед» Лутугинского района ЛНР.

Результаты экспериментальных исследований имеют принципиальное значение для разработки современных агротехнологий возделывания культур агрофитоценозов на основании прогнозных значений уровня урожайности.

Установленная высокая зависимость урожайности полевых культур от условий произрастания позволит с высокой достоверностью вычислять для степных условий северной части Донецкого края прогнозные значения продуктивности агрофитоценозов по эмпирическим и расчетным значениям осадков и температуры воздуха.

Основные результаты диссертационного исследования используются в учебном процессе Луганского государственного аграрного университета при преподавании учебных курсов по дисциплинам «Основы экологии» и «Биометрия» (справка № 16/45 от 07.05.2013 г.).

Методология и методы исследования. Методология проведенного диссертационного исследования основана на анализе научных трудов и разработок отечественных и зарубежных исследователей и комплексном подходе к изучению поставленной проблемы. В ходе выполнения работы применялись аналитические, математические, статистические, эмпирические, экономические, экспериментальные и др. методы исследований. Лабораторные и полевые опыты проводились по общепринятым методикам.

Положения, выносимые на защиту.

1. Погодные условия в летние месяцы являются ключевыми факторами для роста и развития культурных растений: осадки июня положительно коррелируют с урожайностью зерновых культур и подсолнечника; температура воздуха в июне отрицательно коррелирует с урожайностью зерновых культур, для кукурузы такая связь обнаружена и по июлю, а для подсолнечника – только по июлю.

2. Доля изменчивости продуктивности полевых культур, обусловленная

осадками и температурой, для озимой пшеницы составляет $R_2=0,866$ (86,6%), для кукурузы $R_2=0,869$ (86,9%), для ячменя $R_2=0,692$ (69,2%), для гороха $R_2=0,733$ (73,3%), для группы зерновых культур $R_2=0,852$ (85,2%), для подсолнечника $R_2=0,866$ (86,6%).

3. Усовершенствована методика применения регрессионной модели для определения прогнозных значений урожайности озимой пшеницы на основании фактических и расчетных предикторов для регионального уровня.

Степень достоверности результатов подтверждается большим объемом экспериментальных данных, полученных на основе использования современных методов анализа, их статистической обработкой, а также результатами их внедрения в производственных условиях сельскохозяйственных предприятий ЛНР.

Апробация результатов исследования. Основные положения и результаты диссертационного исследования докладывались на следующих научно-практических конференциях: «Актуальные проблемы современных наук: теория и практика» (Днепропетровск, 2006 г.); «Экология: ученые в решении проблем науки, образования и практики» (Житомир, 2010 г.); «Экология промышленных регионов» (Алчевск, 2010 г.); «Наука и инновации в сельском хозяйстве» (Курск, 2011 г.); «Пути обеспечения экологической безопасности территорий» (Луганск, 2012 г.); «Донецкие чтения 2018: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности» (Донецк, 2018 г.); «Интеграция образования, науки и практики в АПК: проблемы и перспективы» (Луганск, 2021 г.).

Личный вклад соискателя в получении результатов, изложенных в диссертации. Исследования проведены соискателем в учебно-научно-производственном аграрном комплексе «Колос» Луганского государственного аграрного университета, производственная проверка выполнена в Луганском институте селекции и технологии, Луганском институте агропромышленного производства УААН и в ООО «Керамик лимитед» Лутугинского района ЛНР под руководством профессора С.В. Кадырова. Совместно с научным руководителем спланированы и лично проведены полевые опыты, ряд лабораторных исследований, а также выполнен анализ, обобщены результаты, подготовлены к публикации статьи, диссертация и автореферат.

Публикация результатов исследования. Основные положения и результаты диссертационного исследования нашли отражение в 20 опубликованных работах (общий объем – 7,61 п.л., из них подготовлено самостоятельно – 4,88 п.л.), при этом 3 работы опубликованы в рецензируемых научных изданиях.

Объем и структура работы. Диссертационная работа состоит из введения, 5 глав, заключения, предложений производству, списка литературы и приложений, изложена на 203 страницах компьютерного текста, содержит 51 таблицу, 36 рисунков и 4 приложения. Список литературы включает 236 наименований, в том числе 25 источников на иностранных языках.

УСЛОВИЯ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования по теме диссертации проведены на кафедре экологии и природопользования ГОУ ВО ЛНР ЛГАУ и кафедре земледелия, растениеводства и защиты растений ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ.

Донецкий край – это возвышенность на юге Восточно-Европейской равнины. Были изучены климатические условия северной части Донецкого края (до 2014 г. Луганская область Украины). Климат Донбасса континентальный и характеризуется довольно жарким засушливым летом и сравнительно холодной зимой с неустойчивым снежным покровом. Преобладающей воздушной массой является континентальный полярный воздух.

В работе используются статистические данные об урожайности озимой пшеницы, кукурузы, группы зерновых культур и подсолнечника в период с 1945 по 2013 г., то есть за 69 лет. Полные и надежные сведения об урожайности ячменя и гороха в областном управлении статистики имеются лишь с 1975 г., поэтому по этим культурам использовались данные за 39 лет (1975–2013 гг.). Данные о погодных условиях и урожайности сельскохозяйственных культур в УНПАК ЛГАУ «Колос» приводятся с 1995 по 2019 г.

Исходная база данных насчитывает 2058 чисел, из которых 354 – данные об урожайности, 1704 – данные о среднемесячных температурах и месячных суммах осадков. База данных организована по правилам, принятым в системе STATISTICA.

Отличительной особенностью большинства районов северной части Донецкого края является достаточная или избыточная обеспеченность теплом и умеренная или недостаточная обеспеченность осадками. Лето жаркое (выше $+20^{\circ}\text{C}$, максимальная среднемесячная температура воздуха за период исследований зафиксирована на отметке $+26,3^{\circ}\text{C}$ в 2001 г.), среднегодовая температура за 1943–2013 гг. составляет $8,6^{\circ}\text{C}$. Самая низкая среднемесячная температура воздуха зафиксирована на отметке $-18,2^{\circ}\text{C}$ в феврале 1954 г. Наибольшее количество осадков в изучаемый период выпало в июне – 55,8 мм и июле – 53,8 мм; наименьшее – в марте и феврале – соответственно 28,5 и 29,7 мм. Среднее количество осадков за месяц составляет 38,3 мм.

Минимальное количество атмосферных осадков за месяц варьирует от 0 до 3 мм. Максимальное количество осадков выпало в июне 1958 г. – 166 мм, а также в июле 1992 г. – 234 мм. В засушливых условиях северной части Донецкого края выпадение значительного количества осадков в большинстве случаев благоприятно влияет на продуктивность культурных растений.

Теоретической и методической основой исследований является метод математического моделирования, который позволяет описывать процессы влияния агрометеорологических условий на продуктивность посевов в целом, и метод математической статистики, при помощи которого за длительный период установили связь формирования урожая с условиями климата. Для определения зависимости продуктивности основных сельскохозяйственных культур от температуры воздуха и осадков применяли парный и множествен-

ный корреляционно-регрессионный анализ, используя систему STATISTICA (лицензия GGHGGJ6TUABC4RGRHBCG) в среде Windows на персональном компьютере. Информационной базой исследования являются официальные статистические данные Главного управления статистики по Луганской области, Государственного комитета статистики Луганской Народной Республики и Центра гидрометеорологии МЧС ЛНР.

Для измерения дополнительных параметров окружающей среды (температуры почвы, запасов продуктивной влаги и др.) использовали стандартные методы полевых и лабораторных исследований.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Динамика продуктивности озимой пшеницы под влиянием температуры воздуха и атмосферных осадков. Вначале представлена статистическая характеристика распределений температуры воздуха и суммы осадков по месяцам с 1943 по 2013 г. в северной части Донецкого края. В работе рассматривается связь урожайности группы зерновых культур (озимой пшеницы и кукурузы – с 1945 по 2013 г., ячменя и гороха – с 1975 по 2013 г.) и подсолнечника с 1945 по 2013 г. с указанными гидротермическими факторами.

Изложение результатов зависимости урожайности сельскохозяйственных культур от элементов изменяющейся среды производится с использованием единой схемы: анализ основной статистики и распределения признака «урожайность», далее приводятся результаты парного и множественного корреляционно-регрессионного анализа с указанием значений коэффициентов и уровня значимости. Средняя продуктивность озимой пшеницы в период с 1945 по 2013 г. составляла 21,1 ц/га и сильно варьировала по годам ($cv > 40\%$) (Таблица 1).

Таблица 1 – Основная статистика признака «урожайность озимой пшеницы»

Урожайность (средняя за 1945–2013 гг.), ц/га	Размах изменчивости	Стандартное отклонение	Коэффициенты		
			вариации, %	эксцесса	асимметрии
21,1	5,0–39,6	8,5	40,2	–0,53	0,06

В модели «Погода – урожайность озимой пшеницы» рассматривается связь урожайности этой культуры (зависимая переменная) с осадками и температурой воздуха по месяцам (независимые переменные) в степи за два года (с августа по июль). Первый год – условно год, предшествующий посеву, второй год – год посева и уборки урожая. Средняя температура и атмосферные осадки в модели учитываются с августа 1943 г. по июль 2013 г.

Изучали зависимость урожайности озимой пшеницы от 48 независимых переменных (x_1 – x_{48}). За независимые переменные принимали среднемесячные температуры первого (x_1 – x_{12}) и второго года (x_{13} – x_{24}), а также месячные суммы осадков за эти же годы (x_{25} – x_{48}). Значимая положительная корреляция установлена с температурой второго года (вегетация дочерних растений) с

январем ($r = 0,25^*$), февралем ($r = 0,29^*$) и высоко значимая – с температурой марта ($r = 0,38^{**}$) (Таблица 2). Чем теплее эти месяцы, тем выше урожайность полевых культур. Отрицательная корреляция отмечена со среднемесячной температурой июня ($r = -0,31^*$) – в фазу цветения и наступления восковой спелости. Высокая температура в июне сопровождается снижением продуктивности озимой пшеницы.

Таблица 2 – Коэффициенты парной корреляции и регрессии между урожайностью озимой пшеницы и среднемесячной температурой воздуха

Месяцы	Переменные в модели	Коэффициенты		Переменные в модели	Коэффициенты	
		корреляции	регрессии		корреляции	регрессии
1-й год, предшествующий посеву				2-й год посева и уборки урожая		
Август	x ₁	0,04	−0,79541	x ₁₃	0,08	−0,21032
Сентябрь	x ₂	0,07	0,50747	x ₁₄	−0,11	1,11864
Октябрь	x ₃	0,09	−0,51073	x ₁₅	0,03	0,87157
Ноябрь	x ₄	−0,05	−0,29639	x ₁₆	0,09	−1,49243
Декабрь	x ₅	0,23	1,27693	x ₁₇	0,19	1,09882
Январь	x ₆	0,01	−0,36350	x ₁₈	0,25*	−0,34170
Февраль	x ₇	0,02	0,24453	x ₁₉	0,29*	0,36540
Март	x ₈	0,20	1,11458	x ₂₀	0,38**	0,83235
Апрель	x ₉	0,13	−0,67950	x ₂₁	0,13	−0,24251
Май	x ₁₀	−0,02	1,55893	x ₂₂	−0,20	0,52482
Июнь	x ₁₁	−0,06	0,21273	x ₂₃	−0,31*	−0,79307
Июль	x ₁₂	−0,05	−1,70933	x ₂₄	−0,11	−0,27988

Примечание: * – значимы при $p < 0,05$; ** – значимы при $p < 0,01$.

Для определения величины урожая в северной части Донецкого края, находящейся в зоне недостаточного увлажнения, важную роль играют осадки. Отрицательная корреляция установлена с осадками августа ($r = -0,27^*$) и положительная – с суммой осадков за июнь ($r = 0,28^*$) в год, предшествующий посеву полевой культуры.

Связь урожайности с осадками сентября в год посева и уборки урожая составляет $r = 0,34^{**}$, апреля $r = 0,28^*$, мая $r = 0,30^*$, июня $r = 0,30^*$ и июля $r = 0,26^*$, связь значимая и положительная (Таблица 3): чем больше выпадает осадков, тем выше урожай озимой пшеницы и наоборот.

Коэффициент отрицательной парной корреляции между июньскими осадками и температурой составляет $r = 0,40$ ($p \leq 0,001$).

Множественный корреляционно-регрессионный анализ позволяет оценить суммарное влияние 48 учтенных в настоящем исследовании переменных на урожайность озимой пшеницы. Для нахождения расчетных значений урожайности подставляли в уравнение множественной регрессии соответствующие коэффициенты регрессии и значения температуры воздуха и осадков: $y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_{48}x_{48}$.

Таблица 3 – Коэффициенты парной корреляции и регрессии между урожайностью озимой пшеницы и атмосферными осадками

Месяцы	Переменные в модели	Коэффициенты		Переменные в модели	Коэффициенты	
		корреляции	регрессии		корреляции	регрессии
1-й год, предшествующий посеву				2-й год посева и уборки урожая		
Август	x ₁	–0,27*	–0,03118	x ₁₃	–0,07	–0,01749
Сентябрь	x ₂	0,09	–0,05563	x ₁₄	0,34**	0,01782
Октябрь	x ₃	–0,13	0,13125	x ₁₅	–0,16	0,13437
Ноябрь	x ₄	0,04	0,01850	x ₁₆	0,16	0,04519
Декабрь	x ₅	0,11	–0,11604	x ₁₇	0,05	–0,07812
Январь	x ₆	0,15	–0,01615	x ₁₈	0,09	0,02334
Февраль	x ₇	0,12	0,15073	x ₁₉	0,15	0,21622
Март	x ₈	–0,11	–0,13656	x ₂₀	0,12	–0,00893
Апрель	x ₉	0,19	–0,01749	x ₂₁	0,28*	0,10730
Май	x ₁₀	0,06	0,01782	x ₂₂	0,30*	–0,11592
Июнь	x ₁₁	0,28*	0,13437	x ₂₃	0,30*	0,13150
Июль	x ₁₂	0,23	0,04519	x ₂₄	0,26*	0,08661

Примечание: * – значимы при $p < 0,05$; ** – значимы при $p < 0,01$.

Высокую степень совпадения или соответствия фактических и расчетных значений урожайности озимой пшеницы иллюстрируют данные рисунка 1.

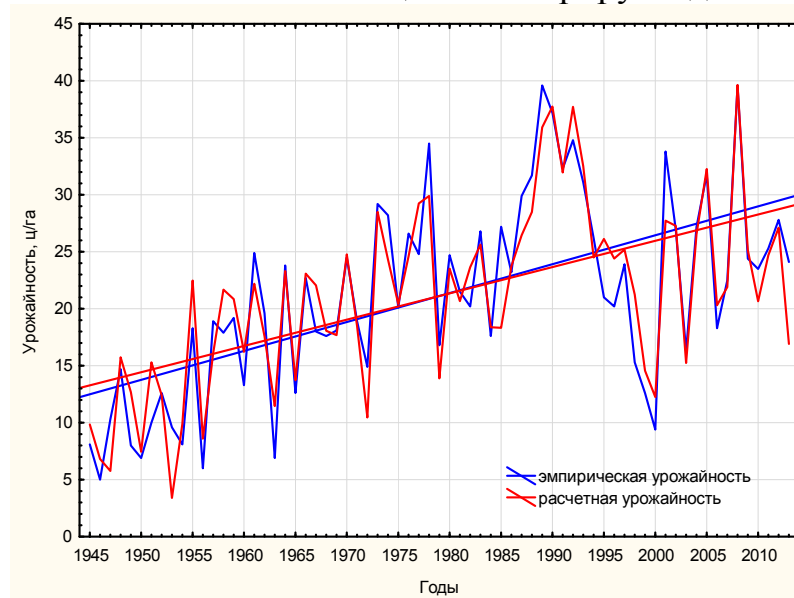


Рисунок 1 – Временные ряды фактической и расчетной урожайности озимой пшеницы

При высоком совпадении фактической и расчетной урожайности озимой пшеницы коэффициент множественной линейной корреляции очень высокий ($R = 0,9304$) и значимый ($p = 0,009$). Квадрат коэффициента множественной линейной корреляции R^2 , который называют коэффициентом множественной

линейной детерминации, показывает долю изменчивости зависимой переменной, обусловленную исследованными независимыми переменными. В данном случае эта доля составляет $R^2 = 0,8656$. Иначе говоря, более 86% (86,6%) изменчивости по годам урожайности озимой пшеницы определяется погодными условиями, а именно температурой и осадками, они являются главными лимитирующими факторами, детерминирующими урожайность озимой пшеницы в северной части Донецкого края.

По аналогичной схеме исследовалась зависимость изменчивости продуктивности кукурузы, ячменя ярового, гороха, группы зерновых культур и подсолнечника под влиянием осадков и температуры. Отличие заключается в подборе независимых переменных для озимой пшеницы и яровых культур и в модификации (упрощении) модели для ячменя и гороха. Временные ряды расчетных и эмпирических значений урожайности зерновых культур и подсолнечника представлены на рисунке 2 а, б.

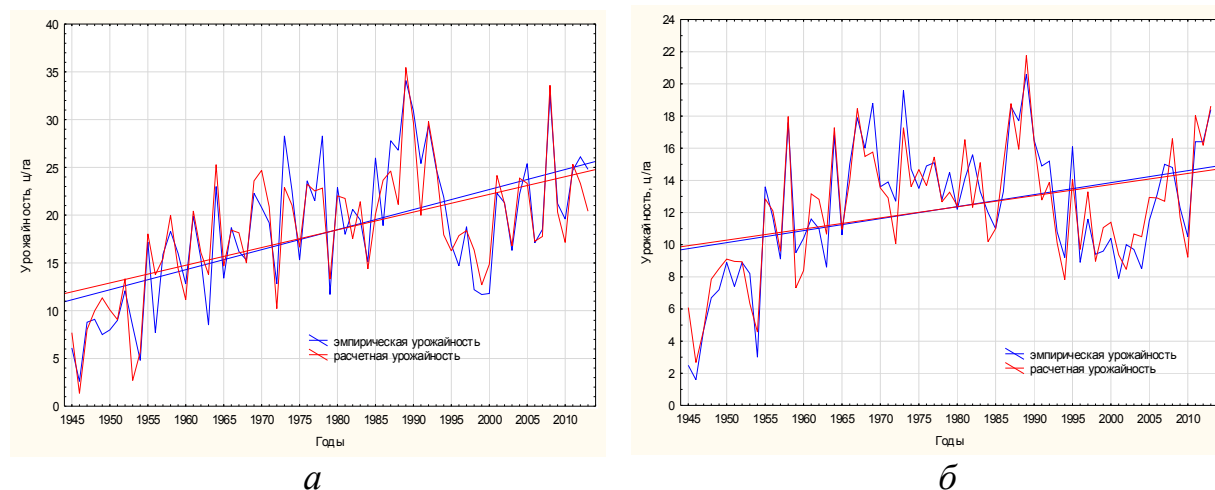


Рисунок 2 – Временные ряды расчетных и фактических величин урожайности:
а – зерновых культур, б – подсолнечника

Несмотря на положительную корреляционную связь гидротермического коэффициента (ГТК) с урожайностью полевых культур, этот показатель менее пригоден для построения регрессионных моделей по сравнению с температурой воздуха и суммой осадков. ГТК является расчетным показателем и имеет более низкие коэффициенты корреляции и коэффициенты детерминации ($R^2 = 0,27-0,40$), в связи с чем он не был включен нами в математические модели. Основные особенности математических моделей связи урожайности полевых культур с элементами климата приведены в таблице 4.

Наиболее высокие коэффициенты детерминации установлены для кукурузы ($R^2 = 86,9$), озимой пшеницы ($R^2 = 86,6$), подсолнечника ($R^2 = 86,6$) и группы зерновых культур ($R^2 = 85,2$). Меньшие по величине коэффициенты множественной детерминации установлены по гороху ($R^2 = 73,3$) и яровому ячменю ($R^2 = 69,2$). К зерновым культурам принято относить как истинно зерновые культуры (пшеница, кукуруза, ячмень и др.), так и крупяные культуры. Кроме того, к зерновым в целом относят и зернобобовые культуры, из которых в степи ЛНР возделывают преимущественно горох.

Таблица 4 – Сводные результаты множественного корреляционно-регрессионного анализа изменчивости продуктивности полевых культур

Культуры	Количество		Коэффициенты множественной		Вероятность ошибки (p-уровень)
	лет наблюдений	переменных в модели	корреляции	детерминации, %	
Озимая пшеница	69	48	0,9304	86,6	0,009
Кукуруза на зерно	69	48	0,9325	86,9	0,007
Яровой ячмень	39	19	0,8321	69,2	0,04
Горох	39	19	0,8563	73,3	0,01
Зерновые	69	48	0,9229	85,2	0,018
Подсолнечник	69	48	0,9305	86,6	0,009

Применение экологически обоснованной регрессионной модели с возможностью экстраполяции для прогнозирования урожайности озимой пшеницы. Высокие показатели зависимости агрофитоценозов степи от исследованных факторов внешней среды дают основание для применения разработанной многофакторной регрессионной модели в области экстраполяции для расчета прогнозных значений урожайности.

Преимущество данного способа прогнозирования в сравнении со способами, основанными исключительно на анализе временных рядов, заключается в экологически обоснованном подходе (использование значений температуры воздуха и осадков за долгосрочный период времени) и в возможности корректировки прогноза к началу весенне-полевых работ. Каждый год в уравнение множественной регрессии добавляются новые зависимые (урожайность) и независимые (значения осадков и температуры) переменные – всего 25 переменных. В первоначальную модель (69 лет наблюдений) добавили еще 6 лет наблюдений за урожайностью озимой пшеницы с временно неподконтрольной ЛНР территории Луганской области (2014–2019 гг.).

Сложность применения экологически обоснованной регрессионной модели заключается в необходимости ежегодного добавления независимых переменных, изменения независимого члена и коэффициентов множественной корреляции, расчета прогнозных значений недостающих независимых переменных, выполнения большого объема вычислений, а также в невозможности одновременного вычисления прогнозных значений урожайности на несколько лет вперед (Таблица 5).

Для прогноза урожайности озимой пшеницы в 2021 году по предложенной автором модели к моменту посева (начало сентября) в 2020 г. известны значения температуры и осадков с августа 2019 г. – год перед посевом по август 2020 г. – год посева (26 значений независимых переменных).

Неизвестные значения осадков и температуры воздуха с сентября 2020 г. по июль 2021 г. прогнозировали в системе Statistica, используя базу данных о климате (сумме осадков и температуре воздуха) с 1838 по 2020 г. Далее эти результаты суммируются и добавляются к независимому члену уравнения регрессии (Таблица 5).

Таблица 5 – Результаты вычисления прогнозного значения урожайности озимой пшеницы в 2021 г.

№	a_1-a_{24}	x_1-x_{24}	Результаты умножения	№	$a_{25}-a_{48}$	$x_{25}-x_{48}$	Результаты умножения
1	-0,14983	20,3	-3,041549	25	-0,05847	0	0
2	0,13764	14,7	2,023308	26	0,06285	18	1,1313
3	-0,29704	10,8	-3,208032	27	-0,04602	41	-1,88682
4	-0,44447	3,6	-1,600092	28	-0,00896	27	-0,24192
5	0,59952	1,8	1,079136	29	0,02382	14	0,33348
6	-0,30358	0,7	-0,212506	30	0,11199	28,9	3,236511
7	0,01344	0,2	0,002688	31	-0,06956	57,0	-3,96492
8	0,95196	7,0	6,66372	32	-0,04832	7,6	-0,367232
9	-0,31114	8,5	-2,64469	33	0,02506	9,7	0,243082
10	1,00148	14,8	14,821904	34	0,03314	64,9	2,150786
11	0,85136	23,0	19,58128	35	0,02946	6,2	0,182652
12	-1,21483	24,1	-29,277403	36	0,00249	40,4	0,100596
13	-0,10620	21,8	-2,31516	37	0,00510	9,8	0,04998
14	0,24404	16,82124*	4,10505541	38	0,13456	39,3823*	5,2992783
15	0,60612	9,227356*	5,59288502	39	-0,04183	39,8685*	-1,6676989
16	-0,62999	3,465471*	-2,18321208	40	0,03539	28,1036*	0,9945878
17	0,45563	-0,58834*	-0,26806535	41	-0,05706	42,2366*	-2,4100198
18	0,16126	-3,7886*	-0,61094964	42	0,09829	42,3649*	4,1640421
19	-0,14628	-2,3425*	0,3426609	43	0,03498	30,4308*	1,0644701
20	0,74732	3,13757*	2,34476881	44	0,01829	37,9949*	0,6949269
21	0,23290	10,69823*	2,49161777	45	0,03723	42,8345*	1,5947292
22	0,39629	17,4830*	6,92833807	46	0,12829	47,7788*	6,1295423
23	-0,00336	21,59578*	-0,07256182	47	0,04894	52,4512*	2,5669617
24	-0,35167	23,98194*	-8,43372884	48	0,03025	54,4352*	1,6466645
Сумма результатов умножения							33,154391

Примечание: * – прогнозные значения температуры воздуха и осадков.

Независимый член в уравнении регрессии равен (-6,22768), прогнозная урожайность на основании разработанной регрессионной модели для 2021 г. составила 26,9 ц/га.

Связь продуктивности агрофитоценозов с гидротермическими факторами в УНПАК «Колос» ЛГАУ. Для обоснования связи атмосферных осадков и температуры воздуха с запасами продуктивной влаги и температурой почвы проводили наблюдения на полях УНПАК «Колос» Луганского государственного аграрного университета в посевах озимой пшеницы.

В степных условиях перезимовки озимой пшеницы включили в исследование изучение температурного режима января – наиболее холодного месяца (Таблица 6), а также – мая и июня.

Таблица 6 – Зависимость температуры почвы (t) от температуры атмосферного воздуха в январе

Годы	Значения коэффициентов корреляции						
	t на поверхности почвы		t на глубине				
	макс.	мин.	5 см	10 см	15 см	20 см	40 см
2009	0,87***	0,93***	0,71***	0,63***	0,51**	0,46**	0,41*
2010	0,90***	0,93***	0,60***	0,52**	0,38*	0,37*	0,36*
2011	0,87***	0,88***	0,76***	0,66***	0,59***	0,55**	0,45*

Примечание: * – значимы при $p < 0,05$; ** – значимы при $p < 0,01$; *** – значимы при $p < 0,001$.

На глубине залегания узлов кущения (3–4 см) между температурой воздуха и почвы была установлена максимально значимая положительная коррелятивная связь в 2009–2011 гг. ($r = 0,60$ – $0,76$ ***).

Значения минимальной суточной температуры атмосферного воздуха в январе сильно изменяются из года в год и оказывают значительное влияние на температуру почвы и, как следствие, на уровень урожайности озимых культур. Установлено уменьшение коррелятивных связей на глубине: чем больше глубина, тем меньше связь температуры атмосферного воздуха с температурой почвы (Таблица 6). Отмечалось существенное влияние на урожайность озимой пшеницы погодных условий мая и июня. В таблицах 7 и 8 приведены коэффициенты парной корреляции между температурой почвы на разных глубинах и среднесуточной температурой воздуха.

Таблица 7 – Зависимость температуры почвы (t) от среднесуточной температуры атмосферного воздуха в мае

Годы	Значения коэффициентов корреляции						
	t на поверхности почвы		t на глубине				
	макс.	мин.	5 см	10 см	15 см	20 см	40 см
2009	0,69***	0,33	0,91***	0,89***	0,86***	0,81***	–0,33
2010	0,39*	0,69***	0,68***	0,64***	0,59***	0,55**	–0,19
2011	0,58***	–0,08	0,76***	0,78***	0,78***	0,68***	–0,28

Примечание: * – значимы при $p < 0,05$; ** – значимы при $p < 0,01$; *** – значимы при $p < 0,001$.

Таблица 8 – Зависимость температуры почвы (t) от среднесуточной температуры атмосферного воздуха в июне

Годы	Значения коэффициентов корреляции						
	t на поверхности почвы		t на глубине				
	макс.	мин.	5 см	10 см	15 см	20 см	40 см
2009	0,71***	0,73***	0,95***	0,94***	0,89***	0,83***	–0,29
2010	0,43*	0,76***	0,57**	0,71***	–0,06	0,48**	–0,24
2011	0,58***	–0,02	0,76***	0,78***	0,78***	0,66***	–0,17

Примечание: * – значимы при $p < 0,05$; ** – значимы при $p < 0,01$; *** – значимы при $p < 0,001$.

В большинстве случаев наблюдается достоверная связь указанных показателей на глубине 5, 10, 15 и 20 см, а на глубине 40 см связь незначимая. Учитывая, что температура почвы в январе, мае и июне достоверно связана с температурой атмосферного воздуха, наша регрессионная модель косвенно учитывает и этот фактор.

Распределение запасов продуктивной влаги в почве производственных посевов озимой пшеницы сорта Дриада 1 в УНПАК ЛГАУ «Колос» в наиболее важном для зерновых культур июне месяце в зависимости от количества атмосферных осадков за 2009–2011 гг. представлено в таблице 9.

Таблица 9 – Запасы продуктивной влаги в производственных посевах озимой пшеницы Дриада 1 в УНПАК «Колос» ЛГАУ в июне

Годы	Количество осадков, мм	Декады	Количество осадков по декадам, мм	Продуктивная влага в почве, мм		
				0–20 см	0–50 см	0–100 см
2009	311,9	1	1,7	9	31	70
		2	8,1	6	14	38
		3	0,0	3	11	27
2010	545,4	1	0,0	23	61	116
		2	9,2	12	37	73
		3	11,2	14	41	67
2011	567,5	1	3,1	5	24	57
		2	20,1	26	47	99
		3	127,9	46	84	123
Значения коэффициентов корреляции между количеством осадков по декадам и продуктивной влагой в почве				0,86**	0,75*	0,58

Примечание: * – значимы при $p < 0,05$; ** – значимы при $p < 0,01$.

Наблюдается достоверная положительная связь между количеством выпавших осадков (по декадам) и запасами продуктивной влаги в почве на глубине до 50 см, коэффициенты парной корреляции: в слое 0–20 см – 0,86** ($p < 0,01$) и в слое 0–50 см – 0,75* ($p < 0,05$).

Аналогичные исследования были проведены в производственных посевах озимой пшеницы сорта Одесская 267. Установлена достоверная связь между количеством выпавших осадков по декадам и запасами продуктивной влаги в почве на глубине до 100 см при следующих коэффициентах корреляции:

- в слое 0–20 см – 0,77* ($p < 0,05$),
- в слое 0–50 см – 0,75* ($p < 0,05$),
- в слое 0–100 см – 0,68* ($p < 0,05$).

Разработанная для регионального уровня модель «Погода – урожайность» успешно применялась для определения зависимости урожайности озимой пшеницы и ярового ячменя с 1995 по 2019 г., урожайности подсолнечника с 1995 по 2017 г. в условиях УНПАК «Колос» ЛГАУ.

При относительно равном количестве лет наблюдений и количестве независимых переменных в модели – наибольшая зависимость урожайности от лимитирующих гидротермических факторов (осадков и температуры) обнаружена по подсолнечнику:

- коэффициент множественной корреляции равен $R = 0,8876$;
- коэффициент множественной детерминации $R^2 = 78,8$;
- вероятность ошибки – 3%, т.е. модель адекватна.

Другими словами, 78,8% изменчивости продуктивности масличной культуры зависит от соотношения атмосферных осадков и температуры воздуха (Таблица 10).

Таблица 10 – Результаты множественного корреляционно-регрессионного анализа изменчивости продуктивности агроценозов УНПАК «Колос» ЛГАУ

Культуры	Число лет	Число независимых переменных в модели	Коэффициенты множественной		Вероятность ошибки (p-уровень)
			корреляции	детерминации, %	
Пшеница озимая	24	10	0,8685	75,4	0,01
Ячмень яровой	24	10	0,8412	70,8	0,03
Подсолнечник	22	11	0,8876	78,8	0,03

Ежемесячное воздействие осадков (как и при их наличии, так и при их отсутствии) и температура воздуха оказывают лимитирующее воздействие на формирование урожая озимой пшеницы и ярового ячменя в условиях УНПАК «Колос» ЛГАУ. Детерминация урожайности озимой пшеницы и ярового ячменя гидротермическими факторами составляет соответственно 75,4% ($p = 0,01$) и 70,8% ($p = 0,03$).

Производственную проверку и внедрение полученных результатов исследований осуществляли в ГОУ ВО ЛНР Луганский государственный аграрный университет, Луганском институте селекции и технологии (ЛИСТ), в Луганском институте агропромышленного производства УААН и в ООО «Керамик лимитед» Славяносербского района ЛНР.

В 2019 г. площадь возделывания озимой пшеницы сортов Губернатор Дона и Северодонская юбилейная в ООО «Керамик лимитед» составила 500 га. До начала сева по известным и прогнозным климатическим показателям была рассчитана урожайность на уровне 27,2 ц/га. Погодные условия 2019 г. отличались от многолетних показателей отсутствием осадков в августе, а в сентябре выпало 18 мм.

Применялась региональная научно обоснованная технология возделывания озимой пшеницы, включающая своевременное выполнение всех запланированных агротехнических мероприятий. На основании прогноза урожайности до посева и до начала полевых работ проводилась корректировка агротехнических мероприятий, в результате фактическая урожайность пшеницы составила 21,4 ц/га, что на 5,8 ц/га ниже запрограммированной.

В условиях хозяйства формирование собственной базы данных, включающей сведения о продуктивности полевых культур и о структурных элементах климатопы, позволило с большей точностью прогнозировать урожайность на основании предложенной прогностической модели «Погода – урожайность».

Наибольшая зависимость урожайности от совместного влияния гидротермических факторов в УНПАК «Колос» ЛГАУ обнаружена по подсолнечнику:

- коэффициент множественной корреляции $R = 0,8876$;
- коэффициент множественной детерминации $R^2 = 78,8$;
- вероятность ошибки – 3%.

Другими словами, более 78% продуктивности масличной культуры зависит от влияния осадков и температуры воздуха.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Выявлены факторы, лимитирующие продуктивность агроценозов степи в северной части Донецкого края. Под их воздействием уровень урожайности полевых культур, выращиваемых по научно обоснованной зональной системе земледелия, изменяется от 4,8 ц/га до 34,1 ц/га по зерновым и от 3 ц/га до 20,6 ц/га по подсолнечнику.

2. Установлено, что ключевыми компонентными факторами, определяющими урожайность зерновых культур и подсолнечника, являются осадки июня года уборки урожая:

- для зерновых – $r = 0,35^{**}$;
- для подсолнечника – $r = 0,37^{**}$.

3. Наиболее значимым компонентным фактором является также температура июня:

- для озимой пшеницы – $r = -0,31^{*}$;
- для ярового ячменя – $r = -0,49^{**}$;
- для гороха – $r = -0,60^{***}$;
- для группы зерновых культур – $r = -0,35^{**}$;
- для кукурузы определяющей является температура июня и июля – $r = -0,31^{*}$;
- для подсолнечника решающее значение имеет температура июля – $r = -0,24^{*}$.

4. Обоснована зависимость продуктивности полевых культур от совместного влияния гидротермических факторов в северной части Донецкого края (R):

- для озимой пшеницы – 0,930;
- для кукурузы – 0,932;
- для ячменя – 0,832;
- для гороха – 0,856;
- для группы зерновых культур – 0,923;
- для подсолнечника – 0,930.

5. Определена доля изменчивости урожайности полевых культур, обусловленная осадками и температурой воздуха. Коэффициенты множественной детерминации (R^2 , %) значимы и составляют:

- для озимой пшеницы – 86,6%;
- для кукурузы – 86,9%;
- для ячменя – 69,2%;
- для гороха – 73,3%;
- для зерновых – 85,2%;
- для подсолнечника – 86,6%.

6. Разработан алгоритм применения разработанной экологически обоснованной регрессионной модели «Погода – урожайность» в области экстраполяции на примере озимой пшеницы. В 2021 г. урожайность прогнозировали на уровне 26,9 ц/га.

7. Установлена положительная корреляция между температурой атмосферного воздуха и температурой почвы в производственных посевах озимой пшеницы УНПАК «Колос» ЛГАУ в январе на глубине до 40 см, понижение температуры воздуха сопровождается снижением температуры почвы. На глубине до 5 см связь максимально значимая. В мае и в июне коррелятивная связь установлена до глубины 20 см.

8. Выявлена достоверная связь между количеством выпавших осадков в июне и запасами продуктивной почвенной влаги в посевах озимой пшеницы сорта Дриада 1 на глубине до 50 см: в слое 0–20 см $r = 0,86$ и в слое 0–50 см $r = 0,75$; в посевах сорта Одесская 267 на глубине до 100 см: в слое 0–20 см $r = 0,77$, в слое 0–50 см $r = 0,73$ и в слое 0–100 см $r = 0,68$.

9. Детерминация урожайности озимой пшеницы, ярового ячменя и подсолнечника (R^2 , %) осадками и температурой воздуха в УНПАК ЛГАУ «Колос» составляет соответственно 75,4% ($p = 0,01$), 70,8% ($p = 0,03$) и 78,8% ($p = 0,03$). Соотношение ежемесячного количества осадков и среднемесячной температуры воздуха оказывает лимитирующее воздействие на формирование урожая.

Предложения производству

Перед посевом зерновых культур и подсолнечника рекомендуется определить уровень прогнозируемой урожайности с учетом суммы осадков и температуры воздуха по предложенным автором уравнениям регрессии.

Для озимой пшеницы:

$$y = 34,74650 + (-0,79541) \times 21,1^\circ\text{C} + 0,50747 \times 15,4^\circ\text{C} + \dots + 0,02551 \times 31,0 \text{ мм};$$

для зерновой кукурузы:

$$y = -5,11455 + (-0,02228) \times (-4,8^\circ\text{C}) + (-0,24201) \times (-10,5^\circ\text{C}) + \dots + (0,02985) \times 15 \text{ мм};$$

для ярового ячменя:

$$y = 64,66473 + (-0,55861) \times 1,9^\circ\text{C} + (-0,22272) \times (11,7^\circ\text{C}) + \dots + (-0,00352) \times 31 \text{ мм};$$

для гороха:

$$y = 68,12070 + (-0,26968) \times (1,9^\circ\text{C}) + (-0,07507) \times 11,7^\circ\text{C} + \dots + 0,02124 \times 31 \text{ мм};$$

для зерновых культур:

$$y = -11,33314 + (-0,1424) \times (-4,8^\circ\text{C}) + (0,1912) \times (-10,5^\circ\text{C}) + \dots + 0,0096 \times 15 \text{ мм};$$

для подсолнечника:

$$y = 0,409733 + (-0,239710) \times (-4,8^\circ\text{C}) \times (-0,092654) \times (-10,5^\circ\text{C}) + \dots + 0,026373 \times 15 \text{ мм}.$$

2. С учетом прогнозируемого уровня урожайности агрономам и руководителям хозяйств следует внести корректировки в технологии выращивания выбранной сельскохозяйственной культуры, включая подбор сортов, сроков посева и норм высева семян, объемов и сроков внесения удобрений и др.

Перспективы дальнейшей разработки темы исследования

Перспективы дальнейшей разработки темы диссертационного исследования связаны возможностью использования разработанного алгоритма применения предложенной регрессионной модели для определения прогнозных значений продуктивности полевых культур в степных условиях северной части Донецкого края. Результаты экспериментальных исследований имеют принципиальное значение для разработки современных агротехнологий возделывания культур агрофитоценозов на основании прогнозных значений уровня урожайности.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в рецензируемых научных изданиях

1. Стародворов, Г.А. Связь продуктивности гороха с элементами климата на востоке Украины / Г.А. Стародворов // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. – 2013. – № 6. – С. 35–37 (0,37 п.л.).
2. Стародворов, Г.А. Влияние температуры атмосферного воздуха на тепловой режим почвы в Луганской области / Г.А. Стародворов // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии имени В.Р. Филиппова. – 2016. – № 4(45). – С. 139–143 (0,62 п.л.).
3. Стародворов, Г.А. Экологическая реакция озимой пшеницы на изменение условий внешней среды в северной части Донецкого края / Г.А. Стародворов, С.В. Кадыров // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – 2021. – № 12. – С. 53–58. DOI: 10.36718/1819-4036-2021-12-53-58 (0,75 / 0,5 п.л.).

Публикации в сборниках и научных изданиях

4. Стародворов, Г.А. Влияние температуры воздуха и осадков на урожайность зерновых в целом / Г.А. Стародворов // Сборник научных трудов Луганского национального аграрного университета. – 2006. – № 66(89). – С. 143–147 (0,31 п.л.).
5. Стародворов, Г.А. Связь урожайности кукурузы на зерно с температурой воздуха и осадками / Г.А. Стародворов // Научные труды Южного филиала Национального аграрного университета биоресурсов и природопользования Украины «Крымский агротехнологический университет». – 2006. – № 96. – С. 146–150 (0,31 п.л.).

6. Стародворов, Г.А. Зависимость изменчивости урожайности подсолнечника от температуры воздуха и осадков / Г.А. Стародворов, И.Д. Соколов // Збірник наукових праць Луганського національного аграрного університету. – 2006. – № 58(81). – С. 112–116 (0,31 / 0,15 п.л.).
7. Стародворов, Г.О. Зв'язок природних агроекологічних чинників з урожайністю основних сільськогосподарських культур / Г.О. Стародворов // Збірник наукових праць Уманського державного аграрного університету. – 2007. – № 64. – С. 44–48 (0,31 п.л.).
8. Стародворов, Г.А. Математическая модель зависимости урожайности озимой пшеницы от некоторых климатических факторов / Г.А. Стародворов // Збірник наукових праць Луганського національного аграрного університету. – 2007. – № 77(100). – С. 100–104 (0,31 п.л.).
9. Стародворов, Г.А. Обоснование зависимости запасов продуктивной влаги в почве от количества атмосферных осадков / Г.А. Стародворов // Науковий вісник Луганського національного аграрного університету. – 2013. – № 48. – С. 97–99 (0,18 п.л.).
10. Соколов, И.Д. Адаптация земледелия Луганщины к изменению количества осадков / И.Д. Соколов, Е.Д. Долгих, О.М. Медведь, Г.А. Стародворов и др. // Научный вестник ГОУ ЛНР «Луганский национальный аграрный университет». – 2020. – № 8(1). – С. 184–195 (0,66 / 0,13 п.л.).
11. Соколов, И.Д. Связь урожайности озимой пшеницы в Луганщине с основными климатическими факторами и проблема климатического оптимума / И.Д. Соколов, О.М. Медведь, А.В. Кармазина, Г.А. Стародворов // Научный вестник ГОУ ЛНР «Луганский национальный аграрный университет». – 2019. – № 7(2). – С. 423–435 (0,16 / 0,04 п.л.).
12. Соколов, И.Д. Прогнозирование урожайности озимой пшеницы в Луганщине разными методами / И.Д. Соколов, О.М. Медведь, А.В. Кармазина, Г.А. Стародворов // Научный вестник ГОУ ЛНР «Луганский национальный аграрный университет». – 2019. – № 6(2). – С. 265–279 (1,00 / 0,3 п.л.).

Публикации в аналитических сборниках и материалах конференций

13. Стародворов, Г.А. Влияние температуры воздуха и осадков на урожайность ярового ячменя на юго-востоке Украины / Г.А. Стародворов // Актуальні проблеми сучасних наук: теорія та практика – 2006: матер. III науково-практичної конференції (16–30 червня 2006 р.). – Дніпропетровськ, 2006. – С. 54–56 (0,18 п.л.).
14. Стародворов, Г.А. Влияние структурных элементов климатопы на продуктивность озимой пшеницы в Луганской области / Г.А. Стародворов // Екологія: вчені у вирішенні проблем науки, освіти і практики: матер. III науково-практичної конференції (25–26 березня 2010 р.). – Житомир, 2010. – С. 151–153 (0,18 п.л.).
15. Стародворов, Г.А. Научное прогнозирование урожайности озимой пшеницы различными методами на примере Луганской области / Г.А. Старо-

дворов // Экология промышленных регионов: матер. Всеукраїнської науково-практичної конференції (5 червня 2010 р.). – Алчевськ, 2010. – С. 56–57 (0,12 п.л.).

16. Стародворов, Г.А. Связь продуктивности агрофитоценозов с климатическими факторами на востоке Украины / Г.А. Стародворов // Наука и инновации в сельском хозяйстве: матер. международной научно-практической конференции (26–28 января 2011 г.). – Курск, 2011. – С. 148–150 (0,18 п.л.).

17. Стародворов, Г.А. Динамика продуктивности озимой пшеницы в УНПАК ЛНАУ «Колос» / Г.А. Стародворов, В.А. Хаванская // Шляхи забезпечення екологічної безпеки територій: матер. науково-практичної конференції (9 лютого 2012 р.). – Луганск, 2011. – С. 183–185 (0,18 / 0,09 п.л.).

18. Стародворов, Г.А. Динамика запасов продуктивной влаги в производственных посевах УНПАК ЛНАУ «Колос» / Г.А. Стародворов, Т.А. Вусцена, С.В. Степанова // Современные экологические проблемы и пути их решения: матер. I Международной научно-практической конференции (22–23 ноября 2016 г.). – Луганск, 2016. – С. 388–394 (0,37 / 0,12 п.л.).

19. Соколов, И.Д. Прогнозы урожайности озимой пшеницы в Луганщине / И.Д. Соколов, О.М. Медведь, А.В. Кармазина, Г.А. Стародворов // Донецкие чтения 2018: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности: матер. III Международной научной конференции (25 октября 2018 г.). – Донецк, 2018. – С. 265–279 (0,93 / 0,23 п.л.).

20. Стародворов, Г.А. Экологическая реакция озимой пшеницы на изменение условий внешней среды / Г.А. Стародворов, Е.Д. Долгих // Интеграция образования, науки и практики в АПК: проблемы и перспективы: матер. Международной научно-практической конференции (09–11 ноября 2021 г.). – Луганск, 2021. – С. 56–58 (0,18 / 0,09 п.л.).

Подписано в печать 01.07.2022. Формат 60x84¹/₁₆.
Усл. печ. л. 1,0. Печать ризографическая.
Тираж 100 экз. Заказ № _____,

Отпечатано в ФЛП Пальчак Андрей Владимирович
Свидетельство субъекта издательского дела
МИ-СГР ИД № 11-0012502 от 25.11.2015 г.
91061, г. Луганск, ул. Коцюбинского, 2 оф.2,
тел: +38-(0642)-55-19-83, e-mail: elton2lug@mail.ru