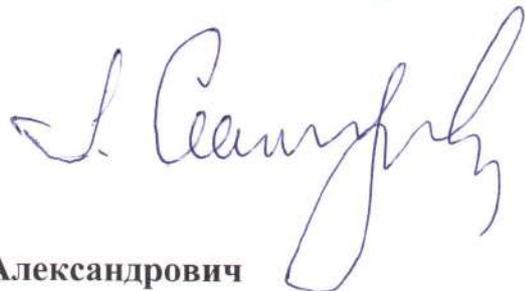


**Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Воронежский государственный аграрный университет
имени императора Петра I»**

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

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание учёной степени
кандидата сельскохозяйственных наук

Научный руководитель:
доктор сельскохозяйственных наук,
профессор С.В. Кадыров

Воронеж – 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1 КЛИМАТИЧЕСКИЕ И ПОГОДНЫЕ ФАКТОРЫ, ИХ ВЛИЯНИЕ НА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЕ ПРОИЗВОДСТВО (обзор литературы)	11
1.1 История развития науки о воздействии погоды и климата на продуктивность различных культур	11
1.2 Моделирование влияния климата на продуктивность агроценозов	22
1.3 Современные технологии программирования и прогнозирования урожайности и их использование в растениеводстве	26
2 УСЛОВИЯ И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ	32
2.1 Условия проведения исследований	32
2.2 Методика исследований	35
3 ДИНАМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КЛИМАТА И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ ЗЕРНОВЫХ И МАСЛИЧНЫХ КУЛЬТУР	43
3.1 Распределение среднемесячных температур и осадков в северной части Донецкого кряжа	43
3.2 Динамика продуктивности озимой пшеницы под влиянием температуры воздуха и атмосферных осадков	47
3.3 Связь продуктивности кукурузы с климатообразующими факторами	64
3.4 Влияние составляющих климатопа на продуктивность ярового ячменя	73
3.5 Изменчивость урожайности гороха под влиянием осадков и температуры	81
3.6 Зависимость продуктивности агроценозов (зерновые культуры) от структурных элементов климатопа	89
3.7 Зависимость продуктивности подсолнечника от структурных элементов климатопа	100
3.8 Связь продуктивности полевых культур с гидротермическим коэффициентом	110
3.9 Изменчивость продуктивности агрофитоценозов степи	

под влиянием климатообразующих факторов	114
4 ПРОГНОЗИРОВАНИЕ УРОЖАЙНОСТИ ПОЛЕВЫХ КУЛЬТУР В УСЛОВИЯХ СТЕПИ	117
4.1 Методы прогнозирования урожайности на основании временного ряда с 1945 по 2013 год	118
4.2 Среднесрочное прогнозирование урожайности озимой пшеницы на основании временного ряда с 1945 по 2019 год	129
4.3 Применение экологически обоснованной регрессионной модели с возможностью экстраполяции для прогнозирования урожайности озимой пшеницы	132
5 СВЯЗЬ ПРОДУКТИВНОСТИ АГРОФИТОЦЕНОЗОВ С ГИДРОТЕРМИЧЕСКИМИ ФАКТОРАМИ В УНПАК ЛГАУ	136
5.1 Обоснование зависимости запасов продуктивной влаги и температуры почвы от атмосферных осадков и температуры воздуха	136
5.2 Динамика урожайности озимой пшеницы сортов интенсивного и пластичного типа	142
5.3 Изменчивость продуктивности озимой пшеницы, ярового ячменя и подсолнечника под влиянием условий внешней среды	144
6 ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ПРОВЕРКА	158
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	159
ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВУ	161
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	162
ПРИЛОЖЕНИЯ	183
Приложение А. Исходные данные для построения модели «погода – урожайность» (1945–2013 гг.)	184
Приложение Б. Результаты множественного корреляционно- регрессионного анализа	190
Приложение В. Результаты прогнозирования урожайности озимой пшеницы различными способами	196
Приложение Г. Акты внедрения	198

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследований. Сельское хозяйство является одной из самых труднопрогнозируемых сфер деятельности человека. Эффективность производства продуктов питания в значительной мере зависит от условий произрастания культурных растений. В связи с этим, в современных условиях, необходима достоверная информация о степени влияния агрометеорологических факторов на урожайность сельскохозяйственных культур для более эффективного управления продуктивным процессом в агрофитоценозах.

Для определения зависимости урожайности от факторов среды повсеместно применяются методы математического моделирования 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 исследований. 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).

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 исследования. Установление достоверной связи урожайности зерновых культур, гороха и подсолнечника с агроэкологическими гидротермическими факторами в северной части Донецкого края и обоснование 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 (р-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 исследований. Получены новые экспериментальные данные, характеризующие величину влияния агроэкологических факторов на урожайность сельскохозяйственных культур с возможностью верификации результатов исследования.

Установлено, что в условиях Донецкого края уровень урожайности 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 (для озимой пшеницы – $r = -0,31$, для ярового ячменя – $r = -0,49$ и для гороха – $r = -0,60$). 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 организованных в исследовании методов для определения расчетных значений урожайности сельскохозяйственных культур в области интерполяции.

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

Разработанная для условий Луганской области модель «погода – урожайность» успешно применена в агрокомплексе ЛГАУ «Колос». Выявлена тесная связь урожайности озимой пшеницы, ярового ячменя и подсолнечника с осадками и температурой воздуха, которая составила 75,4% ($p = 0,01$), 70,8% ($p = 0,03$) и 78,8% ($p = 0,03$) соответственно.

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 агрокомплекса «Колос». Установлена положительная корреляция между температурой воздуха и почвы на глубине до 40 см. На глубине расположения узлов кущения установлена значимая положительная коррелятивная связь ($r = 0,60-0,76$; $p \leq 0,01 - 0,001$).

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 – $r = 0,68$ ($p \leq 0,05$).

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 зерновых культур: $y = (-11,3331) + (-0,1424) \times (-4,8^\circ\text{C}) + (0,1912) \times (-10,5^\circ\text{C}) + \dots + 0,0096 \times 15\text{мм}$ и для подсолнечника: $y = 0,409733 + (-0,2397) \times (-4,8^\circ\text{C}) \times (-0,5^\circ\text{C}) + \dots + 0,0264 \times 15\text{ мм}$.

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).

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, экспериментальные и др. методы исследований. Лабораторные и полевые опыты проводились по общепринятым методикам.

Перспективы использования научной разработки. Установленная высокая зависимость урожайности полевых культур от условий произрастания позволит с высокой достоверностью вычислять в степных условиях северной части Донецкого кряжа прогнозные значения продуктивности агрофитоценозов по эмпирическим и расчетным значениям осадков и температуры воздуха.

Основные положения диссертации, 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.).

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 20 работ (общий объём – 14,34 п. л., подготовлено самостоятельно – 8,08 п. л.), из них 3 в изданиях, рекомендованных ВАК РФ.

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

1 КЛИМАТИЧЕСКИЕ И ПОГОДНЫЕ ФАКТОРЫ, ИХ ВЛИЯНИЕ НА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЕ ПРОИЗВОДСТВО (обзор литературы)

1.1 История развития науки о воздействии погоды и климата на продуктивность различных культур

Производство сельскохозяйственной продукции осуществляется под влиянием погодных факторов, которые являются наиболее изменчивыми и активными. Агроном, осуществляющий руководство полевыми работами, должен владеть информацией о возможностях сложной динамической системы «почва – растение – атмосфера». Комплексное изучение закономерностей формирования урожая культурных растений в системе «почва – растение – атмосфера», его прогнозирование и программирование возможны лишь на основе количественной оценки влияния метеорологических факторов, главными из которых являются свет, тепло и влага. Специалистам сельского хозяйства необходимо уметь эффективно использовать ресурсы климата для повышения урожая и бороться с неблагоприятными метеорологическими явлениями. Для этого нужно знать физические основы явлений и процессов, происходящих в атмосфере, в приземном слое, в частности, в связи с их влиянием на объекты и процессы сельскохозяйственного производства.

Попытки установить связь между урожаем и погодой относятся к глубокой древности. Земледелец, наблюдая тесную связь между погодой, климатом и качеством урожая, стремился разработать правила предсказания погоды, ещё в те времена, когда никакой метеорологической службы не существовало. На основе довольно длительных наблюдений определялись сроки проведения самых различных полевых работ (вспашка, внесение удобрений, посев, уборка и др.). Такие наблюдения носили локальный характер, отражая особенности небольших территорий, поэтому не могли быть использованы повсеместно.

Метеорология и агрометеорология взаимосвязаны, поэтому исторически их развитие имеет общие корни. Началом развития метеорологии принято считать написание первой книги одним из самых известных учёных Древней Греции

Аристотелем, в которой впервые были обобщены наблюдения за погодными явлениями Греции тех времен. В средние века в летописи заносили, кроме всего прочего, сведения о различных явлениях погоды (преимущественно стихийных). Инструментальные наблюдения за погодой стали вести в XVI в., когда Галилей изобрел термометр (1593 г.), а позже Торичелли – барометр (1643 г.), при помощи которых уже можно было количественно оценивать важнейшие характеристики погоды – давление и температуру, а также сопоставлять их значения, полученные в разных местах.

В России регулярные метеорологические наблюдения стали вести по указу Петра I с 1722 г. Великий русский учёный М.В. Ломоносов создал ряд метеорологических приборов, организовал метеонаблюдения в различных российских поселениях, выдвинул идею о нужности всемирной службы погоды для мореплавателей. На публичном заседании в Академии наук в 1758 г. он сказал: «Предсказание погоды сколь нужно и полезно на земле, ведает больше земледелец, которому во время сеяния и жатвы – ведро, во время рашения – дождь благорастворенный теплотой надобен», имея в виду необходимость учёта и прогноза метеорологических условий в сельском хозяйстве. Идеи, выдвинутые М.В. Ломоносовым, в конце XVIII – начале XIX вв. были подхвачены такими передовыми учёными, как А.Т. Болотов, И.М. Комов, проводившими систематические наблюдения за погодой и состоянием растений [199].

Первое обобщение материалов агрометеорологических наблюдений можно найти в книге «Сельскохозяйственная метеорология», изданной Д. Реутовичем в 1854 г. Дальнейшее развитие метеорологии в России было связано с деятельностью Главной физической обсерватории (ГФО), созданной в Петербурге в 1849 г. ГФО руководила сетью метеорологических станций, обрабатывала и издавала материалы наблюдений. В 1872 г. в ГФО был составлен первый в России прогноз погоды.

В конце XIX в. крупные русские учёные А.И. Воейков и П.И. Броунов заложили основы агрометеорологии как науки. А.И. Воейков показал важность использования климатических данных для сельского хозяйства, организовал в

1885 г. сеть агрометеорологических станций. П.И Броунов сформулировал принципиальные основы методики агрометеорологических наблюдений, выявил закон о критических периодах в развитии растений, предложил метод сопряженных агрометеорологических наблюдений. В 1897 г. он организовал метеорологическое бюро при министерстве земледелия. К 1900 г. при опытных сельскохозяйственных станциях было организовано более 50 агрометеостанций и около 100 агрометеопостов. С 1901 г. метеорологическим бюро стали издаваться «Труды по сельскохозяйственной метеорологии», первым редактором которых был П.И. Броунов. Большое влияние на развитие агрометеорологии оказал один из основателей русской школы геофизики и метеорологии А.В. Клоссовский, организовавший сеть метеорологических станций и постов на Украине.

В настоящее время на территории России агрометеорологические наблюдения проводят 2300 станций и более 16 тыс. постов, создана база агрометеорологической науки, опирающаяся на достижения научно-технического прогресса. Современные агрометеорологические исследования проводятся с использованием новейшей аппаратуры, дистанционных приборов, фитотронов, авиации и искусственных спутников Земли. Материалы наблюдений и исследований обрабатываются на компьютерной технике. Агрометеорологическое обеспечение сельского хозяйства осуществляется Госкомгидрометом и является одной из его главных целей. Оперативным агрометеорологическим обслуживанием охвачены все звенья сельскохозяйственного производства.

За рубежом исследования по агрометеорологии начались во второй половине XIX в. В это время Гаспареном (Франция) был написан капитальный труд о связи земледелия с климатом. В начале XX в. Дж. Ацци в Италии и Б. Ливингстон издавали труды по агрометеорологии.

Русский учёный-естествоиспытатель, географ и геолог, основоположник генетического почвоведения и учения о природных зонах В.В. Докучаев в своих работах указывал, что «почва и климат суть основные и важнейшие факторы земледелия – первые и неизбежные условия урожая», а известный ботаник и физиолог К.А. Тимирязев считал, что данные о климате представляют интерес для

сельского хозяйства, если дополнительно известны требования, предъявляемые растением к климату.

Л.И. Воейков акцентировал внимание на необходимости использования климатических данных в сельском хозяйстве. П.И. Броунов сформулировал основы методики агрометеорологических наблюдений. Г.Т. Селяниновым составлена первая карта агроклиматического районирования [1, 39]. В качестве основных факторов предлагались освещение, температура и влажность. Остальные элементы климата могут усиливать или ослаблять действие основных факторов [186]. Сравнение климатических факторов с потребностями растений даёт возможность оценки погодных условий для произрастания определённых сельскохозяйственных культур [199].

Х. Гамс (1918), Л.Г. Раменский (1924) и В.Н. Сукачев (1930) различают две категории факторов, влияющих на растения. К первой категории относятся химические и физические свойства среды (свет, тепло, влага, воздух, соли, кислотность почвы и т.д.), которые воздействуют на физиологические свойства. Эти факторы, по предложению Х. Гамса, называют прямыми. Климат, рельеф, почвы, уровень грунтовых вод и др. относятся ко второй категории. Продукция растительного сообщества определяется действием прямых факторов. Вместе с тем косвенные факторы оказывают ощутимое воздействие на продуктивность фитоценозов [178]. Факторы среды осуществляют совместное воздействие [41].

Согласно Ю.И. Чиркову, сельскохозяйственное производство – это «цех под открытым небом», в котором основная масса продукции создаётся непосредственно в природных условиях [53, 199].

Современные селекционные программы рассчитаны на выведение сортов с широким гомеостазом относительно их реакции на метеорологические и агроэкологические факторы [79]. Сорт в зависимости от условий произрастания может изменяться; при неблагоприятных условиях появляются формы растений, которые, приспосабливаясь, стараются выжить (большое количество мелких семян, снижающее урожайность); при благоприятных погодных условиях появляются более продуктивные формы растений [64, 144]. Благоприятные для роста и

развития растений условия позволяют выявить потенциальную урожайность сортов, а неблагоприятные и экстремальные – их экологическую устойчивость [210]. В ближайшее время необходимо создание таких новых сортов, которые в ограниченных условиях среды (например, недостаток воды [147] в аридных зонах) имели бы более активный фотосинтетический аппарат [98].

В таблице 1 представлены данные о величине влияния преимущественно биотических факторов на продуктивность сельскохозяйственных культур в различных странах.

Таблица 1 – Сводные данные о влиянии различных факторов на продуктивность сельскохозяйственных культур, % [90]

Фактор	Страна		
	Украина	США	Европа
Удобрения	30–70	40–45	45–50
Защита растений	25–33	15–25	15–20
Вредители	8–10	10–15	6–8
Болезни	10–15	10–15	15–18
Сорняки	15–25	8–10	8–10
Семена	10–20	8–10	8–15
Севообороты	10	–	–
Обработка почвы	20–30	15–25	15–25

Ценность этих обобщенных данных не очень велика: во-первых, отсутствует учёт влияния экологических факторов; во-вторых, сами данные противоречивы. Сумма влияний всех факторов не должна превышать 100%. Между тем, если даже по всем факторам брать минимальные оценки, то суммы оказываются больше 100%: по Украине сумма равна 128%, по США – 106%, по Европе – 112%. По средним значениям суммы ещё больше, в частности, по Украине 171%.

Проводились многочисленные исследования по определению влияния на урожайность сельскохозяйственных культур:

- удобрений [9, 19, 73, 74, 84, 90, 96, 97, 99, 100, 101, 102, 103];
- севооборотов [22, 29];

- сортов [80] и высокоэффективных гибридов [57];
- предшественников [204];
- сроков посева [49, 65, 94];
- селекционных возможностей [40, 54, 55, 79];
- семеноводства [36];
- гербицидных обработок [203].

Опубликованы данные о влиянии различных полевых культур на накопление органического вещества в почве [38].

Многочисленные исследования указывают на то, что эффективность применения удобрений зависит от климатических условий года. Прибавки урожая от применения удобрений в засушливых условиях уменьшаются на 25–30% в сравнении с прибавками, полученными в годы с благоприятными условиями. В засушливые годы положительное влияние оказывают, прежде всего, фосфорные удобрения, тогда как внесение высоких доз азота отрицательно воздействует на развитие растений [100].

Существует мнение, что удобрения усиливают способность растений противостоять экстремальным факторам погоды и почвенной среды [186]. Иногда после перезимовки озимой пшеницы в экстремальных условиях для получения высокого урожая рекомендуют вносить высокую дозу азота, чтобы компенсировать потери урожайности, причиненные неблагоприятными метеоусловиями [82].

Наибольшие урожаи при прочих равных условиях получают в тех зонах, где потребность растений в тепле и влаге полностью обеспечивается климатическими ресурсами [199]. Для частного агроклиматического районирования используются агроклиматические показатели, выражающие потребность конкретной культуры (сорта, гибрида) в факторах климата. В СССР частное агроклиматическое районирование было выполнено для важнейших сельскохозяйственных культур. Впервые оно было проведено Г.Т. Селяниновым для субтропических культур Черноморского побережья Кавказа. Районирование винограда и климатическое обоснование специализации виноградно-винодельческой промышленности

выполнил Ф.Ф. Давитая (1938–1952 гг.). Л.Н. Бабушкин районировал хлопчатник; первый опыт районирования кукурузы принадлежит С.А. Сапожниковой. Более детальное районирование различных по скороспелости сортов и гибридов кукурузы выполнил Ю.И. Чирков. Районирование по продуктивности кукурузы проводилось им с учётом запасов почвенной влаги и фотосинтетической деятельности посевов. При этом была также учтена оптимальная густота посева в различных климатических зонах.

В настоящее время проведено агроклиматическое районирование масличных культур (В.А. Смирнова), трав (А.Т. Никифорова), сахарной свеклы (Л.С. Кельчевская), картофеля (А.И. Руденко), сои (В.М. Степанова), риса (В.М. Просунко) и ряда других культур. Такие работы проводятся и во многих зарубежных странах [199].

Доказано, что достигаемый уровень урожая на каждом конкретном поле определяется существующими сортами и погодными условиями [115, 116], при этом необходимо учитывать тот факт, что сорняки лучше переносят неблагоприятные погодные условия, интенсивнее растут, в засушливые годы существенно угнетают культурные растения [72].

Определена доля влияния различных факторов среды, показано, что продуктивность полевых севооборотов при экстенсивном земледелии на 40% определяется естественным плодородием, на 20% – погодными условиями, на 10% – уровнем использования удобрений, в то время как при интенсивном земледелии – на 20% – плодородием, на 10% – погодными условиями и на 30% – уровнем применения удобрений [84].

Для предсказания развития болезней используют математические модели, учитывающие влияние погодных условий на развитие возбудителя заболевания [195]. Учитывая тот факт, что болезни растений обусловлены климатическими условиями [199], практически для каждого вида вредных насекомых и возбудителей болезней растений выявлены оптимальные и критические значения температуры и влажности, которые определяют скорость развития, число поколений, степень вредоносности.

Засуха снижает интенсивность фотосинтеза и продуктивность озимой пшеницы [76], а также гибридов кукурузы [200]. Из-за неблагоприятных условий (1995–1999 гг.), а также вследствие недостаточной засухоустойчивости рекомендованных производству сортов произошло уменьшение урожайности гороха и объёмов его производства на Украине [202]. Неравномерный прогрев земной поверхности является причиной различий в количестве атмосферных осадков и испарений [233]. На основании данных наблюдений за температурой воздуха и ежемесячным количеством осадков (1894–1990 гг.) выделяются благоприятные (по увлажнению), очень благоприятные, засушливые и очень засушливые годы. Выявлена повторяемость засух, исследована цикличность суммы осадков с учётом противостояния планеты Марс. Выполнен анализ изменения температуры в XX в. Делается вывод о том, что осадки и температура являются наиболее важными погодными факторами, поскольку они определяют величину урожая как озимых, так и яровых культур [138].

Опубликованы данные, что агрометеорологические факторы ограничивают потенциальную продуктивность культур. Уровень влагообеспеченности оказывает влияние на доступность питательных веществ в почве, температура влияет не только на скорость движения воды и растворённых солей, но и на скорость поступления питательных веществ из почвы к растению [181]. В США производство сельхозпродукции сконцентрировано в районах с климатическими условиями, которые позволяют получать её максимальное количество при минимальных затратах (кукурузный пояс). Такой подход позволяет полнее использовать биоклиматический потенциал отдельных районов и стабилизировать производство дешёвой продукции высокого качества [184].

Если какой-либо экологический фактор (среднегодовое количество осадков, среднегодовая температура) отклоняется от уровня, оптимального для вида, растения становятся более чувствительными к этому фактору. Продуктивность растений в условиях Донбасса лимитируется недостатком влаги (при полной обеспеченности питательными веществами). Увлажнение является главным климатическим фактором в сельскохозяйственном производстве Донбасса [23].

На урожай и качество семян подсолнечника в зоне недостаточного увлажнения (северная часть Донецкого края) влияет не столько количество осадков, выпадающих в фазу цветения этой культуры, сколько запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы перед севом подсолнечника. Выпадение более 100 мм осадков в фазе цветения вызывает поражение серой и белой гнилью, что приводит к резкому снижению урожайности и ухудшению качества семян подсолнечника [133].

Существуют и другие мнения по этому вопросу. Чёткой синхронной связи между количеством осадков за конкретный период и урожайностью отдельных культур, а также эффективностью удобрений за отдельные годы не существует. Это можно объяснить тем, что другие метеорологические факторы (характер распределения осадков, температуры и относительной влажности воздуха и др.) также влияют на урожайность культур [98]. Изменение урожайности по годам связано с климатическими факторами [191].

А.Н. Деревянко, отмечая влияние экологических факторов, учитываемых по месяцам, считает, что на продуктивность озимой пшеницы оказывают влияние погодные условия последнего месяца [15, 46]. Если рассматривать влияние отдельных факторов, например осадков на Луганщине, то 70,8% изменчивости урожайности озимой пшеницы определяется варьированием по годам суммы осадков за месяц [153]. Периодичность урожайности связывали с изменениями климата [130] и солнечной активности (солнечные бури). Авторами работы [182] такая связь в условиях Донбасса не была обнаружена, изменения урожайности они связывают с атмосферными осадками. Кроме того, установлено, что периодические изменения урожайности происходят с циклом в 14 лет: после семи урожайных лет следуют семь лет менее урожайных. Причина цикличности – космические факторы, влияние которых может осуществляться прямо или косвенно (в первую очередь через количество осадков и их распределение во времени) и не поддаётся регулированию [150]. О.П. Борисенко и другие заметили периодические изменения в урожайности подсолнечника, связанные с изменениями климата [24].

Установлена зависимость влияния основных погодных факторов – температуры воздуха и атмосферных осадков на урожайность озимой пшеницы при разных нормах внесения минерально-органических удобрений. Авторы работы [34] считают, что выявленная зависимость может быть основой для создания экологической модели прогноза получения урожая озимой пшеницы.

Основными параметрами погодных условий, которые влияют на формирование урожая сельскохозяйственных культур, являются освещённость, осадки и температурный режим. Эти факторы оказывают как самостоятельное, так и совместное влияние на урожайность [105]. На продолжительность периода «всходы – созревание» гороха существенное влияние оказывают количество осадков (коэффициент корреляции равен 0,72) и ГТК (0,80) [44]. Рост среднего уровня урожайности в условиях Донбасса происходил за счёт постепенного увеличения в послевоенные десятилетия годовой суммы осадков (~ на 100 мм) и улучшения культуры земледелия [155].

На основании анализа трендов урожайности О.А. Барсукова дала оценку многолетней динамики урожайности ярового ячменя под влиянием культуры земледелия и агрометеорологических условий Украины. Наиболее высокий уровень использования агроклиматических ресурсов наблюдается в Северной степи и Крыму [18]. И.Д. Соколов и др. в совместных исследованиях отмечают, что для сельскохозяйственного производства важно не столько общее увеличение количества осадков, сколько их распределение по месяцам. По данным Луганской метеостанции отмечено высокое достоверное увеличение суммы осадков в зимние месяцы и в сентябре. Сумма осадков за вегетационный период значительно увеличилась, влагообеспеченность региона повысилась [156, 157].

Л.М. Эзрохин считает, что познание многолетней динамики изменчивости агрометеорологических факторов позволит создавать сорта с более высокой устойчивостью к факторам внешней среды [210]. Максимальная урожайность сельскохозяйственных культур образуется при оптимальном сочетании факторов среды [47], погодные условия оказывают влияние не только на величину, но и на качество семян [142, 201], на интенсивность фотосинтеза [187].

Проводились многочисленные исследования по изучению влияния на урожайность различных веществ: янтарной кислоты [8], фосфатов магния и микроудобрений [13, 30], сидератов [14, 21, 177], биогумуса [45, 61, 69, 91, 92, 122, 166], биопрепаратов [59], бурого каменного угля и сланцев [60], соломы [81, 123, 136, 177] и птичьего помета [85, 86, 93], при этом во внимание не принимались климатические и погодные факторы, а также трансформация растительных остатков сообществом микроорганизмов и микроскопических животных [141]. Рассматривались вопросы по экологической целесообразности применения гербицидов [203], перехода на экологически безопасное производство сельскохозяйственной продукции [11, 66, 96, 97, 196].

Сельское хозяйство – отрасль, которая функционирует в природной среде, поэтому система хозяйствования должна представлять собой агробиоценоз, в который входят человек, растения, климат, погода, почва, животные, микроорганизмы и другие компоненты. Необходимо объединить природные и антропогенные факторы, учитывая конкретное участие каждого структурного элемента, их взаимосвязь и влияние на величину урожая сельскохозяйственной культуры [53].

Влияние климатических факторов на продуктивность полевых культур исследовалось многими авторами. Большинство признается зависимость урожайности от количества осадков и солнечной активности, от температуры воздуха и других факторов. Одни исследования проводились при одновременном изучении влияния климатических факторов и разных норм внесения удобрений [34]; в других оценивалась зависимость урожайности от культуры земледелия и влияния агрометеорологических условий [18, 124, 126, 128, 129]. Особенно актуальны такие исследования в условиях глобального изменения климата.

Обобщая вышесказанное, можно утверждать, что были предложены различные методы повышения урожайности без учёта влияния климатических факторов (изучение влияния одних зависимых переменных на другие) и методы для определения зависимости продуктивности от агроэкологических факторов. Между тем связь многолетней динамики урожайности и климатических

экологических факторов, отражающая величину и значимость зависимости, не была изучена. Не до конца выясненным остаётся вопрос о величине изменения урожайности сельскохозяйственных культур под влиянием месячной суммы осадков и среднемесячной температуры в условиях недостаточного увлажнения северной части Донецкого края.

1.2 Моделирование влияния климата на продуктивность агроценозов

Для обработки данных, полученных при измерениях и расчётах, повсеместно используют методы математико-статистической обработки, основой которых является теория вероятностей. Большая часть методов, в том числе используемых в настоящей работе, разработана в XIX и даже в более ранних столетиях. Монопольное положение, которое почти до половины 60-х годов прошлого века в биологической и сельскохозяйственной науке нашей страны занимали «лысенковцы», недооценивавшие возможности математико-статистических методов, привело к тому, что практические руководства по математической статистике для биологов и аграриев почти не издавались. Чаще всего в начале 60-х годов XX в. использовали не издававшуюся книгу М. Вебера (1957), переводные руководства Р.Э. Фишера (1958) и Дж.У. Снедекора (1961).

Ситуация изменилась, когда в 1964 г. вышло в свет подробное, доступное и математически строгое руководство В.Ю. Урбаха «Биометрические методы». В последующем было издано немало пособий по использованию математических методов обработки данных российских авторов [26, 48, 77, 112, 113, 135, 193].

Опубликован и ряд переводных книг известных специалистов по обработке данных из разных стран [20, 183]. Особую популярность получили руководства, по которым учились и учатся применению математико-статистической обработки данных студенты и научные работники [48, 113, 135, 189, 190].

Влияние погоды и климата на продуктивность полевых культур является предметом многочисленных исследований, в которых используются различные математические методы для анализа связей между погодой и урожаем. Представление с помощью математических методов сложных связей между

погодой и климатом и характеристиками урожая можно определить как модель «погода – урожай» (Байер, 1979) [213].

Существует два подхода к разработке подобных моделей:

- первый основан на математическом описании механизмов биохимических и биофизических процессов,
- второй базируется на применении статистических [188], регрессионных методов для установления связей между данными по урожаю и данными по климату и погоде.

В классификации моделей «погода – урожай» В. Байера [213] выделены следующие категории:

1) имитационные модели роста механического типа (Crop growth simulation models) – упрощенное математическое представление сложных механизмов, лежащих в основе роста растений. В качестве типичных примеров таких моделей приводятся «SPAM» [232, 236];

2) аналитические модели (Crop-weather analysis models), в которых различные агрометеорологические переменные рассчитываются или измеряются день за днем, а затем устанавливается их связь с ростом, развитием и урожаем культуры;

3) эмпирико-статистические модели, в которых одна или несколько переменных, характеризующих, например, погоду, климат на какой-либо территории, связывают с урожаем культуры по этой же территории. Выбор подхода и типа модели определяется задачами исследования.

Наиболее удачными идентификаторами для разных категорий моделей В. Байер [213] считает следующие: тип, временная шкала, источник данных, подход, цель разработки, применение.

Созданием модели «погода – урожай» занимались многие известные учёные, как зарубежные (W. Baier, C.T. Witde, R. Shawcroft, G. Miles, J. Hesketh, A. Ryhinder, G. Takeda, R. Rickman и др.), так и отечественные (Е.В. Абашина, Н.И. Гойса, О.Д. Сиротенко, А.Д. Клещенко, М.С. Кулик, О.Р. Константинова, В.П. Дмитренко, А.Н. Полевой, И.Д. Соколов и др.).

Проводились исследования по определению влияния 15 факторов на урожайность озимой пшеницы, получены многофакторные прогностические уравнения для разных фаз развития, начиная с возобновления вегетации весной [199].

Разработка информационных систем «погода – урожай» и «климат – урожай», основанных на динамических моделях, несомненно, обеспечит повышение качества управления выращиванием сельскохозяйственных культур в современных условиях [118, 119].

Высказывалось мнение, что для решения расчётных и практических задач по зависимости урожая от погоды, недостаточно рассматривать урожай как конечный продукт сложного и многообразного процесса, именуемого производственным процессом. Более успешному поиску путей повышения урожайности, обоснования различных агротехнических мероприятий, а также программирования [9, 10] и прогнозирования метеоусловий [131] и урожая будет способствовать рассмотрение формирования урожая как совокупности физиологических процессов под влиянием условий внешней среды [121].

Имитационные многоуровневые модели, основанные на физиологическом подходе, названы «explanatory models», это модели биологических систем, в которых математически сформулированы причинные связи между составляющими систему процессами [234].

Расчётная «физиологически обоснованная модель культуры» (physiology-based crop model) основана на интегрировании результатов моделирования физиологических процессов для оценки урожая в конце сезона [228]. Дж. Хескетт в 1972 г. ввёл понятие компьютерные модели (computer simulators) [223]. Известно большое количество многопериодных динамических моделей, позволяющих оценить рост растений различных культур в течение вегетационного периода [1, 39, 67, 75, 115, 117, 145, 159, 217, 221, 222, 225, 230, 235].

Моделирование урожайности в зависимости от количества осадков и запасов влаги в метровом слое почвы за многолетний период показало, что наиболее существенное влияние на урожайность оказывают осадки.

Учитывая комплексное и противоположное влияние осадков и температуры на продуктивность зерновых культур, были разработаны модели зависимости урожайности этих культур от величин гидротермического коэффициента, рассчитанных за май-июнь ($r = 0,81$) [89].

Известны следующие модели:

- комплексная модель для статистической имитации урожайности зерновых и кормовых культур О.С. Образцова;
- математическая модель формирования урожая агробиоценоза Е.П. Галямина;
- прикладная динамическая модель формирования урожая сельскохозяйственных культур О.Д. Сиротенко «погода – урожай» [145, 146];
- модель влияния агрометеорологических условий на рост, развитие и формирование урожая озимой пшеницы В.С. Антоненко [12];
- базовая динамическая модель формирования урожая сельскохозяйственных культур А.Н. Полевого (основанная на концепции максимальной производительности растений Х.Г. Тооминга) [115, 117].

А.Н. Полевой (1988) считает, что попытки построения статистических (регрессионных) моделей, которые отображают связь урожая с естественными и антропогенными факторами на основе данных многофакторных опытов, не привели к большому успеху. Причиной этого является невозможность учёта в статистических моделях реальной изменчивости погодных условий и других факторов, которые варьируют в больших пределах (влажность почвы, содержание в почве доступных для растений элементов питания и др.) [117].

Изучению биологических особенностей полевых культур [58, 79], исследованию зависимости продуктивности этих культур под влиянием компонентов культур биогеоценозов посвящено много научных работ отечественных и зарубежных учёных. Значительный вклад в изучение влияния деятельности человека на урожайность внесли В.Н. Сукачев, М.М. Сирота, Н.А. Киндрук, А.Б. Дьяков, С.И. Гриб, Н.И. Дранищев, И.А. Пабат, Л.И. Акентьева, И.В. Кирпичев, Н.М. Антрапцева и др.

Изучению влияния климатических факторов на продуктивность посвящены работы В.Н. Беклемишева, А.Н. Краевского, К.В. Попковой, А.М. Шевченко, К.Г. Селезнева, С.М. Duffus, I.H. Duffus, Н.В. Решетняка, И.Д. Соколова и др.

Вместе с тем изменчивость продуктивности полевых культур под воздействием климатических факторов (температуры и осадков), на наш взгляд, осталась недостаточно исследованной.

1.3 Современные технологии программирования и прогнозирования урожайности и их использование в растениеводстве

Признавая наличие динамики урожайности сельскохозяйственных культур, периодических изменений важных экологических факторов (температуры воздуха и осадков), а также определенной связи между ними, при отмене планирования урожая возникает потребность в научном программировании и прогнозировании урожайности. При составлении прогнозов используются различные модели, построенные с учётом различных факторов окружающей среды.

В 60–70-е годы прошлого столетия разрабатывались и совершенствовались методы агрометеорологических прогнозов [7, 127, 131], в частности, прогнозов урожая различных сельскохозяйственных культур [108, 115, 116, 118, 198], перезимовки озимых культур [185] и многолетних трав, произрастания пастбищной растительности, запасов влаги в почве и т.п.

Выполнялись исследования по влиянию микроклимата, заморозков, засухи, суховея и других, опасных для сельского хозяйства природных явлений. Были начаты исследования по совершенствованию методов агрометеорологических наблюдений на основе достижений науки и техники, а также работы по обоснованию агротехнических приемов с учётом уже сложившихся и ожидаемых погодных условий.

Л.И. Акентьева (1993) отмечает, что природно-климатические условия Донбасса характеризуются недостаточной влагообеспеченностью, ограничивающей продуктивность посевов на богаре, т.е. влагообеспеченность является лимитирующим фактором в этом регионе. Действительно возможная средняя

урожайность на неорошаемых землях определяется по известным формулам по лимитирующему фактору [9, 10].

Анализ многолетних наблюдений за температурой и осадками с использованием методов математической статистики и программного обеспечения дают основание делать прогнозы среднемесячной температуры и осадков с вероятностью 70–75% [127]. Несмотря на достаточно высокий процент оправдываемости прогнозов, использование средне- и долгосрочных метеорологических прогнозов урожайности сельскохозяйственных культур нередко приводило к принятию неверных управленческих решений. Приведем несколько ярких примеров такого рода.

В 1989 г. президент ВАСХНИЛ А.А. Никонов, ссылаясь на научные учреждения ВАСХНИЛ и других ведомств, предсказал засушливыми и малоурожайными 1989, 1990 и ряд последующих лет. В действительности же на юго-востоке Украины и в целом на Украине, как и на сопредельных территориях России, 1989 и 1990 гг. оказались достаточно влажными и благоприятными для большинства сельскохозяйственных культур. Неудивительно, что вопреки прогнозу А.А. Никонова в 1989 г. на юго-востоке Украины, в т.ч. в Луганской области, были получены рекордные урожаи зерновых (Приложение А, Таблица 1). Тогда на Украине в первый раз собрали 53,2 млн т зерна, намолотив по 34,8 ц/га. Экономические потери от неправильного прогноза и ошибочных управленческих решений нам не известны, но то, что они были, это несомненно [160].

Обратимся к более близким годам. Агроклиматический прогноз, разработанный УкрНИИПТИ «Агроресурсы» и Гидрометцентром Украины, обещал, что в сентябре 1998 г. на большей территории страны количество осадков будет на 30–40% больше среднего многолетнего показателя. Лишь в северо-западных и южных регионах страны сумма осадков ожидалась близкой к норме. В октябре их количество на западе предсказывали на уровне 130% от среднего многолетнего, на остальной территории – близким к норме. В Луганской области, согласно прогнозу, сентябрь должен был быть более влажным, чем обычно, а октябрь близким к норме. В действительности ко времени начала сева озимых, в

конец августа увлажнение почвы на значительных площадях было недостаточным для получения дружных всходов озимой пшеницы. Причиной этого были засушливые весна и лето 1998 г. По данным Луганской метеостанции, за период с апреля по август 1998 г. выпало на 58 мм осадков меньше, чем обычно [158] (Приложение А, Таблица 3). В ожидании предсказанных сентябрьских дождей с надеждой на хороший урожай сельхозпроизводители сеяли озимую пшеницу нередко в сухую почву. Однако обещанных дождей так и не дождались. В районе Луганска выпало около 1 мм осадков, тогда как среднемноголетний показатель составляет 33 мм. За 60-летний период наблюдений был ещё один год с таким же недостаточным количеством осадков в сентябре – это 1962 г. и один год, в котором в сентябре осадки вообще не выпадали (Приложение В). В зиму на большей части площадей озимые в Луганской области ушли в неудовлетворительном состоянии в стадии coleoptilia [158]. Как следствие, летом 1999 г. было получено лишь 12,6 ц/га озимой пшеницы, что почти в два раза меньше среднемноголетнего показателя.

Кроме не самых благоприятных климатических условий, зерновое производство сталкивается с трудностями организационно-экономического характера: в Луганской области и в целом на Украине в последнее время использование удобрений сократилось приблизительно в 15 раз, моторного топлива – в 3 раза, потребление электроэнергии – в 4 раза [104, 105]. Возделывание озимой пшеницы производится по упрощённой, не самой оптимальной технологии. Однако это не помешало в 2001 г. в Луганской области собрать 33,8 ц/га зерна озимой пшеницы. За все послевоенные годы более высокая урожайность была лишь в исключительно благоприятные по погодным условиям годы: 1989 и 1990. При этом влияние антропогенных факторов не является таким значительным, как это принято считать. Следовательно, решающее значение в этой засушливой зоне имеют температура атмосферного воздуха и осадки [167, 168, 169, 170, 171, 172, 173, 174, 175, 176].

В работе А.В. Олейника [105] сделана попытка определить самые важные показатели погодных условий для формирования урожая озимых зерновых в

Харьковской области, которую трудно признать вполне удавшейся. Значение коэффициента множественной корреляции в модели невысокое – $R = 0,682$ (коэффициент детерминации $R^2 = 0,464$). Иными словами, лишь 46,4% изменчивости урожайности определяется варьированием по годам указанных выше независимых переменных. Обычно считается, что уменьшение урожайности сельскохозяйственных культур на Украине в последнее десятилетие XX в. связано с экономическими и политическими причинами. В частности, А.В. Олейник отмечает, что «... ни у кого не вызывает сомнений, что значительное снижение урожайности сельскохозяйственных культур во второй половине 90-х годов в значительной мере обусловлено экономическими факторами» [104, 105].

В свете приведённых в настоящей работе результатов такие сомнения не только возможны, но и неизбежны. Сильная зависимость продуктивности полевых культур от агроэкологических факторов делает весьма актуальными исследования многолетней динамики природных экологических факторов, временных рядов этих факторов. В Донбассе эти исследования были начаты И.Д. Соколовым с соавт. [154, 156, 161, 164], но полученных результатов недостаточно для разработки прогностических моделей.

Очень важны исследования временных рядов продуктивности полевых культур на востоке Украины [24, 62, 151, 154, 156, 158, 159, 168, 169, 171, 172, 174, 176]. В изменчивости по годам урожайности полевых культур выявлены три компонента: изменение среднего уровня, библейские циклические колебания с периодом 14 лет и случайные изменения, то есть отклонения от тренда [159].

При прогнозировании урожайности для определённого года не удаётся избежать случайной изменчивости, поэтому лучше делать прогноз среднего уровня урожайности на несколько лет вперёд. При этом отклонения от тренда в обе стороны компенсируют друг друга, и прогноз на 5–7 лет оказывается довольно точным. На основе модели динамики урожайности был сделан оптимистичный прогноз в конце 80-х – начале 90-х годов прошлого столетия [157]. В отличие от прогноза А.А. Никонова (1989), этот прогноз в целом подтвердился, как и прогнозы на другие временные интервалы [159].

Программирование урожаев сельскохозяйственных культур является основанием для получения высоких расчётных урожаев при одновременном повышении почвенного плодородия и удовлетворении требований охраны окружающей среды [149]. Надёжное программирование урожайности в условиях недостаточного увлажнения предполагает, в первую очередь, контроль влагообеспеченности, что в засушливой зоне возможно лишь при орошении [68]. Приведём в этой связи один хорошо известный пример, широко обсуждавшийся в литературе [52, 155].

В 1943 г. в Мексике проводились опыты по созданию короткостебельных сортов пшеницы. Были созданы сорта, при возделывании которых на орошении с внесением в высоких дозах удобрений, произошло повышение средней урожайности пшеницы в 4 раза. Такой успех мексиканского проекта связан, прежде всего, с орошением, позволяющим в засушливых зонах обеспечивать нужную влагообеспеченность. Сами по себе карликовые сорта и высокие дозы удобрений не гарантируют получение высоких запрограммированных урожаев. Кроме того, в условиях острой нехватки влаги карликовые сорта значительно уступают по урожайности полукарликовым и высокорослым сортам, а внесение высоких доз удобрений, наоборот, снижает урожайность. К сожалению, в Донбассе в настоящее время нет резервов пресной воды, необходимой для орошения тех площадей, которые занимают основные сельскохозяйственные культуры, не говоря уже об их увеличении [205].

Сотрудники агрономического факультета Воронежского государственного аграрного университета занимались проблемами прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур с учётом условий Центрально-Чернозёмного региона (С.В. Кадыров, В.А. Федотов). Ими обобщён уже известный опыт, изучены принципы и практические пути программирования урожайности, рассчитана действительно возможная урожайность и показаны перспективы повышения урожайности полевых культур. Также уточнены некоторые формулы для расчётов урожайности, доз удобрений, норм орошения, составления моделей посева и др. [63].

Динамические модели роста полевых культур позволяют рассчитать накопление сухой биомассы растениями в течение вегетационного периода в зависимости от метеорологических условий, однако лишь в немногих из них ставится задача использования модели для прогностических целей.

Адаптация для прогностических целей заключается в возможности использования той или иной модели на более высоком уровне – на уровне сельскохозяйственной области или региона.

Выводы к главе 1

1. В большинстве исследований рассматривается зависимость урожайности от таких же зависимых от человеческой деятельности факторов, без учёта независимых факторов.

2. Изучение воздействия агрометеорологических и антропогенных факторов на урожайность полевых культур в большинстве случаев проводилось без математико-статистической обработки данных.

3. Не в полной мере исследована связь многолетней динамики продуктивности культур и климатических и экологических факторов.

4. Полученные модели обычно имеют недостаточно высокий уровень прогностической ценности (сбываемости прогнозов).

5. Несмотря на определённые достижения по изучению связи продуктивности полевых культур с агроэкологическими факторами, многие вопросы остаются открытыми, особенно на региональном уровне (в частности, в условиях недостаточного увлажнения северной части Донецкого кряжа).

2 УСЛОВИЯ И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1 Условия проведения исследований

Донецкий кряж – это возвышенность на юге Восточно-Европейской равнины, он расположен в южной части Луганской Народной Республики, центральной и восточной части Донецкой Народной Республики и западной части Ростовской области Российской Федерации. Нами была изучена северная часть Донецкого кряжа (до 2014 г. – Луганская область Украины).

Территория Луганщины представляет собой волнистую равнину, которая поднимается из долины Северского Донца на север и юг, где расположен Донецкий кряж. Он был сформирован мощными толщами осадочных пород давних морей. Самая высокая точка Могила Мечетная – 367 м. В долинах рек Миуса и Нагольная высота Донецкого кряжа уменьшается, и восточные склоны переходят в Приазовскую береговую равнину. На севере снижение проходит медленно и к Донцу обрывается стремительным выступом, образуя живописный правый берег реки. В левобережной части области расположена Старобельская равнина. На крайний север заходят части Среднерусской возвышенности. Вдоль левого берега реки тянется сравнительно неширокая (16–18 км) террасовая равнина, покрытая песками, местами, сформированными в дюны. Главной водной артерией является река Северский Донец [134].

Территория северной части Донецкого кряжа характеризуется высоким уровнем распашки земель, такими землями занято более 70%. При почвенном картировании выделено 15 генетических групп, которые объединяют в 67 почвенных разновидностей. Площади под посевами представлены чернозёмами на лессовых породах (85,4%), они имеют тяжелосуглинистый и глинистый механический состав, мощность гумусового горизонта неэродированных подтипов чернозёмов колеблется от 50 до 110 см. Содержание гумуса в пахотном слое находится в пределах 4,7–6,3%, сумма обменных катионов – 36–53 мг-экв на 100 г почвы, степень насыщенности катионами кальция от этой суммы 80–90%. Реакция почвенного раствора близка к нейтральной (рН = 6,8–7,2).

Чернозёмы на лессовых породах расположены по всем административным районам [134]. Чернозёмы на элювии бескарбонатных пород занимают 4,03%, встречаются преимущественно на склонах в Лутугинском, Краснодонском, Антрацитовском, Перевальском и Свердловском районах ЛНР. Механический состав почвы на элювии глинистых сланцев – глинистый или песчано-тяжелосуглинистый, на элювии песчаников – средне- и легкосуглинистый, мощность гумусового горизонта – 30–35 см, содержание гумуса в плодородном слое – 2,5–4%, насыщенность кальцием почвенного поглощающего комплекса – 60–77% от суммы обменных катионов. Чернозёмы солонцеватые на лессовых породах занимают 6,1%. Они тяжелосуглинистые или глинистые, в верхней части гумусового слоя реакция почвенного раствора нейтральная, в солонцеватом горизонте значение рН достигает 8. Чернозёмы на карбонатных породах (2,3%) распространены в Меловском, Беловодском, Белокуракинском, Старобельском, Новопсковском, Новоайдарском и Троицком районах, временно неподконтрольных ЛНР. Механический состав этих почв легко- и среднесуглинистый. Мощность гумусового слоя достигает 50–70 см, содержание гумуса – 3–5%, насыщенность кальцием – 92–95% [134].

Климат Донбасса континентальный с жарким засушливым летом и холодной зимой с неустойчивым снежным покровом. Преобладающей воздушной массой здесь является континентальный полярный воздух [31, 32]. На формирование климата данного региона оказывает влияние большой приток солнечной радиации, особенно весной (32–34 Ккал/см²) и летом (44–48 Ккал/см²). Значительный приток солнечного тепла и господство континентальных воздушных масс обуславливают довольно высокие температуры лета, а удалённость от морей – сравнительно низкие температуры зимой. Средняя температура самого теплого месяца (июля) 22,1°С, самого холодного (января) – минус 4,9°С. Абсолютный максимум составляет +42°С, абсолютный минимум – минус 42°С. Среднегодовая температура воздуха – 8,5° [70, 107, 110, 162].

Образование засух и суховеев в Донбассе связано с приходом сухого арктического воздуха. Очень часто на территорию Донбасса приходит знойный

сухой ветер, не утихающий даже ночью. Это так называемый в народе «афганец», или «каспиец». Он усиливает испарение, буквально высасывает влагу из почвы и растений, нанося большой вред сельскому хозяйству (явления «захвата» и «запала» хлебов) [16, 17,109]. С мая по август (в среднем) отмечается от 1 до 5 дней, когда суховеи не прекращаются даже в вечернее время (с 19 до 21 часа). Особенно интенсивными за последние 70 лет были суховеи 5 июня 1938 г. и 14–16 августа 1951 г., они продолжались не только днём, но и ночью. Самым сильным из всех наблюдавшихся суховеев был суховой 1 июня 1921 г. в городе Луганске. Тогда влажность воздуха снизилась до 7% при температуре 19°C и скорости ветра 9 м/сек. Особенно затяжные сильные суховеи за последние годы, отмеченные на Луганской агрометеостанции, были в 1938 г. – 60 дней, в 1968 г. – 102 дня, в 1971 г. – 94 дня, в 1972 г. – 113 дней и в 1975 г. – 135 дней [70].

В связи с господством континентальных масс в Донбассе выпадает мало осадков, кроме того, по территории они распределены неравномерно. Средняя многолетняя сумма осадков равна 450–500 мм. Больше всего осадков выпадает в июне, меньше – в январе, феврале, марте и декабре [162].

Антрацитовский административный район ЛНР относится к Донецкой северо-степной провинции [143]. Климат данной провинции недостаточно влажный и теплый. Количество осадков за год составляет 480–500 мм, продолжительность вегетационного периода – 160–170 дней; гидротермический коэффициент – 0,9–1,1. Почвы – чернозёмы обыкновенные среднегумусные и малогумусные на лессовидных породах. Встречаются чернозёмы на элювии плотных карбонатных пород.

Беловодский административный район относится к Задонецкой северной степи [17]. Климат этого района умеренно засушливый, очень теплый. Количество выпадающих осадков составляет 450–500 мм, продолжительность вегетационного периода – 150–170 дней, гидротермический коэффициент – 0,8–0,9. Основной почвенный покров составляют чернозёмы обыкновенные средне- и малогумусные на лессовых породах и дерновых почвах на карбонатных породах, много солонцеватых почв.

2.2 Методика исследований

Основу информационно-эмпирической базы исследования составили официальные статистические данные Государственного комитета статистики Луганской Народной Республики, Центра гидрометеорологии МЧС ЛНР (ранее Луганская метеостанция), теоретические труды отечественных и зарубежных учёных, другие специальные и научно-практические информационные источники, в частности, материалы периодических изданий и специальные монографические источники по теме диссертационного исследования, а также результаты собственных исследований и наблюдений.

В работе используются статистические данные урожайности основных сельскохозяйственных культур на территории Луганщины. Анализируется урожайность озимой пшеницы, кукурузы, группы зерновых культур и подсолнечника за период с 1945 по 2013 г., то есть за 69 лет. Полные и надёжные сведения об урожайности ячменя и гороха в областном управлении статистики представлены лишь с 1975 г., поэтому по этим культурам использовались данные за 39 лет (1975–2013 гг.). Данные об урожайности наиболее распространённых сельскохозяйственных культур приведены в Приложении А (Таблица 1). Для вычисления современных прогнозных значений урожайности в основную модель «погода – урожайность озимой пшеницы» добавлены шесть зависимых переменных с временно неподконтрольной ЛНР территории.

Сведения о среднемесячной температуре и ежемесячном количестве осадков по Луганской метеостанции были взяты из справочной литературы [2, 3, 4, 5, 6, 7, 107, 108, 109, 110, 162]. По необходимости были проведены уточнения по Луганской метеостанции. В работе анализируются данные среднемесячной температуры воздуха и суммы осадков по месяцам с 1943 по 2013 г., т.е. за 71 год. Рассматривали также связь продуктивности озимой пшеницы, ярового ячменя и подсолнечника по данным учебно-научно-производственного аграрного комплекса (УНПАК) «Колос» Луганского государственного аграрного университета (ЛГАУ) с агроклиматическими факторами с 1995 по 2019 г. (за исключением 2014 г.).

Рассматриваемые в диссертационном исследовании математические модели зависимости урожайности от температуры и осадков учитывают данные не только за год формирования урожая, но и за предшествующий год. По этой причине при рассмотрении урожайности за 1945 г. необходимо знание температуры и осадков не только за 1944 г., но и за 1943 г. С этим связана потребность учёта температуры и осадков за 71 год (по озимой пшенице). При оценке связей урожайности с агроэкологическими факторами по ячменю и гороху использовали сведения о месячных суммах осадков и среднемесячной температуре воздуха с 1974 по 2013 г., т.е. за 40 лет. Данные о температуре и осадках приведены в Приложении А (Таблицы 2, 3).

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 [26].

Эколого-статистическая обработка данных используется обычно для установления и оценки значимости величин статистических параметров и их различий, а также для определения величин и надёжности связей между признаками. Критерии различий подразделяются на непараметрические и параметрические. Из непараметрических критериев в нашей работе используется Т-критерий Уилкоксона [77].

В случае использования непараметрических критериев сравнения выборок с сопряжёнными признаками сравниваются не ранги упорядоченных вариантов, а ранги упорядоченных разностей между сопряжёнными признаками. Наиболее простым из этих методов является критерий знаков [95, 125], хотя и другие критерии не являются сложными. Критерий знаков имеет недостаток – он не учитывает значения разностей между величинами сопряжённых признаков. Более надёжным, но и более сложным является Т-критерий Уилкоксона. Методика использования Т-критерия Уилкоксона сводится к следующему. После нахождения разностей между парными вариантами сопряжённых рядов, разности упорядочивают по абсолютным значениям (по модулю) в один ряд по

возрастанию и определяют их ранги. Ранги суммируют отдельно для положительных и отрицательных разностей. Если разность между парными вариантами равняется нулю, она не учитывается, а количество наблюдений (n) соответственно уменьшается. Наименьшая сумма рангов, без учёта знака, сравнивается со стандартными значениями для выбранного уровня значимости ($p = 0,05$; $p = 0,01$ или $p = 0,001$) и количества парных сравнений, которое должно быть не меньше 6. Здесь значение « p » представляет собой вероятность ошибки заключения (суждения, вывода) о значимости различия. Известно, что в обычных биологических и сельскохозяйственных исследованиях обычно ориентируются на первый уровень значимости, когда $p = 0,05$ (вероятность ошибки 5%) [23, 48].

Кроме вероятности ошибки « p » с равным успехом также используют так называемую вероятность правильности (надёжности) суждения « P », дополнительную к « p » до единицы ($p + P = 1$). Именно « P » рекомендовал применять известный специалист в области биометрии Н.А. Плохинский (1980). По Н.А. Плохинскому (1980), при $P < 0,95$ значения параметров, их разностей и показателей связи следует считать недостоверными, при $0,95 < P < 0,99$ – выводы в области сомнения, при $0,99 < P < 0,999$ – достоверные, при $0,999 < P$ – высоко достоверные. Большинство специалистов по использованию математико-статистических методов в биологии и сельском хозяйстве считают возможным говорить о значимых (достоверных) значениях параметров, различий и связей при значениях $0,95 < P < 0,99$ ($0,01 < p < 0,05$) [77]. Если табличное (стандартное) значение T -критерия превышает его фактическое значение, то есть меньшую сумму рангов, это указывает на значимость (достоверность, существенность) разности, которая имеется между выборками. Если табличное значение T -критерия меньше его фактического значения (меньшей суммы рангов), разность незначима. В этом случае можно принять нулевую гипотезу.

Для последующего анализа распределений урожайности, температуры и осадков составляли вариационные ряды. Фактические (наблюдаемые) распределения сравнивали с расчётными значениями. Нормальное распределение (распределение Гаусса) занимает среди расчётных распределений особое место.

Функция плотности нормального распределения представляет собой колоколообразную кривую. Она симметрична и однозначно описывается двумя параметрами: средним арифметическим значением « \bar{x} » (точка максимума, через которую проходит ось симметрии) и стандартным отклонением « s ». Формулу распределения частот по нормальному закону можно найти в любом руководстве по математической статистике. Здесь она не приводится из-за её громоздкости.

Различия эмпирических и расчётных частот оценивали по критерию χ^2 К. Пирсона:

$$\chi^2 = \sum \frac{(f - f')^2}{f'} = \sum \frac{d^2}{f'} , \quad (1)$$

где f – фактическая частота;

f' – ожидаемая частота;

d – разность частот.

Для анализа распределений вычисляются также коэффициенты эксцесса и асимметрии по следующим формулам.

1. Коэффициент эксцесса:

$$E = \frac{\sum d_i^4}{n \cdot s^4} - 3, \quad (2)$$

где E – коэффициент эксцесса;

$d_i = x_i - \bar{x}$ – разность частных и среднего значений.

2. Коэффициент асимметрии:

$$A = \frac{\sum d_i^3}{n \cdot s^3} , \quad (3)$$

где A – коэффициент асимметрии.

Значимость параметров обычно оценивают по t-критерию Стьюдента, относящемуся к параметрическим критериям. В общем случае:

$$t = \frac{A}{S_a} , \quad (4)$$

где A – значение параметра;

S_a – ошибка репрезентативности этого параметра.

Применительно к эксцессу и асимметрии

$$t_e = \frac{E}{2\sqrt{\frac{6}{n}}} \quad \text{и} \quad t_a = \frac{A}{\sqrt{\frac{6}{n}}}.$$

Показатели асимметрии и эксцесса свидетельствуют о значимом различии теоретического (расчётного) и наблюдаемого распределений в том случае, если критерии значимости больше числа 3 ($t_{Ast} = t_{Est} = 3$). Результаты оценки распределений путем нахождения коэффициентов эксцесса и асимметрии в общем случае согласуются с теми, которые получают при использовании критерия « χ^2 ». Вычисления элементарных статистик производятся по следующим формулам.

1. Среднее арифметическое значение:

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}, \quad (5)$$

где \bar{x} – средняя арифметическая;

x_i – частные значения признака в совокупности;

n – объём совокупности (выборки).

2. Дисперсия (варианса):

$$s^2 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}, \quad (6)$$

где s^2 – дисперсия.

3. Стандартное отклонение:

$$s = \sqrt{s^2}. \quad (7)$$

4. Коэффициент вариации (изменчивости):

$$cv = \frac{100s}{\bar{x}}, \quad (8)$$

где cv – коэффициент вариации в процентах.

5. Выборочная ошибка средней арифметической (ошибка репрезентативности):

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{s^2}{n}} = \frac{s}{\sqrt{n}}, \quad (9)$$

где $S_{\bar{x}}$ – ошибка средней арифметической.

Из этих статистик первая (\bar{x}) характеризует уровень или значение признака. Три последующих статистики характеризуют изменчивость признака, причём дисперсия (s^2) и среднее квадратичное отклонение (s) являются абсолютными показателями изменчивости, тогда как коэффициент вариации (cv) – относительный показатель изменчивости.

Для анализа связей между зависимой (урожайность) и независимыми (среднемесячные температуры воздуха и месячные суммы осадков) переменными, как и переменных между собой, применяли парный линейный корреляционный анализ.

Коэффициент корреляции вычисляется по формуле

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \sum (y_i - \bar{y})^2}} \quad (10)$$

Коэффициент корреляции – это число, лежащее в пределах от -1 до $+1$ [77, 111]. Коэффициент корреляции широко применяется в практике, так как способен характеризовать наиболее часто встречающиеся линейные (прямолинейные) связи, т.е. выражаемые уравнением линейной регрессии.

Значимость коэффициента корреляции определяется разными способами. Наиболее простым является способ, основанный на использовании имеющихся в ряде руководств таблиц количества пар значений, достаточных для достоверности выборочного коэффициента корреляции « r » [113, 163]. При работе в системе STATISTICA машина создаёт таблицу значений коэффициентов корреляции между всеми переменными. При этом незначимые коэффициенты выводятся на печать чёрным цветом, а значимые (при $p < 0,05$) – красным.

Проводилось выяснение зависимости урожайности (зависимой переменной) от среднемесячной температуры воздуха и суммой осадков за многие месяцы (независимых переменных). В подобных случаях используется статистический анализ многомерных корреляционных и регрессионных связей.

Коэффициент множественной линейной корреляции « R » принимает значения от нуля до единицы ($0 \leq R \leq 1$). Формулы для определения « R » довольно

громоздки, и поэтому здесь не приводятся. Квадрат коэффициента множественной корреляции « R^2 » называется коэффициентом множественной линейной детерминации и показывает, какая доля вариации (изменчивости, вариабельности) зависимой переменной Y объясняется с помощью линейной зависимости Y с независимыми переменными (X_1, X_2, \dots, X_k).

Значимость множественной корреляции оценивается по F-критерию:

$$F = \frac{R^2}{1 - R^2} \left(\frac{n - k}{k - 1} \right), \quad (11)$$

где n – объём выборки;

k – число всех переменных.

Фактическое значение « F » сравнивается с « F_{st} » для числа степеней свободы $v_1 = k - 1$ и $k_2 = n - k$.

Нулевая гипотеза принимается, если $F < F_{st}$.

При вычислениях на компьютерах обычно в таблицы результатов выводятся значения « F » и статистический уровень значимости (p -уровень).

Оптимальным способом представления знания является установление зависимостей между количеством и качеством. Учёного должны интересовать, прежде всего, оценки связей между измеренными переменными [23]. При этом наиболее важными являются свойства зависимости между переменными:

- 1) величина зависимости, оцениваемая « R » и « R^2 »;
- 2) надёжность зависимости (p -уровень).

Множественная линейная регрессия в общем виде выражается следующим уравнением:

$$y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + \dots + a_kX_k, \quad (12)$$

где y – зависимая переменная;

a_0 – свободный член уравнения;

X_1, X_2, \dots, X_k – независимые переменные;

a_1, a_2, \dots, a_k – параметры (коэффициенты) уравнения линейной регрессии.

По таким формулам в системе STATISTICA вычисляются расчётные значения урожайности для каждого года.

Обработку исходных данных производили на персональном компьютере.

Корреляционно-регрессионный анализ выполняли в системе STATISTICA (лицензия GGHGGJ6TUABC4RGRHBCG). Эта система объединяет достаточно удачную систему управления базами данных (СУБД), совместимую с рядом других СУБД (в том числе с известной СУБД FoxPro), является большим и постоянно совершенствующимся комплексом программ для статистической обработки данных с удобным графическим сопровождением при проведении вычислений.

В производственных посевах озимой пшеницы учебно-научно-производственного аграрного комплекса «Колос» Луганского государственного аграрного университета согласно общепринятым методикам определяли такие показатели, как:

- температура почвы;
- запасы продуктивной влаги в почве;
- скорость ветра;
- освещённость;
- высота снежного покрова.

3 ДИНАМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КЛИМАТА И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ ЗЕРНОВЫХ И МАСЛИЧНЫХ КУЛЬТУР

3.1 Распределение среднемесячных температур и осадков в северной части Донецкого края

Отличительной особенностью большинства районов Донбасса является достаточная или избыточная обеспеченность теплом и умеренная или недостаточная обеспеченность осадками. В таблице 2 приведены основные (от англ. «basic») характеристики распределений среднемесячной температуры атмосферного воздуха в северной части Донецкого края с 1943 по 2013 годы. Средняя температура воздуха наиболее холодного месяца в году – января за исследованное время составляет минус 5,2°С, наиболее теплого – июля – +22,3°С.

Таблица 2 – Распределение среднемесячной температуры воздуха (1943–2013 гг.)

Месяцы	Температура воздуха, °С			Станд. отклонение	Коэффициенты	
	средняя	мини- мальная	макси- мальная		экссенса	асимметрии
I	-5,2	-16,1	2,6	4,06	-0,63	-0,09
II	-4,5	-18,2	3,6	4,15	-0,66	0,67
III	0,8	-6,3	6,2	2,77	-0,22	-0,35
IV	9,9	3,3	15,0	2,27	0,03	-0,05
V	16,3	12,9	20,5	1,87	0,35	-0,74
VI	20,4	17,3	24,3	1,80	0,35	-0,89
VII	22,3	18,8	26,3	1,76	0,32	-0,78
VIII	21,1	18,1	25,9	1,71	0,43	-0,08
IX	15,1	11,4	19,7	1,69	-0,19	-0,12
X	8,2	3,0	12,7	1,99	-0,13	0,45
XI	2,1	-6,6	8,7	2,53	-0,74	1,57
XII	-2,4	-9,2	3,0	2,88	-0,23	-0,58

Стандартное отклонение показывает величину отклонения значения того или иного элемента от своего многолетнего значения как в сторону более высоких, так и в сторону более низких температур. Самое высокое стандартное отклонение от среднемесячного значения отмечено в феврале – 4,15, самое низкое в сентябре – 1,69. Большинство значений коэффициентов эксцесса и асимметрии

невелики и незначимы, что позволяет рассматривать данное распределение как нормальное (Таблица 2).

Ход среднемесячной температуры воздуха на Луганщине представлен на рисунке 1.

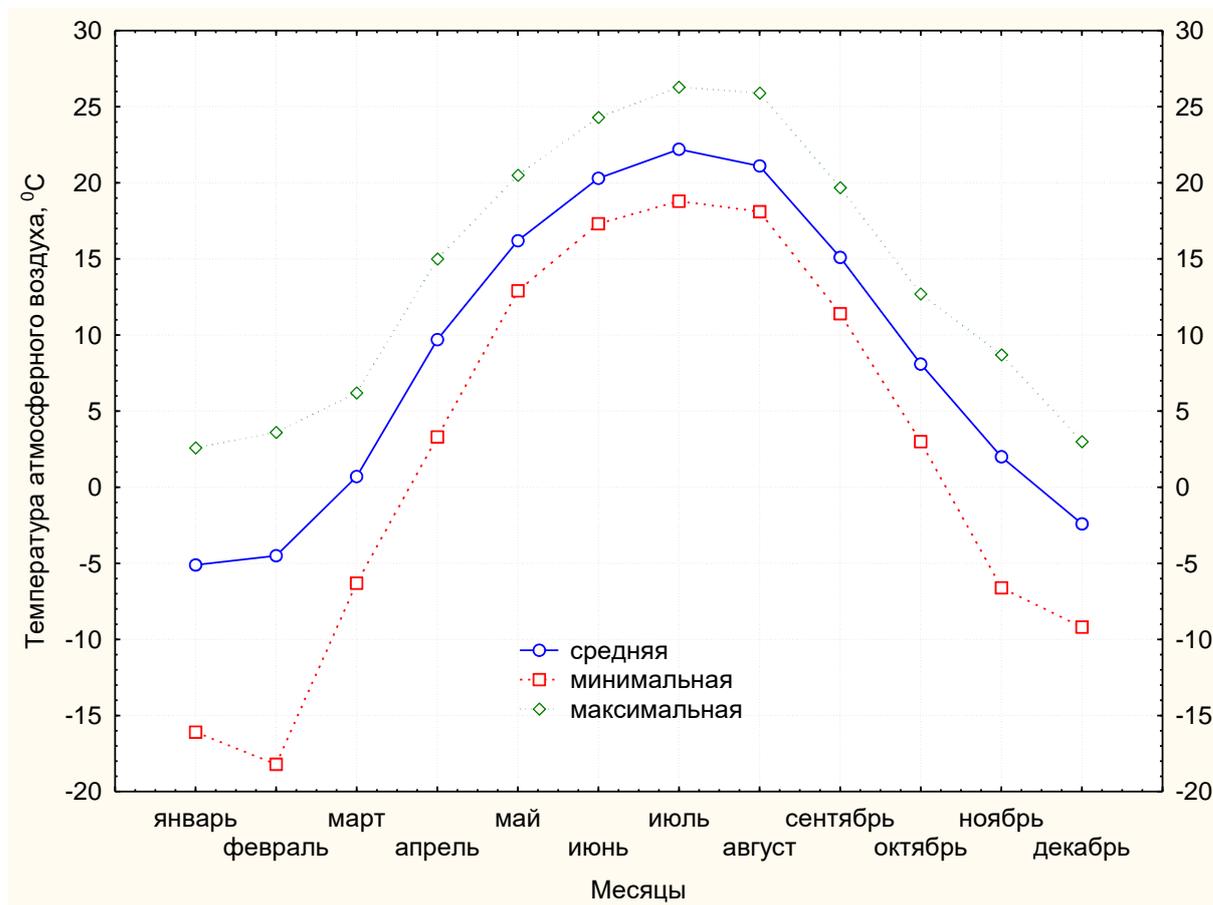


Рисунок 1 – Распределение среднемесячных температур атмосферного воздуха по месяцам, °С (1943–2013 гг.)

Среднемесячная отрицательная температура характерна для зимних месяцев, в остальные месяцы средняя температура положительная. Лето в степи жаркое (более $+20^{\circ}\text{C}$, 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 $+8,6^{\circ}\text{C}$.

Средние значения температуры воздуха условно являются температурным оптимумом для культурных растений, при отклонении от среднего значения в сторону минимальной или максимальной температуры воздуха (в отдельные месяцы и дни) культуры испытывают стрессовое состояние, что впоследствии

отражается на величине урожая. Самая низкая среднемесячная температура воздуха зафиксирована на отметке $-18,2^{\circ}\text{C}$ в феврале 1954 г. (Приложение А, Таблица 2).

В таблице 3 приведены основные статистические данные распределения параметров суммы осадков по месяцам за 1943–2013 гг.

Таблица 3 – Распределение осадков по месяцам (1943–2013 гг.)

Месяцы	Количество осадков за месяц, мм			Станд. отклонение	Коэффициенты	
	среднее	минимальное	максимальное		эксцесса	асимметрии
I	32,9	1,0	95,0	22,34	1,07	0,27
II	29,7	3,0	84,0	19,44	0,72	-0,02
III	28,5	2,0	73,0	14,67	0,76	0,80
IV	33,2	2,2	121,0	20,77	1,25	3,17
V	42,9	2,0	119,0	24,37	0,71	0,44
VI	55,8	0,0	166,0	38,78	0,80	0,43
VII	53,8	1,0	234,0	38,15	1,83	6,00
VIII	37,9	0,0	103,0	27,59	0,63	-0,48
IX	36,3	0,0	142,0	29,70	1,31	2,30
X	34,0	1,0	92,0	23,13	0,66	-0,43
XI	37,5	3,0	90,0	20,68	0,55	-0,12
XII	37,0	2,0	112,2	24,06	0,87	0,45

Максимальное количество осадков за исследованный период времени выпало в июне – 55,8 мм и июле – 53,8 мм, минимальное – в феврале 29,7 мм и марте – 28,5 мм. Среднемесячное количество осадков составляет 38,3 мм. Характеристика распределений осадков на основании коэффициентов эксцесса и асимметрии, в большинстве случаев, указывает на соответствие фактических данных нормальному распределению (распределение Гаусса).

Минимальное количество атмосферных осадков, выпавших в Донбассе, в отдельные месяцы варьирует от 0 до 3 мм. Максимальное количество осадков выпало в июне 1958 г. – 166 мм, а также в июле 1992 г. – 234 мм (Рисунок 2). В засушливых условиях северной части Донецкого края выпадение большого количества осадков преимущественно благоприятно влияет на продуктивность культурных растений. Более подробно такая связь будет рассматриваться далее.

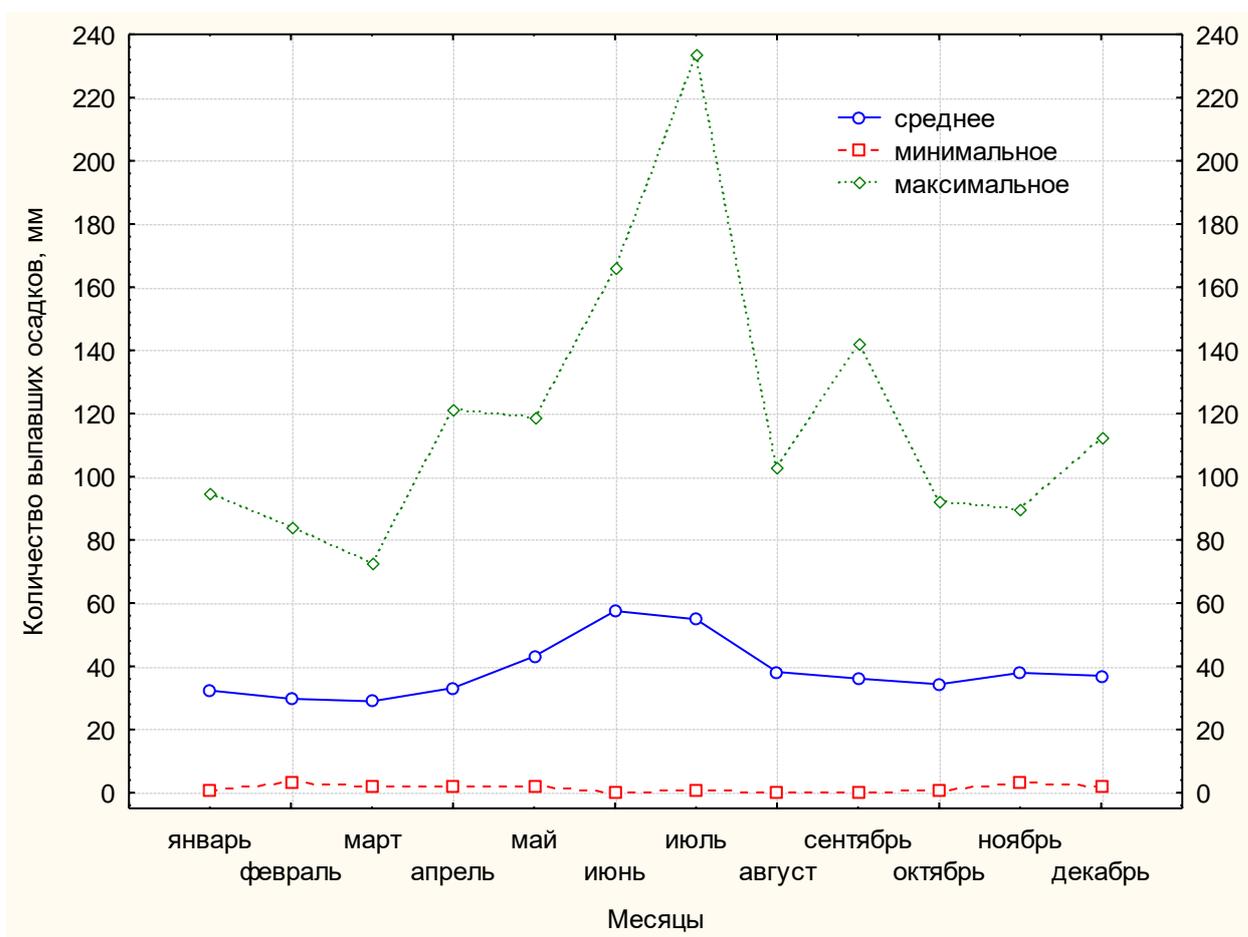


Рисунок 2 – Распределение осадков по месяцам, мм (1943–2013 гг.)

На продуктивность сельскохозяйственных культур влияет ряд климатических факторов, из которых основными являются количество осадков, температура воздуха и световое излучение.

Излучение Солнца в диапазоне длины волн спектра 0,38–0,71 мкм, которое обуславливает фотосинтез растений, называется фотосинтетической активной радиацией (ФАР). На поверхности Земли усваивается около 0,2% от ФАР, в рекордных севооборотах достигнут уровень фиксации 2,5%, а в экспериментах – до 5% ФАР [107].

На Луганской метеостанции, как и на Украине в целом, измерения ФАР не проводят из-за отсутствия стандартных приборов. Используя коэффициенты перехода от интегральной радиации при помощи экспериментальных исследований были получены значения ФАР для разных физико-географических зон, согласно которым в северной части Донецкого края сумма ФАР за вегетационный период составляет 1750–1880 МДж/м² [120], что вполне

удовлетворяет энергетические потребности основных сельскохозяйственных культур. Для озимой пшеницы и кукурузы необходимая сумма ФАР составляет соответственно 1039 и 1261 МДж/м². В общем, солнечная радиация не является лимитирующим фактором для формирования высоких урожаев в северной части Донецкого края и поэтому далее не рассматривается.

3.2 Динамика продуктивности озимой пшеницы под влиянием температуры воздуха и атмосферных осадков

Изложение результатов связи продуктивности культур с элементами климатопа по всем культурам производится с использованием единой схемы: вначале анализируются основные показатели и распределение признака «урожайность», далее приводятся результаты парного и множественного корреляционно-регрессионного анализа.

Озимая пшеница (*Triticum aestivum* L.) занимает первое место по площадям посевов, её назначение – обеспечивать потребности людей высококачественными продуктами питания: хлебом, хлебобулочными и кондитерскими изделиями. Большинство сортов озимой пшеницы относительно устойчивы против понижения температуры в осенний, зимний и ранневесенний периоды: при закаливании выдерживают понижение температуры на глубине узла кущения до –20°C. Наиболее высокая холодостойкость наблюдается в начале зимы, когда узлы кущения содержат максимум защитных веществ – сахаров. Озимая пшеница хорошо переносит высокие температуры летом, кратковременные суховеи с повышением температуры до 35–40°C не причиняют ей большого вреда [58].

Эта культура требует достаточного количества влаги на протяжении всего периода вегетации, больше всего в фазе выхода в трубку, особенно за 15 дней до колошения. Недостаток влаги в это время приводит к существенному снижению урожая вследствие уменьшения количества зёрен в колосе и массы 1000 зёрен. При избытке влаги (большое количество осадков в весенне-летний период) происходит сильный рост вегетативной массы, что приводит к полеганию, ухудшению фитосанитарного состояния посевов и снижению урожайности [83].

Озимая пшеница – основная продовольственная культура на Украине, большая часть посевных площадей, занимаемых этой культурой, сосредоточена на юге, юго-востоке и в центральном регионе страны. Её сорта более урожайны, чем сорта яровой пшеницы, она является хорошим предшественником для других культур севооборота и уменьшает напряжённость весенних посевных и уборочных работ [43, 132]. В каждой области выделены почвенно-климатические зоны районирования сельскохозяйственных культур. В Луганской области выделяются следующие зоны.

1. Северная. Районы: Беловодский, Белокуракинский, Кременский, Марковский, Меловский, Новоайдарский, Новопсковский, Сватовский, Старобельский и Троицкий.

2. Центральная. Районы: Попаснянский, Лутугинский, Перевальский, Славяносербский, Станично-Луганский и хозяйства Луганской городской зоны.

3. Южная. Районы: Антрацитовский, Краснодонский и Свердловский.

На уровень урожайности влияет состояние посевов озимой пшеницы до перезимовки, которое зависит от климатических факторов данной местности. К сожалению, наблюдения за предзимним состоянием озимых в Луганской области проводились только с 1996 по 2004 г. Это связано с определёнными трудностями, среди которых и отсутствие надлежащего финансирования. Данные о состоянии посевов на Луганщине приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Состояние посевов озимых перед уходом в зиму, % (1996–2004 гг.)

Год посева	Год уборки урожая	Посеяно, тыс. га	Состояние, %		
			хорошее	удовлетворительное	слабые и изреженные
1996	1997	343,4	68,0	29,1	2,9
1997	1998	330,2	55,8	36,3	7,8
1998	1999	294,3	28,3	29,6	42,1
1999	2000	227,4	18,1	36,8	45,2
2000	2001	221,8	64	29	7,0
2001	2002	290,5	73	23,9	3,0
2002	2003	295,3	66,4	29,6	4,0
2003	2004	290	31,1	42,4	26,5
2004	2005	290,6	60,8	31,7	7,5

В таблице 4 также указана динамика посевных площадей. Наименьшая площадь под озимыми была в 1999–2000 гг. – соответственно 227,4 и 221,8 тыс. га. Состояние посевов после перезимовки озимых культур в нашем регионе проводилось только на участках экспертизы сортов растений. Сорта, предназначенные для испытания в условиях тестового региона, закодированы по рекомендациям авторов сортов с целью недопущения утечки информации. Поэтому сведения об устойчивости отдельного сорта к болезням и вредителям, морозоустойчивости и урожайности появляются тогда, когда принято решение о внедрении сорта в производство.

В 50–60-е гг. XX в. количество возделываемых сортов озимой пшеницы на Луганщине было небольшим, огромным успехом пользовался сорт Безостая 1. В 70-х годах прошлого столетия распространенными были сорта Мироновская 808 и Одесская 3, в 80-е годы – Одесская 51, Северодонская, Тарасовская 29, Южная заря. В 90-е годы количество сортов, предлагаемых сельхозпроизводителям, заметно увеличилось: Донская полукарликовая, Зерноградка 8, Находка 4, Одесская 51, Одесская 117, Одесская 133, Одесская 265, Одесская полукарликовая, Ольвия, Ростовчанка, Символ одесский, Тарасовская 29 и Херсонская остистая.

В период с 2000 г. в Реестре сортов появились новые продуктивные сорта: Витязь, Дар Луганщины, Ермак, Находка одесская, Куяльник, Луганчанка, Одесская 267. Вместе с тем в реестре сортов не указана зона районирования предлагаемых сортов, что создаёт определенные трудности для производителей сельскохозяйственной продукции.

Лучшими предшественниками для озимой пшеницы в степной зоне являются чёрный пар и горох. Детальный анализ зависимости урожайности озимой пшеницы от осадков и температуры воздуха приводится ниже.

Урожайность озимой пшеницы в исследуемом периоде варьировала от 5,0 ц/га в 1946 г. до 39,6 ц/га в 1989 и 2008 гг. Размах вариации составляет 34,6 ц/га (Рисунок 3).

На наш взгляд, сильная изменчивость признака «урожайность озимой пшеницы» является результатом влияния комплекса факторов, которые также

подвержены сильной изменчивости, как по годам, так и в пределах одного года. Такими факторами, безусловно, являются климатические, из которых нами были выбраны атмосферные осадки за каждый месяц в году и среднемесячная температура воздуха – эти факторы известны каждому специалисту сельского хозяйства, наблюдения по этим параметрам легко организовать в отдельном хозяйстве.

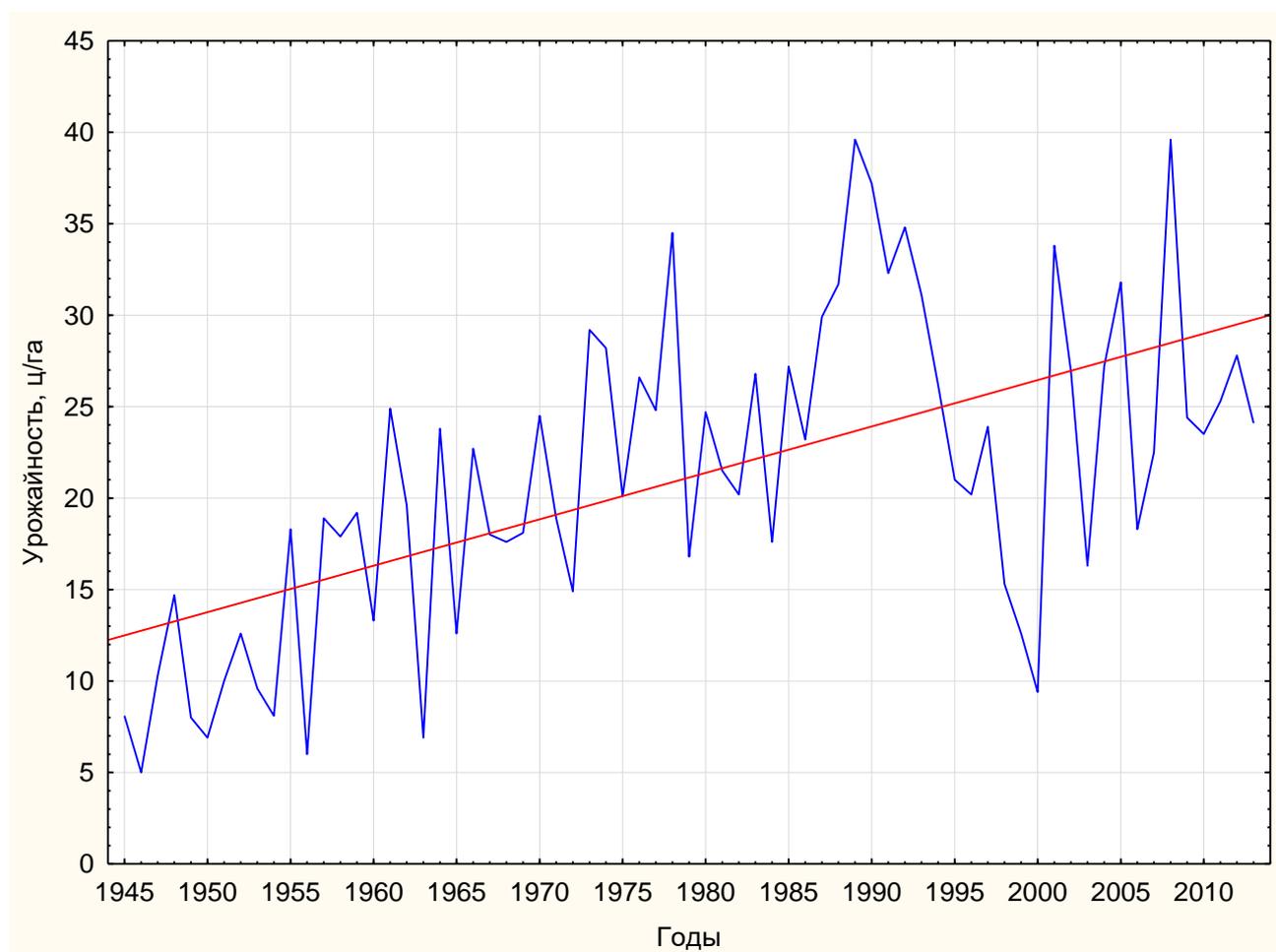


Рисунок 3 – Динамика урожайности озимой пшеницы (1945–2013 гг.)

Основная (базовая) статистика распределения урожайности озимой пшеницы представлена в таблице 5.

Таблица 5 – Основные показатели урожайности озимой пшеницы (1945–2013 гг.)

Средняя урожайность, ц/га	Размах изменчивости	Стандартное отклонение	Коэффициенты		
			вариации, %	экссесса	асимметрии
21,1	5,0–39,6	8,5	40,2	–0,53	0,06

Средний показатель урожайности озимой пшеницы с 1943 по 2013 гг. составляет 21,1 ц/га и сильно изменяется по годам, значение коэффициента вариации « cv » превышает 40% (Таблица 5).

Коэффициенты эксцесса и асимметрии невысокие, следовательно, изучаемый признак не обнаруживает эксцесса и асимметрии. Отсутствие значимых эксцесса и асимметрии распределения частот встречаемости признака «урожайность озимой пшеницы» позволяет предполагать, что фактическое распределение согласуется с нормальным распределением (распределение Гаусса).

Нормальное распределение полностью описывается двумя приведёнными в таблице 5 параметрами: средним арифметическим значением, обозначаемым как \bar{x} , и стандартным или средним квадратичным отклонением « s ».

Гистограмма эмпирического распределения и кривая нормального распределения урожайности озимой пшеницы представлены на рисунке 4. Для более надёжного суждения о закономерностях распределения желательно его сравнение с расчётным (нормальным) распределением по критерию « χ^2 ».

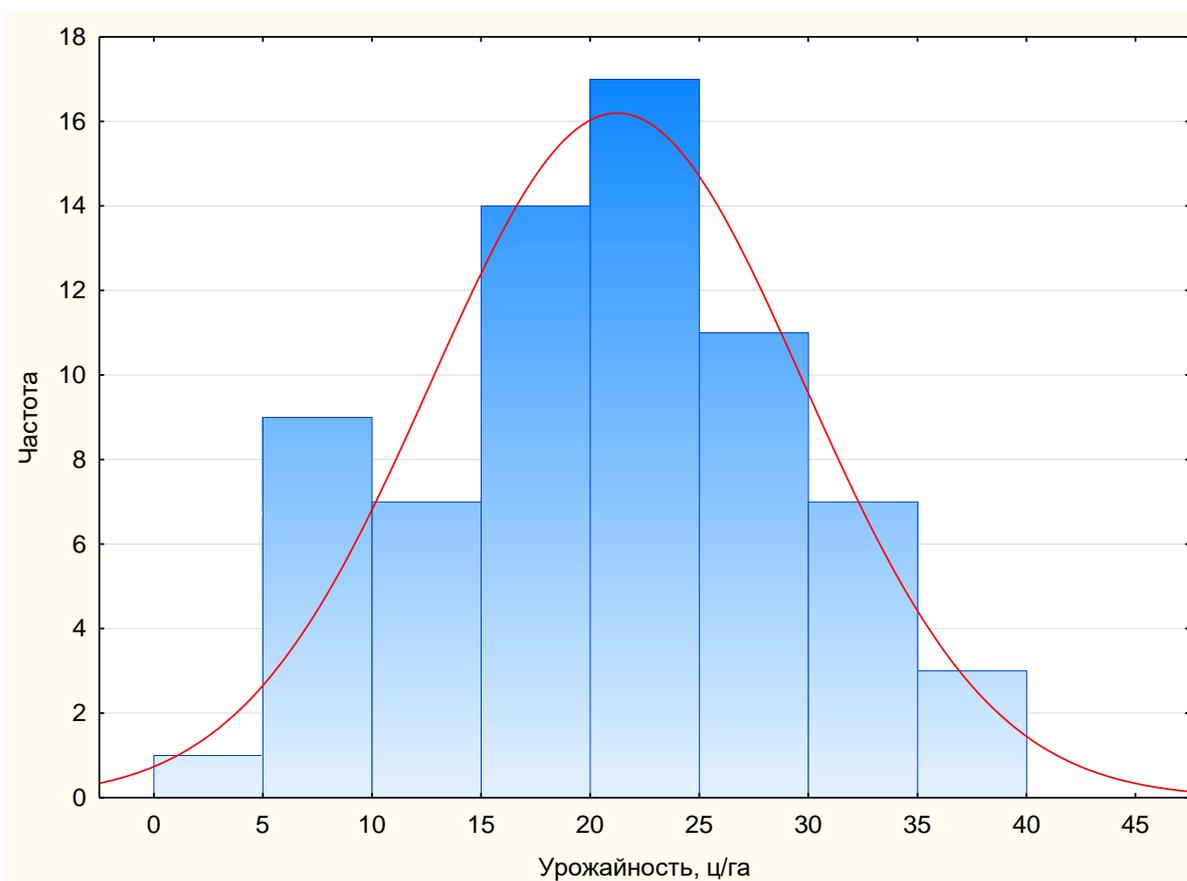


Рисунок 4 – Фактическое (гистограмма) и расчётное (кривая линия) распределение признака «урожайность озимой пшеницы» (1945–2013 гг.)

За начало эмпирического равно интервального ряда принимали «ноль», за величину классового интервала 5 ц/га. В этом случае число классов оказывается равным семи. Именно такое количество классов и рекомендуется тогда, когда объём выборки «n» равен 69 [77]. Следует напомнить, что в нашем исследовании $n = 69$.

Ход вычисления фактического значения « χ^2 » иллюстрируют данные, приведённые в таблице 6.

Таблица 6 – Проверка наблюдаемого распределения признака «урожайность озимой пшеницы» на нормальность по критерию « χ^2 »

Границы классов	0–	10–	15–	20–	25–	30–
Эмпирические частоты, f	10	7	14	17	11	10
Расчётные частоты, f'	7	8	12	22	13	7
Разность, d	3	–1	2	–5	–2	3
d^2	9	1	4	25	4	9
d^2/f'	1,28	0,12	0,33	1,13	0,31	1,28

При использовании « χ^2 » требуется, чтобы значения расчётных, полученных по нормальному закону частот « f' », во всех сравниваемых классах не были меньше 5. Чтобы выполнялось это условие, крайние классы с обеих сторон распределения объединяли в укрупнённые классы. В результате вариационные ряды становятся неравно-интервальными, но зато пригодными для сравнения по критерию « χ^2 ».

Фактическое значение $\chi^2 = \sum d^2/f'$, следовательно, $\chi^2 = 4,45$.

Число степеней свободы « v » равно количеству классов минус единица ($v = k - 1$), то есть $v = 6 - 1 = 5$. При пяти степенях свободы стандартное (табличное) значение $\chi^2_{st} = \{11,1 - 15,1 - 20,5\}$.

Три табличных значения соответствуют трём уровням значимости ($p = 0,05$; $0,01$; $0,001$).

Фактическое значение « χ^2 » не превышает стандартные значения, т.е. различие фактического и расчётного распределений урожайности озимой пшеницы можно считать случайным (принимается нулевая гипотеза).

Анализ распределения признака «урожайность озимой пшеницы» даёт возможность сделать два заключения. Нормальное распределение изучаемого признака позволяет использовать для статистической обработки любые известные методы. Это необходимо подчеркнуть, потому что многие методы разработаны для нормального распределения. Можно использовать, в частности, парный и множественный корреляционно-регрессионный анализ.

Теоретическая основа поисков одного или небольшого числа главных экологических факторов, которые обуславливают изменчивость урожайности пшеницы, при нормальном распределении этого признака отсутствует. Сам факт нормального распределения урожайности позволяет утверждать, что количество независимых переменных, оказывающих влияние на урожайность озимой пшеницы, велико.

Модели с таким большим количеством переменных довольно громоздкие, но вычислительные возможности современных персональных компьютеров, оснащённых такими системами как «STATISTICA», столь велики, что не создают каких-либо «вычислительных» проблем.

Термин «модель» можно понимать в широком и узком значении. В целом всё, что похоже на данный объект, но не является им, можно считать его моделью. Традиционно существовало два вида представления данных, которые можно считать моделями в представленной трактовке. К первому виду следует отнести представление результатов исследований в виде таблиц. Поскольку в них, как правило, размещаются обобщённые данные, таблицы дают возможность проанализировать влияние различных факторов и их взаимодействие. Другим видом обобщения данных, более информативным, являются регрессионные модели, которые определяют количественную связь исследованной величины (например, урожайность) с влияющими на неё факторами. Регрессионные зависимости с возможностью интерполяции позволяют с определённой

точностью прогнозировать результаты последующих исследований с учётом вариации факторов окружающей среды [121].

Появление новой компьютерной техники – персональных компьютеров (ПК) создало чрезвычайно благоприятные условия для широкого использования моделей. Можно допустить, что в ближайшие годы модели и построенные на их основе информационно-советательные системы станут доступны каждому специалисту, который по роду своей деятельности встречается с проблемой выбора одного из альтернативных решений. Действительно, достаточно адекватная модель позволяет заранее, то есть до практической реализации того или другого действия специалиста, прогнозировать последствия, которые могут проявиться в тех или других возможных в будущем ситуациях. Таким образом, модели становятся неотъемлемой составляющей технологии принятия решений при управлении сложными системами [117].

В нашей модели рассматривается связь урожайности озимой пшеницы (зависимая переменная) с осадками и температурой (независимые переменные) за два года. Условно первый год – год, предшествующий посеву, второй год – год посева и получения 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. В качестве независимых переменных учитывали значения среднемесячной температуры первого (год посева) и второго года (год уборки урожая), а также ежемесячного количества осадков за эти же годы. Данные, иллюстрирующие урожайность озимой пшеницы, приведены в Приложении А (Таблица 1), среднемесячную температуру и ежемесячное количество осадков – в Приложении А (Таблицы 2, 3). В системе STATISTICA определяли значения парных коэффициентов корреляции урожайности с независимыми переменными.

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 ($r = 0,38^{**}$): чем теплее эти месяцы, тем выше урожайность (Таблица 7).

Таблица 7 – Результаты парной корреляции и множественной регрессии урожайности озимой пшеницы и среднемесячной температуры воздуха

Месяцы	Переменные (X_1-X_{12})	Коэффициенты		Переменные ($X_{13}-X_{24}$)	Коэффициенты	
		корреляции	регрессии		корреляции	регрессии
<i>Год, предшествующий посеву</i>				<i>Год посева и уборки урожая</i>		
VIII	1	0,04	-0,79541	13	0,08	-0,21032
IX	2	0,07	0,50747	14	-0,11	1,11864
X	3	0,09	-0,51073	15	0,03	0,87157
XI	4	-0,05	-0,29639	16	0,09	-1,49243
XII	5	0,23	1,27693	17	0,19	1,09882
I	6	0,01	-0,36350	18	0,25*	-0,34170
II	7	0,02	0,24453	19	0,29*	0,36540
III	8	0,20	1,11458	20	0,38**	0,83235
IV	9	0,13	-0,67950	21	0,13	-0,24251
V	10	-0,02	1,55893	22	-0,20	0,52482
VI	11	-0,06	0,21273	23	-0,31*	-0,79307
VII	12	-0,05	-1,70933	24	-0,11	-0,27988

Примечание: * – значимы при $0,95 < P < 0,99$; ** – значимы при $0,99 < P < 0,999$.

Как следует из данных, приведённых в таблице 7, в фазы цветения и наступления восковой спелости полевой культуры наблюдается отрицательная корреляция урожайности озимой пшеницы со среднемесячной температурой июня ($r = -0,31^*$). Высокая температура в июне снижает продуктивность озимой пшеницы. Установлена отрицательная корреляция урожайности озимой пшеницы с осадками августа ($r = -0,28^*$) и положительная – с суммой осадков за июнь ($r = 0,29^*$) в год, предшествующий посеву тестовой культуры (Таблица 8). Связь урожайности озимой пшеницы с осадками сентября ($r = 0,32^{**}$), апреля ($r = 0,29^*$) (выход в трубку), мая ($r = 0,30^*$), июня ($r = 0,28^*$) и июля ($r = 0,25^*$) в год посева и уборки урожая значимая и положительная: чем больше выпадает осадков в фазы колосение – цветение – молочная спелость – восковая спелость, тем выше урожай озимой пшеницы и наоборот. Коэффициент парной корреляции между июньскими осадками и температурой воздуха в июне равен $-0,40^{***}$ (Приложение Б, Таблица 5).

Таблица 8 – Результаты парной корреляции и множественной регрессии урожайности озимой пшеницы и атмосферных осадков

Месяцы	Переменные (X ₂₅ –X ₃₆)	Коэффициенты		Переменные (X ₃₇ –X ₄₈)	Коэффициенты	
		корреляции	регрессии		корреляции	регрессии
<i>Год, предшествующий посеву</i>				<i>Год посева и уборки урожая</i>		
VIII	25	–0,28*	–0,06787	37	–0,08	0,00925
IX	26	0,10	0,13743	38	0,32**	0,17889
X	27	–0,12	0,02168	39	–0,15	–0,01951
XI	28	0,02	–0,08382	40	0,13	0,06041
XII	29	0,13	–0,01336	41	0,06	–0,08455
I	30	0,15	0,15238	42	0,10	0,11346
II	31	0,12	–0,06845	43	0,16	0,05330
III	32	–0,11	–0,07227	44	0,11	–0,17758
IV	33	0,19	0,04541	45	0,29*	–0,00365
V	34	0,05	0,10073	46	0,30*	0,09577
VI	35	0,29*	0,04322	47	0,28*	0,03008
VII	36	0,23	–0,05059	48	0,25*	0,02551

Примечание: * – значимы при $0,95 < P < 0,99$; ** – значимы при $0,99 < P < 0,999$.

В северной части Донецкого края урожайность озимой пшеницы зависит от комплекса абиотических факторов среды. Для определения суммарного влияния атмосферных осадков и температуры воздуха применяли множественный корреляционно-регрессионный анализ. Уравнение множественной регрессии имеет вид

$$y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + \dots + a_{48}X_{48}, \quad (13)$$

где y – урожайность озимой пшеницы (зависимая переменная),

a_0 – свободный член в уравнении регрессии,

a_1, \dots, a_{48} – параметры (коэффициенты) уравнения регрессии, начиная с a_1 (для температуры августа года, предшествующего посеву) и до a_{48} (для суммы осадков за июль года посева и уборки урожая),

X_1 – X_{24} – температура за соответствующие месяцы,

X_{25} – X_{48} – осадки за соответствующие месяцы.

Результаты множественного корреляционно-регрессионного анализа между урожайностью озимой пшеницы и независимыми переменными представлены в Приложении Б.

По уравнению множественной регрессии вычисляются расчётные (в системе STATISTICA «predict» (англ.) – теоретические, предсказанные) значения урожайности в зависимости от агроклиматических условий года (Приложение Б, Таблица 10).

Для нахождения расчётной урожайности в 2013 г. достаточно подставить в уравнение соответствующие коэффициенты регрессии и значения температуры воздуха и осадков:

$$y_{13} = 34,74650 + (-0,79541) \times 21,1^{\circ}\text{C} + 0,50747 \times 15,4^{\circ}\text{C} + \dots + 0,02551 \times 31,0 \text{ мм.}$$

Расчётная урожайность озимой пшеницы в 2013 г. составила 16,9 ц/га. Фактическое значение урожайности в этом году было на уровне 24,1 ц/га, отклонение составляет 7,2 ц/га.

Высокую степень совпадения фактических (эмпирических, наблюдаемых) и расчётных значений урожайности озимой пшеницы иллюстрируют данные, представленные на рисунке 5.

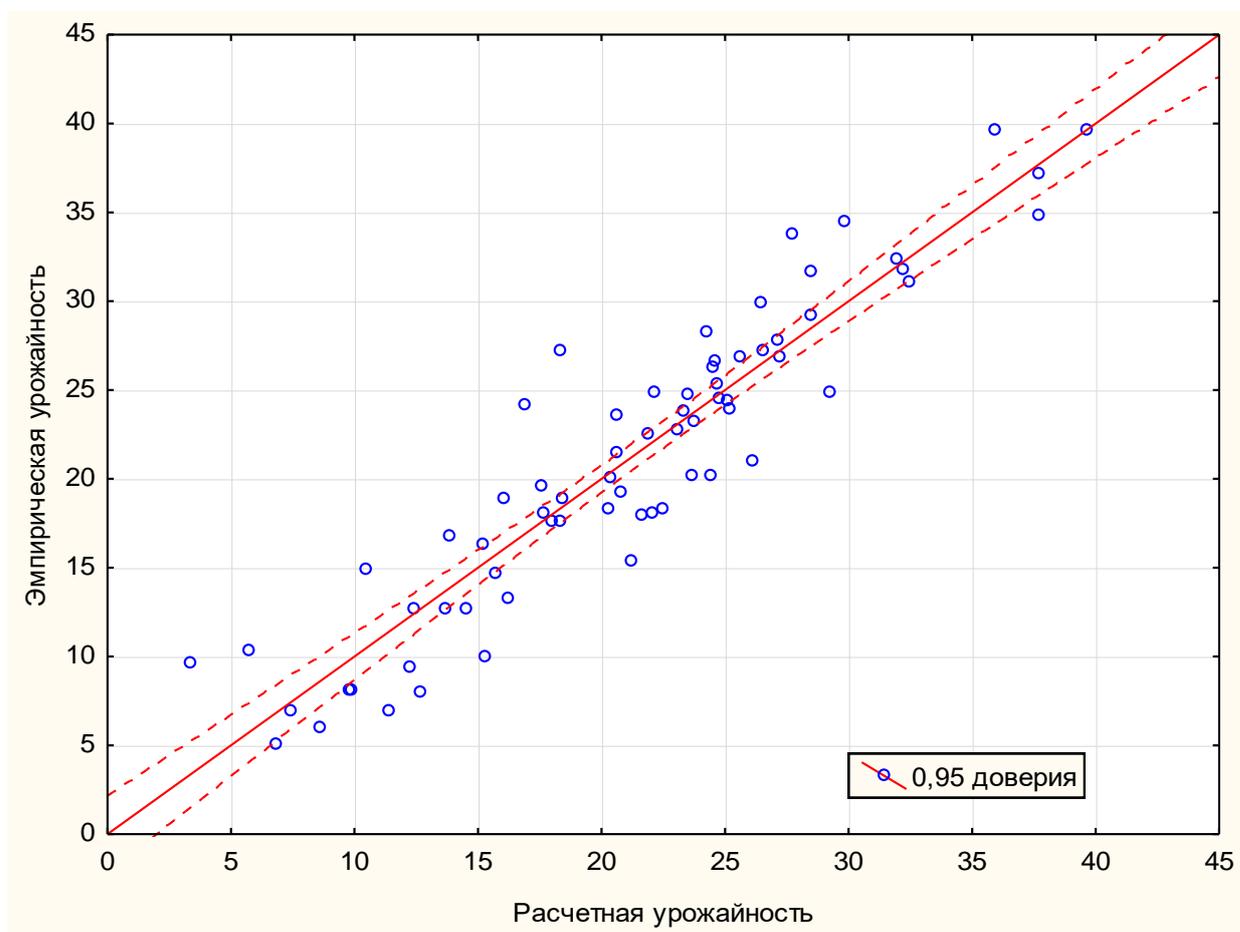


Рисунок 5 – График совпадения фактической и расчётной урожайности озимой пшеницы (1945–2013 гг.)

Анализ отклонений (разностей) эмпирических значений урожайности озимой пшеницы от расчётных позволяет утверждать, что они в среднем по модулю приблизительно равны $\approx 2,9$ ц/га (Приложение Б, Таблица 10). Около 52% отклонений укладываются в 2 ц/га, ещё большее их количество – 68% укладывается в 3 ц/га.

Ряды динамики или временные ряды расчётных и фактических значений урожайности озимой пшеницы, представленные на рисунке 6, сходны даже в деталях.

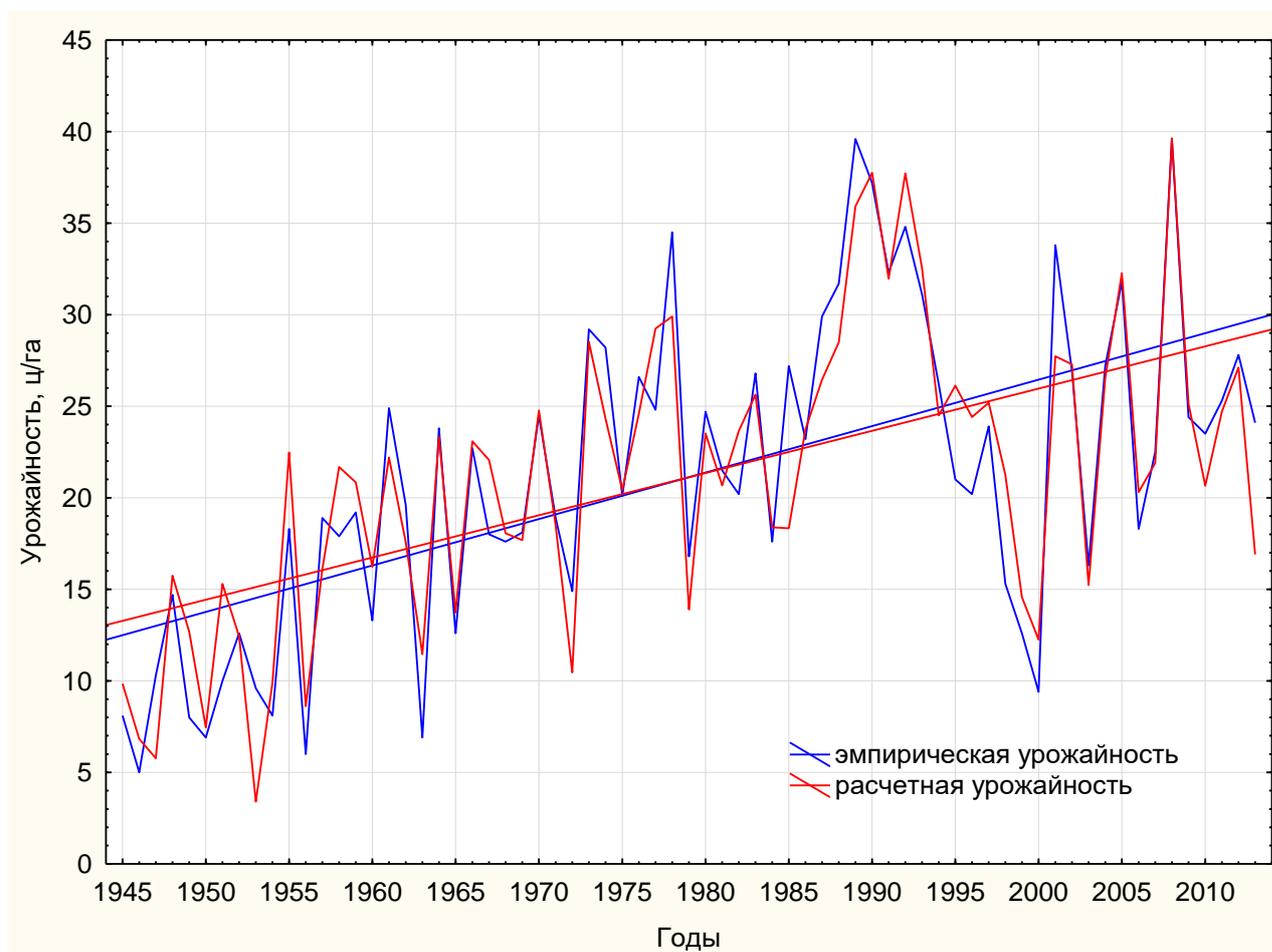


Рисунок 6 – Временные ряды фактической и расчётной урожайности озимой пшеницы (1945–2013 гг.)

Хорошее совпадение наблюдается и для особенно неурожайных, и для рекордно урожайных лет. Наибольшее в отрицательном направлении отклонение фактического значения от расчётного было в 1998 г. ($-5,9$ ц/га), в положительном – в 1985 г. ($+8,8$ ц/га). Особенно низкой в сравнении с предшествующими и последующими годами фактическая урожайность была в 1946, 1956, 1963 и

2000 гг. – соответственно 5,0; 6,0; 6,9 и 9,4 ц/га. По значениям изученных в работе факторов (температура и осадки), являющихся независимыми переменными, в эти годы ожидался невысокий урожай – соответственно 6,8; 8,6; 11,4 и 12,2 ц/га. Наибольшей в сравнении с ближайшими предшествующими и последующими годами фактическая урожайность была в 1989, 1990 и 2008 гг. – соответственно 39,6; 37,2 и 39,6 ц/га; в эти годы по уравнению регрессии предсказывалась высокая урожайность в связи с благоприятной температурой и осадками – соответственно 35,9; 37,7 и 39,6 ц/га.

В каждом конкретном году были свои причины, которые привели к формированию экстремально низких или, наоборот, высоких урожаев. Рассмотрим более детально погодные условия низкоурожайных лет. При сравнении фактических погодных условий со среднемноголетними значениями, было установлено, что низкий урожай 1956 г. был обусловлен очень холодной зимой – во все зимние месяцы средняя температура воздуха была ниже среднемноголетней, в феврале – в три раза ниже (Таблица 9).

Таблица 9 – Показатели средней температуры воздуха и месячных сумм осадков в низкоурожайные годы

Месяцы	Температура, °С				Осадки, мм			
	1956 г.	1963 г.	2000 г.	Средне-многолетнее	1956 г.	1963 г.	2000 г.	Средне-многолетнее
Август	20,3	20,6	22	21,1	75	23	15	38
Сентябрь	16,1	16,2	15,5	15,2	0	1	21	35,7
Октябрь	12,6	10	9,5	8,2	44	12	71	33,9
Ноябрь	-0,4	3,8	-2,3	2	25	12	56	37,6
Декабрь	-4,6	-3	1,7	-2,4	27	69	58	37,6
Январь	-5,3	-10,8	-5,2	-5,1	74	47	39	33,3
Февраль	-15,4	-3	-0,1	-4,6	17	9	19	30,1
Март	-3,8	-3,5	2,2	0,8	16	34	52	28,7
Апрель	8,5	8,4	13,8	9,9	21	28	15	33,1
Май	14,2	18,8	13,7	16,4	42	50	39	43
Июнь	22,4	19	19,3	20,4	27	42	48	56,8
Июль	20,2	23,7	23	22,3	39	17	79	54,3

Примечание: жирным шрифтом выделены значения, характеризующиеся неблагоприятными погодными условиями по сравнению со среднемноголетней нормой.

Июнь был теплее среднемноголетнего значения, что отрицательно сказалось на развитии растений. Условия увлажнённости тоже были неудовлетворительными. В месяц посева (сентябрь) сумма осадков составила 0 мм. В апреле, мае и июне количество выпавших осадков было также ниже нормы.

В 1963 г. наблюдалась низкая температура января и марта. Крайне неблагоприятными были условия увлажнения перед посевом – в августе осадков выпало меньше нормы, малое количество осадков выпало в сентябре (1 мм), в октябре и ноябре (по 12 мм), что по последним трём месяцам примерно в три раза меньше, чем среднемноголетнее значение. Недостаточное количество осадков выпало в апреле-июне, только в мае выпало осадков больше среднемноголетнего количества.

В 2000 г. также сложились неблагоприятные условия: низкая температура в январе и недостаточное количество осадков в сентябре, апреле, мае и июне года уборки урожая (Таблица 9).

В общем, анализ связи минимальных урожаев и погодно-климатических факторов позволяет сделать вывод, что чаще всего минимальные урожаи бывают в годы, когда наблюдаются крайне низкие значения температуры января и недостаточное количество осадков, выпавших в месяц посева озимой пшеницы (сентябрь), и во время прохождения фаз выход в трубку – созревание (апрель-июнь). Показательно, что по всем названным погодным факторам ранее были отмечены значимые парные корреляции. Наблюдается соответствие и с наиболее значимыми погодными факторами, выбранными в результате пошагового множественного регрессионного анализа (Приложение Е).

В таблице 10 приведены показатели, характеризующие погодные условия высокоурожайных лет. Как и в случае с минимальными урожаями, каждый высокоурожайный год в определённой степени уникален. Начнем анализ с 1989 г. Сентябрь характеризовался высоким уровнем увлажнения. Значения зимних и ранневесенних температур также были благоприятными: январь, февраль и март значительно теплее, чем в среднем за все годы наблюдений. Но основная причина высокого урожая этого года заключается в том, что в июне выпало 122 мм, что в

2 раза превысило среднемноголетнюю норму. Кроме того, в апреле и мае осадков выпало больше среднемноголетнего значения. Этот комплекс погодных условий и был причиной формирования высокого урожая 1989 г. – 39,6 ц/га.

Таблица 10 – Показатели средней температуры воздуха и количества осадков в высокоурожайные годы

Месяцы	Температура, °С				Осадки, мм			
	1989 г.	1990 г.	2008 г.	Средне-многолетнее	1989 г.	1990 г.	2008 г.	Средне-многолетнее
Август	20,5	21,6	24,8	21,1	19	1	11	38
Сентябрь	15,1	15,4	17	15,2	51	74	63,7	35,7
Октябрь	7,5	8,9	10,5	8,2	12	23	20,9	33,9
Ноябрь	-2,3	2	0,8	2	70	41	38	37,6
Декабрь	-3,5	-0,9	-1,8	-2,4	48	38	19,4	37,6
Январь	-1,5	-2,8	-7	-5,1	12	46	14,8	33,3
Февраль	1	0,7	-1,5	-4,6	37	7	9,4	30,1
Март	5,1	5,6	6,2	0,8	21	29	39,4	28,7
Апрель	10,9	11,3	11,9	9,9	43	12	70	33,1
Май	14,3	14,2	14,5	16,4	54	31	71,9	43
Июнь	21	18	19,6	20,4	122	36	23,7	56,8
Июль	20,5	22	22,7	22,3	93	5	61,1	54,3

Примечание: жирным шрифтом выделены значения, характеризующиеся более благоприятными погодными условиями, чем среднемноголетняя норма.

В 2008 г. также была зафиксирована высокая урожайность – 39,6 ц/га. Сентябрь отличался высоким уровнем увлажнения (количество осадков почти в 2 раза больше среднемноголетнего значения). Декабрь, февраль и март были тёплыми. Количество осадков в марте-мае было выше среднемноголетнего, а именно почти в 2 раза, поэтому даже при небольшом количестве осадков в июне урожайность оказалась высокой.

В 1990 г. температура с декабря по март была выше среднемноголетней. Осадков в сентябре выпало много (в два раза больше среднемноголетнего значения). Неожиданно низким оказалось количество выпавших осадков в апреле и июне (только 60% от нормы), но этого оказалось достаточным для формирования высокого урожая.

Интересно, что во все высокоурожайные годы был очень тёплый март (среднемесячная температура в 5 раз выше по сравнению со среднемноголетней), и такая примета заслуживает звания «народной» [192]. Сдвиг на влажный март вегетационного периода озимой пшеницы создал «эффект убегания» от летней засухи, который положительно сказался на урожайности. Корреляционный анализ максимальных урожаев за 10 лет (1978, 1988, 1989, 1990, 1991, 1992, 1993, 2001, 2005, 2008) и температуры воздуха показал, что наиболее сильная корреляционная связь установлена с температурой марта $r = 0,81$ ($p < 0,01$). Таким образом, температура марта является значимой причиной получения высоких урожаев озимой пшеницы.

Проведённый анализ такого показателя увлажнённости, как гидротермический коэффициент (ГТК) показал, что в низкоурожайные годы ГТК за тёплый период был ниже 1 ($\text{ГТК}_{\text{тёплый период}} = 0,8$), что свидетельствует о недостатке увлажнённости. Значения ГТК были следующими по месяцам: $\text{ГТК}_{\text{апрель}} = 0,8$, $\text{ГТК}_{\text{май}} = 0,9$, $\text{ГТК}_{\text{июнь}} = 0,7$, $\text{ГТК}_{\text{сентябрь}} = 1,4$.

В высокоурожайные годы $\text{ГТК}_{\text{тёплый период}} = 1,1$, $\text{ГТК}_{\text{апрель}} = 1,2$, $\text{ГТК}_{\text{май}} = 1,2$, $\text{ГТК}_{\text{июнь}} = 1,0$, $\text{ГТК}_{\text{сентябрь}} = 1,3$.

В общем, приведённые данные свидетельствуют о том, что высокоурожайные годы отличаются достаточным уровнем увлажнения, а в низкоурожайные годы отмечается недостаток увлажнения.

При высоком совпадении фактической и расчётной урожайности коэффициент множественной линейной корреляции «R», который является мерой изменчивости урожайности под влиянием изученных экологических факторов, равен $R = 0,9304$ ($p = 0,009$) (Приложение Б, Таблица 7), что свидетельствует о тесной связи урожайности с независимыми переменными.

Коэффициент множественной линейной детерминации « R^2 », показывает долю изменчивости урожайности, обусловленную независимыми переменными. В нашем случае эта доля очень большая – $R^2 = 0,8656$. Это значит, что более 86% (86,6%) изменчивости урожайности озимой пшеницы в степи определяется погодными условиями. Атмосферные осадки и температура воздуха – главные

лимитирующие факторы, детерминирующие урожайность озимой пшеницы в северной части Донецкого края [172].

Впервые нами установлена группа экологических факторов, детерминирующих вместе более 86% изменчивости по годам урожайности озимой пшеницы. Математическая модель зависимости урожайности от этих факторов достаточно проста (линейная зависимость) и позволяет получить значимые показатели множественной корреляции.

На временном интервале с 1991 по 2013 г. совпадение фактической урожайности озимой пшеницы с расчётной лучше, чем в 1945–1990 гг. Отклонения эмпирических значений от расчётных в среднем по модулю составляют 2,9 ц/га. Степень согласия вышеуказанных значений урожайности столь велика, что варьирование урожайности пшеницы по годам в 1991–2013 гг. следует связывать, прежде всего, с динамикой погодных условий.

Таким образом, можно сделать следующие выводы.

1. Больше всего на урожайность озимой пшеницы влияют: средняя температура января, марта, мая и июня, а также осадки сентября, апреля, мая и июня года посева и уборки урожая.

2. Высокоурожайные годы отличаются достаточным уровнем увлажнённости, а низкоурожайные – недостаточным. Каждый конкретный низкоурожайный или высокоурожайный год характеризуется своим набором причин (погодных условий), которые и приводят к формированию или высокого, или низкого уровня урожая.

3. Абиотические факторы окружающей природной среды (температура атмосферного воздуха и атмосферные осадки), которые учитываются в модели, детерминируют более 86% ($R^2 = 0,8656$, $p = 0,009$) изменчивости урожайности озимой пшеницы в северной части Донецкого края.

4. Разработана экологически обоснованная модель «погода – урожайность озимой пшеницы», представляющая собой уравнение множественной линейной регрессии, которое описывает связь урожайности с атмосферными осадками и среднемесячной температурой.

3.3 Связь продуктивности кукурузы с климатообразующими факторами

Кукуруза (*Zea mays*) – одна из наиболее продуктивных злаковых культур универсального назначения, которая выращивается для продовольственного, кормового и технического использования. Кукуруза – самая важная кормовая культура, обеспечивает животноводство концентрированными кормами, силосом и зелёной массой. Из зерна кукурузы изготавливают свыше 150 пищевых и технических продуктов: мука, крупа, воздушная кукуруза, хлопья, крахмал, сироп, глюкоза, спирт и др. Кукурузное зерно используют для производства глицерина и органических кислот. Из стеблей кукурузы изготавливают бумагу, целлюлозу, ацетон и др.

Кукуруза – теплолюбивая культура. Минимальная температура прорастания 8–10°C, всходы появляются при 10–12°C. В фазе 2–3 листочков выдерживает заморозки до –2°C, при температуре ниже –3°C всходы погибают. Ранние осенние заморозки повреждают листья и целое растение. Оптимальная температура для роста и развития +20–23°C, до появления генеративных органов повышение температуры до +25–30°C не повреждает растение. В фазе цветения температура выше +25°C негативно влияет на оплодотворение растений. Максимальная температура, при которой рост останавливается, +45–47°C.

Кукуруза относится к засухоустойчивым культурам, наибольшее количество влаги растение потребляет за 10 дней до выбрасывания метелок, когда идет интенсивный рост стеблей; много воды культура использует во время налива зерна, эффективно использует осадки во второй половине лета. Кукуруза плохо переносит переувлажнение почвы – резко уменьшается урожайность [42, 78, 124].

Кукуруза подразделяется на 9 ботанических групп, различающихся по строению и морфологии зерна: кремнистая, зубовидная, полузубовидная, лопающаяся, сахарная, крахмалистая или мучнистая, крахмалисто-сахарная, восковидная и плёнчатая [207, 208, 211].

В Америке кукуруза на зерно является не только главной фуражной, но и важной продовольственной культурой. Кукурузу на зерно возделывают преимущественно на фураж. При этом в настоящее время используются чаще

всего зубовидные и зубовидно-кремнистые гибриды. Для стабилизации и последующего ожидаемого роста поголовья скота в Донбассе необходимо будет увеличивать площади, занятые этой культурой.

До 1970 г. в Донбассе преимущественно возделывались такие сорта кукурузы, как Буковинский ЗТВ и ВИР 42, в 80–90-х годах прошлого столетия их сменили другие сорта/гибриды (Айдар МВ, ВИР 42 МВ, Днепропетровский 310 МВ, Геркулес ВЛ, Коллективный 150 ТВ, Краснодарский 440 МВ). В 90-е годы количество сортов, предлагаемых сельскохозяйственным производителям (в том числе за счёт импортных сортов и гибридов), значительно увеличилось: Алтон, Аталис, Днепровский 387 ВЛ, Днепровский 476 МВ, Ирина, Кишкун 190, Корсар МВ, Краснодарский 321 СВ, Кросс 292 МВ, МВ 5075, Одма 338 МВ, Одесский 297 МВ, Одесский 346 МВ, Призма, Росс 209 СВ. С 2000 г. Луганский областной центр экспертизы сортов растений рекомендовал производителям области следующие сорта и гибриды: Днепровский 196 СВ, Днепровский 453 СВ, Кремень 200 СВ, Луганский 222 МВ, Луганский 287 МВ.

В период с 1945 по 2013 г. урожайность кукурузы значительно варьировала, при этом росла от 1,5 ц/га в 1954 г. до 41,3 ц/га в 1989 г.; размах вариации составляет 39,8 ц/га (Таблица 11) (Приложение А, Таблица 1).

Таблица 11 – Основные показатели урожайности кукурузы (1945–2013 гг.)

Средняя урожайность, ц/га	Размах изменчивости	Стандартное отклонение	Коэффициенты		
			вариации, %	эксцесса	асимметрии
20,5	1,5–41,3	8,49	41,5	–0,32	0,03

Средняя урожайность кукурузы за этот период составляет 20,5 ц/га и сильно изменяется по годам, значение относительного показателя изменчивости – коэффициента вариации превышает 41%. Коэффициенты эксцесса и асимметрии малы и незначимы. Отсутствие значимого эксцесса и асимметрии распределения частот встречаемости признака «урожайность кукурузы» позволяет полагать, что фактическое распределение согласуется с нормальным распределением (Рисунок 7).

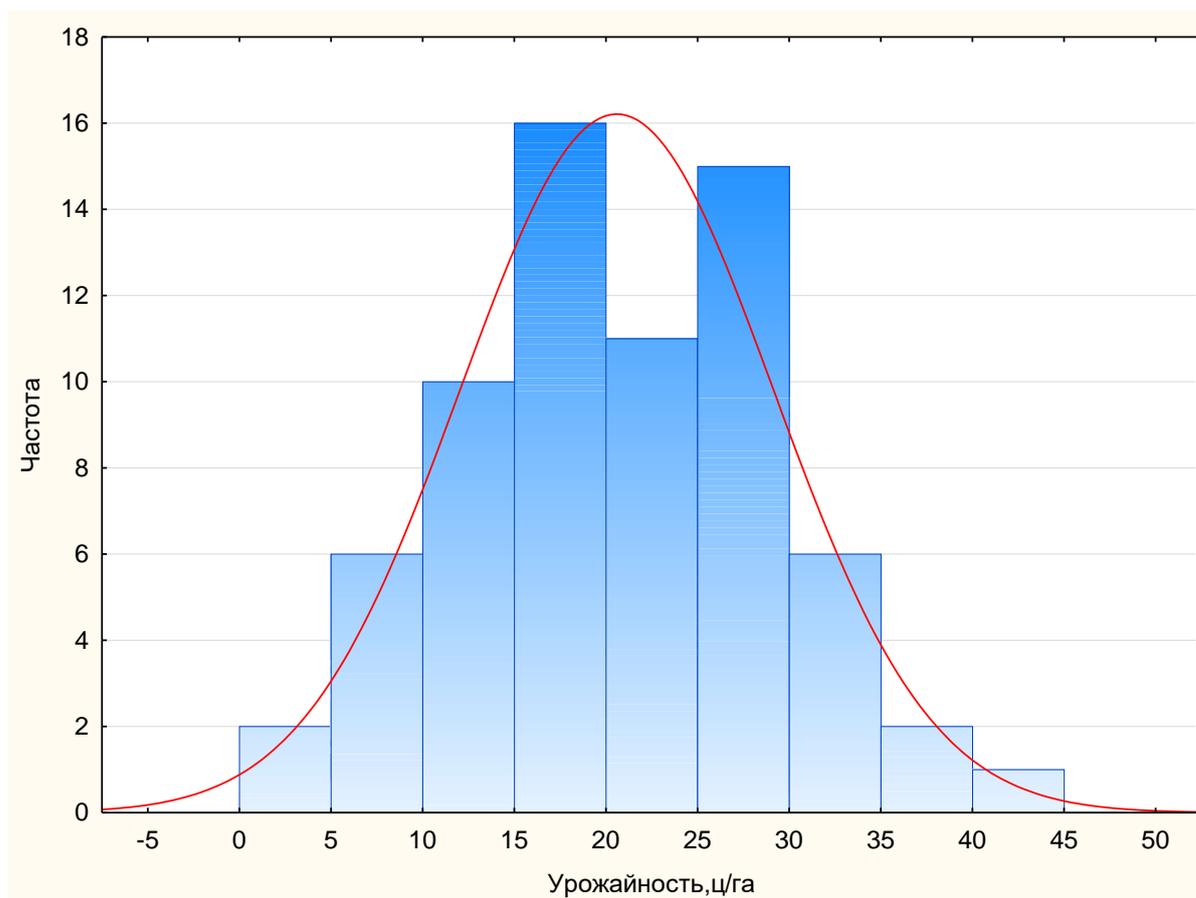


Рисунок 7 – Фактическое (гистограмма) и расчётное (кривая линия) распределение признака «урожайность кукурузы» (1945–2013 гг.)

Для окончательного заключения о закономерностях наблюдаемого распределения желательно его объективное сравнение с расчётным распределением по критерию « χ^2 ».

За начало эмпирического равноинтервального вариационного ряда принимаем «ноль» (значение урожайности не может быть меньше нуля), а за величину классового интервала 5 ц/га. В этом случае число классов оказывается равным девяти. Когда объём выборки, как в нашем случае, равен 69 (69 значений урожайности за годы наблюдений), рекомендуется построение вариационного ряда с 8 классами [77]. Однако рекомендации о числе классов не являются строгими. При составлении вариационного ряда с $k = 8$ классовый интервал окажется более 5 ц/га. Это нежелательно, поскольку при составлении вариационных рядов для озимой пшеницы классовый интервал брали равным 5 ц/га. По изложенным соображениям и для кукурузы на зерно классовый интервал брали равным 5 ц/га, k в этом случае равно 9 (что близко к рекомендуемому числу классов).

Нормальное распределение полностью описывается двумя приведёнными в таблице 11 параметрами: средним арифметическим значением $\bar{x} = 20,4565$ и стандартным отклонением $s = 8,489$. Ход вычисления фактического значения « χ^2 » иллюстрируют данные таблицы 12.

Таблица 12 – Проверка наблюдаемого распределения признака «урожайность кукурузы» на нормальность по критерию « χ^2 »

Границы классов	0–	10–	15–	20–	25–	30–	35–
Эмпирические частоты, f	8	10	16	11	15	6	3
Расчётные частоты, f'	3	5	10	16	18	4	2
Разность, d	5	5	6	–5	–3	2	1
d^2	25	25	36	25	9	4	1
d^2/f'	8,33	5,0	3,6	1,56	0,5	1	0,5

При шести степенях свободы табличное значение $\chi^2_{st} = \{12,6 - 16,8 - 22,5\}$. Три табличных значения соответствуют трём уровням значимости ($p = 0,05; 0,01; 0,001$). Поскольку фактическое значение « χ^2 » меньше стандартных по третьему уровню, различие фактических и расчетных распределений урожайности кукурузы можно признать случайным, сохраняется нулевая гипотеза.

Из очень большого количества абиотических экологических факторов в приводимой ниже нашей математической модели учтено 48 независимых переменных (Таблицы 13, 14).

Изучали зависимость урожайности кукурузы на зерно (зависимая переменная «у») от 48 независимых переменных. За независимые переменные принимали среднемесячные температуры года вегетации культуры и уборки урожая и температуры предшествующего года за январь – декабрь месяцы. Остальные независимые переменные – количество осадков за все 24 месяца двух лет (года уборки урожая и предшествующего года). Значения урожайности кукурузы, среднемесячной температуры воздуха и количества осадков приведены в Приложении А (Таблицы 1, 2, 3).

Таблица 13 – Результаты парной корреляции и множественной регрессии урожайности кукурузы и температуры воздуха

Месяцы	Переменные (X_{1-12})	Коэффициенты		Переменные (X_{13-24})	Коэффициенты	
		корреляции	регрессии		корреляции	регрессии
<i>Год, предшествующий посеву</i>				<i>Год посева и уборки урожая</i>		
I	1	0,03	-0,02228	13	0,10	0,24765
II	2	0,05	-0,24201	14	0,09	0,00038
III	3	0,20	0,99060	15	0,20	0,25726
IV	4	0,11	-0,15309	16	0,11	0,00556
V	5	0,15	0,80624	17	-0,12	0,61020
VI	6	-0,03	0,28356	18	-0,31*	-0,13424
VII	7	0,04	1,04683	19	-0,31*	0,10112
VIII	8	0,10	-0,90636	20	-0,28*	-1,45740
IX	9	0,17	0,59477	21	-0,13	-0,21946
X	10	0,10	1,22829	22	0,25*	0,67982
XI	11	0,22	-0,11169	23	0,15	0,13315
XII	12	0,14	0,08172	24	0,22	1,24488

Примечание: * – значимы при $0,95 < P < 0,99$; ** – значимы при $0,99 < P < 0,999$.

Коэффициенты корреляции урожайности кукурузы с 48 независимыми переменными приведены с указанием уровней значимости. Отмечена незначимая положительная корреляция урожайности культуры со среднемесячной температурой ноября первого года в модели (Таблица 13). Корреляции урожайности кукурузы и температуры воздуха за летние месяцы значимые и отрицательные: чем выше среднемесячная температура воздуха в фазе появления 5-го листа до цветения, тем ниже урожайность кукурузы и наоборот: чем прохладнее июнь и июль – тем урожайность выше.

Общеизвестно, что кукуруза является теплолюбивой культурой. Однако полученные нами результаты позволяют утверждать, что температура атмосферного воздуха в изучаемом регионе в летние месяцы для этой культуры обычно излишне высокая. Отмечена положительная связь урожайности с температурой октября ($r = 0,25^*$). Также установлено, что в засушливых условиях северной части Донецкого края выпадение осадков положительно влияет на

урожайность кукурузы. Обнаружена значимая положительная связь с осадками января года, предшествующего посеву ($r = 0,28^*$). Максимально значимая коррелятивная связь установлена по июню ($r = 0,50^{***}$) и июлю ($r = 0,27^{**}$) (Таблица 14).

Таблица 14 – Результаты парной корреляции и множественной регрессии урожайности кукурузы и атмосферных осадков

Месяцы	Переменные ($X_{25}-X_{36}$)	Коэффициенты		Переменные ($X_{37}-X_{48}$)	Коэффициенты	
		корреляции	регрессии		корреляции	регрессии
<i>Год, предшествующий посеву</i>				<i>Год посева и уборки урожая</i>		
I	25	0,28*	0,03101	37	0,19	0,04894
II	26	0,19	-0,07098	38	0,19	-0,07431
III	27	-0,01	-0,14525	39	0,01	-0,02722
IV	28	0,12	0,03488	40	0,22	-0,06252
V	29	-0,05	-0,09213	41	0,04	0,05017
VI	30	0,20	0,06090	42	0,50***	0,11583
VII	31	0,12	0,02191	43	0,27*	0,04019
VIII	32	-0,09	0,01540	44	-0,07	-0,02335
IX	33	0,13	0,08387	45	0,03	-0,03615
X	34	-0,04	-0,07275	46	-0,18	-0,12609
XI	35	0,16	0,02291	47	0,02	0,11278
XII	36	0,12	0,03956	48	0,24	0,02985

Примечание: * – значимы при $0,95 < P < 0,99$; ** – значимы при $0,99 < P < 0,999$.

Решающее значение для получения высоких урожаев кукурузы имеют июнь и июль (фазы появления 5-го листа – цветения метёлки). Невысокая температура июня и июля и выпадение большого количества осадков сопровождаются повышением урожайности кукурузы. Для июня коэффициент парной корреляции $r = 0,49$, для июля $r = 0,26$. Осадки как источник влаги прямо используются растениями кукурузы, они, понижая летнюю температуру, косвенно способствуют повышению урожайности.

Для получения высоких урожаев кукурузы в северной части Донецкого края определяющее значение имеют июнь и июль года уборки урожая: чем

больше выпадает осадков в эти летние месяцы и чем они прохладнее, тем выше урожайность и наоборот: чем меньше осадков в июне-июле и чем эти месяцы жарче, тем урожайность кукурузы ниже. Именно гидротермические условия этих месяцев являются лимитирующими для роста и развития растений, ограничивающими получение высоких и стабильных урожаев этой важной сельскохозяйственной культуры. В меньшей степени сказанное касается также августа месяца года уборки урожая.

Уравнение множественной регрессии для кукурузы имеет вид:

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_{48}x_{48}, \quad (14)$$

где y – урожайность кукурузы (зависимая переменная);

a_0 – свободный член в уравнении регрессии;

a_1, \dots, a_{48} – параметры (коэффициенты) уравнения регрессии, начиная с a_1 (для температуры января первого года в модели) и до a_{48} (для суммы осадков за декабрь второго года);

x_1 – x_{24} – температура за соответствующие месяцы;

x_{25} – x_{48} – осадки за соответствующие месяцы.

Подставив свободный член a_0 и коэффициенты множественной регрессии a_1 – a_{48} из таблиц 13 и 14 в общее уравнение (14), получаем уравнение регрессии, пригодное для вычисления расчётных значений урожайности для всех лет наблюдений в области интерполяции, а также при определённых условиях для вычисления значений в области экстраполяции. Для 2013 г. уравнение принимает следующий вид (значения x_1 – x_{48} приведены в приложении А):

$$y = -5,11455 + (-0,02228) \times (-4,8^\circ\text{C}) + \dots + (0,02985) \times 15 \text{ мм} = 17,7 \text{ ц/га.}$$

Рассчитанная по уравнению регрессии продуктивность кукурузы в 2013 г. составила 17,7 ц/га, эмпирическая урожайность была на уровне 15,6 ц/га. Отклонение расчётной урожайности от фактической урожайности по модулю составляет 2,1 ц/га. Высокую степень совпадения фактических и расчётных значений урожайности кукурузы иллюстрируют данные, представленные на рисунке 8, с помощью которых также вычисляются отклонения или разности наблюдаемых значений урожайности от расчётных.

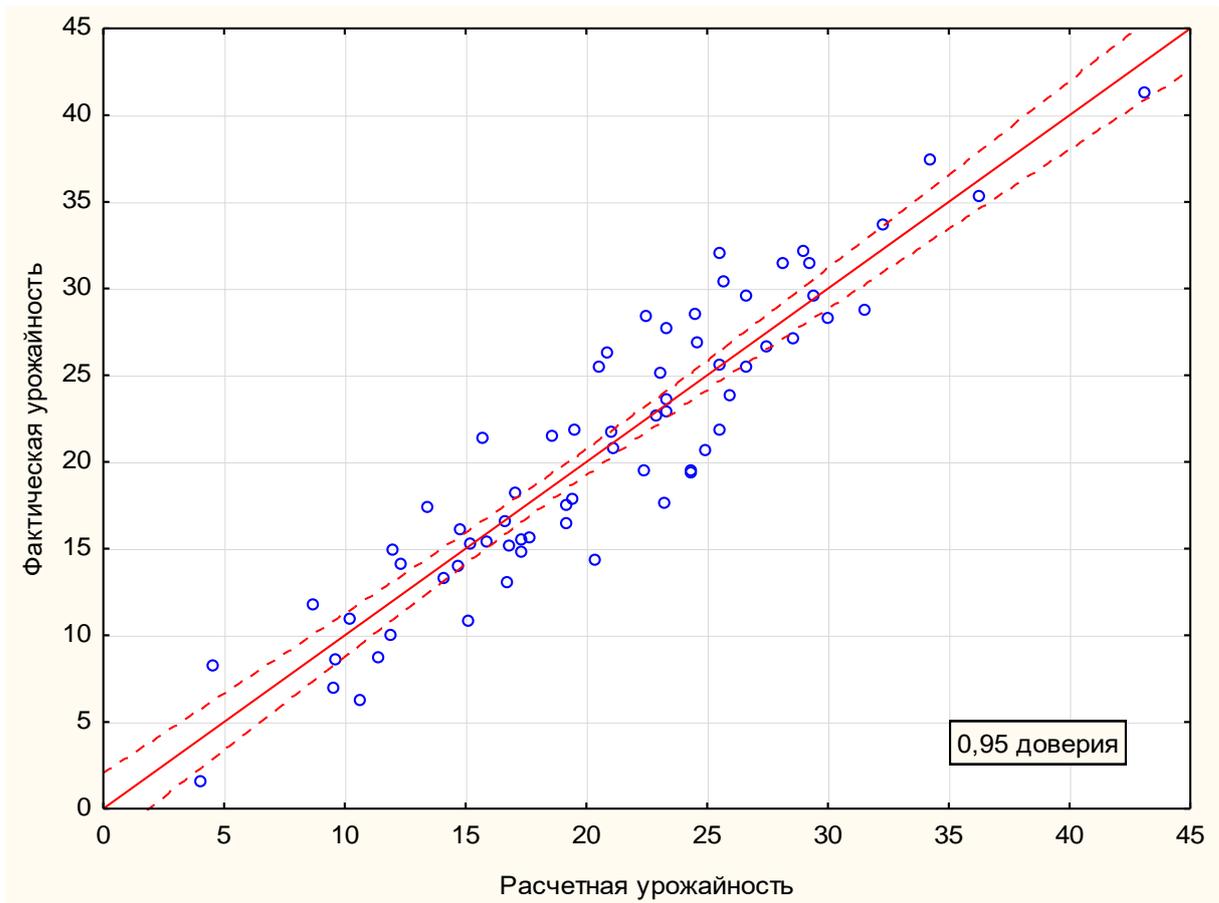


Рисунок 8 – График совпадения расчётной и фактической урожайности кукурузы (1945–2013 гг.)

Анализ отклонений позволяет утверждать, что они в среднем по абсолютному значению составляют $\approx 2,1$ ц/га. Почти половина отклонений (43%) укладывается в ± 2 ц/га, большинство (76,8%) – в ± 4 ц/га. Ряды динамики эмпирических и расчётных значений урожайности, представленные на рисунке 9, очень похожие.

Хорошее совпадение наблюдается и для особенно неурожайных, и для рекордно урожайных лет. Отклонение фактического значения от расчётного было в 1986 г. в отрицательном направлении ($-5,69$ ц/га), в положительном – в 1973 г. ($+6,44$ ц/га).

Низкой в сравнении с ближайшими предшествующими и последующими годами фактическая урожайность была в 1946, 1954, 1972, 2001 гг. – соответственно 1,6; 1,5; 14,0 и 13,2 ц/га. По значениям исследованных в диссертационной работе абиотических факторов (независимых переменных) в эти годы ожидался неурожай – соответственно 1,0; 4,1; 14,7 и 14,2 ц/га (Рисунок 9).

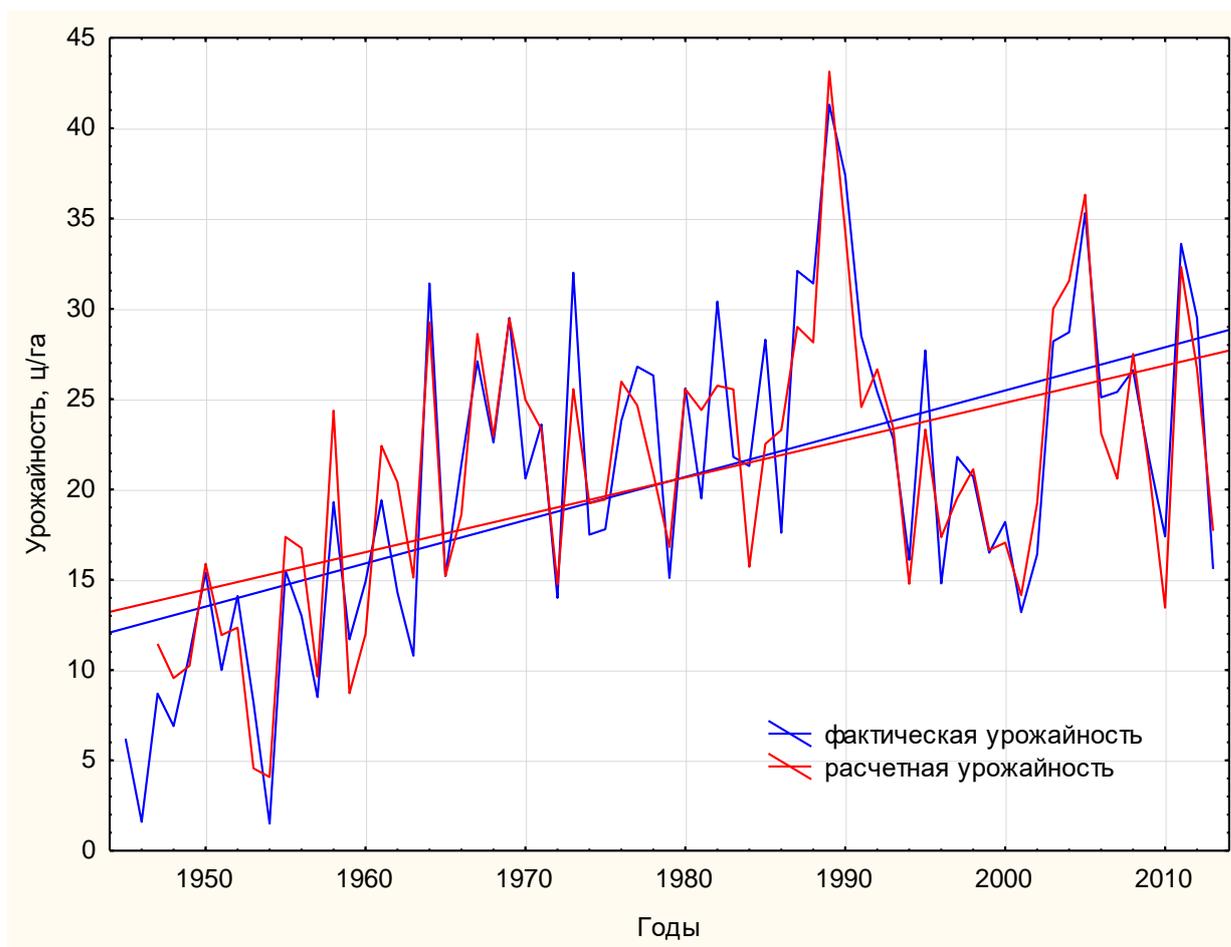


Рисунок 9 – Временные ряды фактической и расчётной урожайности кукурузы (1945–2013 гг.)

Наибольшей в сравнении с ближайшими предшествующими и последующими годами эмпирическая урожайность кукурузы была в 1964, 1973, 1989, 1990, 2005, 2011 гг. – соответственно 31,4; 32,0; 41,3; 37,4; 35,3 и 33,6 ц/га. В эти годы ожидалась необычайно высокая расчётная урожайность по значениям среднемесячных температур и месячных сумм осадков – соответственно 29,2; 25,5; 43,1; 34,3; 36,3 и 32,3 ц/га.

Коэффициент множественной линейной корреляции, который является мерой зависимости полученной урожайности кукурузы от изученных экологических факторов (независимых переменных), составляет $R = 0,932$, корреляция значимая $p = 0,007$.

Коэффициент множественной линейной детерминации « R^2 » тоже очень высокий ($R^2 = 0,869$). Более 86% (86,9%) изменчивости урожайности кукурузы в северной части Донецкого края детерминируются погодными условиями.

В заключение можно сделать следующие выводы.

Температура воздуха и осадки являются главными лимитирующими факторами, определяющими урожайность кукурузы.

1. Чем выше температура атмосферного воздуха летом, тем ниже урожайность кукурузы и наоборот: чем прохладнее летние месяцы, тем урожайность выше. В северной части Донецкого края лето для кукурузы обычно излишне жаркое.

2. Выпадение осадков положительно сказывается на повышении урожайности кукурузы на зерно. Максимально значимая корреляция установлена с июнем ($r = 0,50^{***}$) и достоверная с июлем ($r = 0,27^*$) в год уборки урожая.

3. Для получения высоких и стабильных урожаев кукурузы в северной части Донецкого края решающее значение имеют июнь и июль месяцы (в фазе появления 5-го листа – до фазы цветения метёлки), в меньшей степени это касается августа месяца.

4. Разработана экологически обоснованная модель «Погода – урожайность кукурузы», представляющая собой уравнение множественной линейной регрессии, описывающее связь урожайности культуры с 48 независимыми переменными.

5. Коэффициент множественной корреляции между признаками составляет $R = 0,932$, коэффициент множественной детерминации – $R^2 = 0,869$. Более 86% изменчивости урожайности кукурузы по годам определяется температурой и осадками.

3.4 Влияние составляющих климатопы на продуктивность ярового ячменя

Яровой ячмень (*Hordeum vulgare*) является ценной продовольственной, кормовой и технической культурой. Минимальная температура прорастания семян ячменя составляет 1–2°C, оптимальная – 15–20°C, всходы выдерживают заморозки до минус 3–4°C. Оптимальная температура для роста и развития в период вегетации +18°C.

Ячмень характеризуется устойчивостью к высоким температурам, легко переносит её повышение до +38–40°C, однако в начале вегетации растение плохо переносит весенние засухи. Во время выхода в трубку, колошения, цветения и начала формирования зерна ячмень требователен к влаге, но избыток осадков при высоких температурах вызывает чрезмерное кущение, что приводит к полеганию и уменьшению урожая [71, 83].

Яровой ячмень относится к ранним зерновым колосовым культурам, занимающим поле с апреля по июль (иногда и по август) включительно. Больше всего ячмень используется на зернофуражные цели; его зерно содержит много белка (9–12%) и углеводов (70–75%). При использовании ячменя на корм важно не только повышенное содержание белка, но и сбалансированный состав аминокислот, из которых особую роль для животных играют лизин, метионин и триптофан [58].

В областном статистическом управлении Луганской области были взяты данные об урожайности ярового ячменя во всех категориях хозяйств с 1975 по 2013 г. Количество возделываемых сортов ярового ячменя было небольшим. Так, в 80-е гг. XX в. были распространены сорта Донецкий 4 и Донецкий 65, в 90-х гг. – Донецкий 8, Донецкий 9, Зерноградский 73, Зерноградский 385, Одесский 100, Одесский 151, Престиж, Прерия. Производителям сельскохозяйственной продукции Луганской области после 2000 г. рекомендовались сорта Адапт, Вакула, Галактик и Гелиос.

В период с 1975 по 2013 г. урожайность ярового ячменя в северной части Донецкого края варьировала от 7,7 ц/га в 1998 г. до 29,1 ц/га в 1992 г., размах вариации составляет 21,4 ц/га (Приложение А). Средняя урожайность ярового ячменя составляет 17,9 ц/га и сильно изменяется по годам, коэффициент вариации составляет $cv = 33,0\%$ (Таблица 15).

Таблица 15 – Основные показатели урожайности ячменя ярового (1975–2013 гг.)

Средняя урожайность, ц/га	Размах изменчивости	Стандартное отклонение	Коэффициенты		
			вариации, %	экссесса	асимметрии
17,9	7,7–29,1	5,9	33,0	–0,97	0,14

Изучаемый признак – «урожайность ярового ячменя» не обнаруживает достоверной асимметрии и эксцесса. За начало эмпирического ряда принимали ноль, а за величину классового интервала 5 ц/га. В этом случае количество классов или групп оказывается равным пяти. Вычисляли также расчётные (теоретические) оценки значений частот для всех пяти классов распределения. Гистограмма эмпирического распределения и кривая нормального распределения для $\bar{x} = 17,86$ и $s = 5,9$ представлены на рисунке 10.

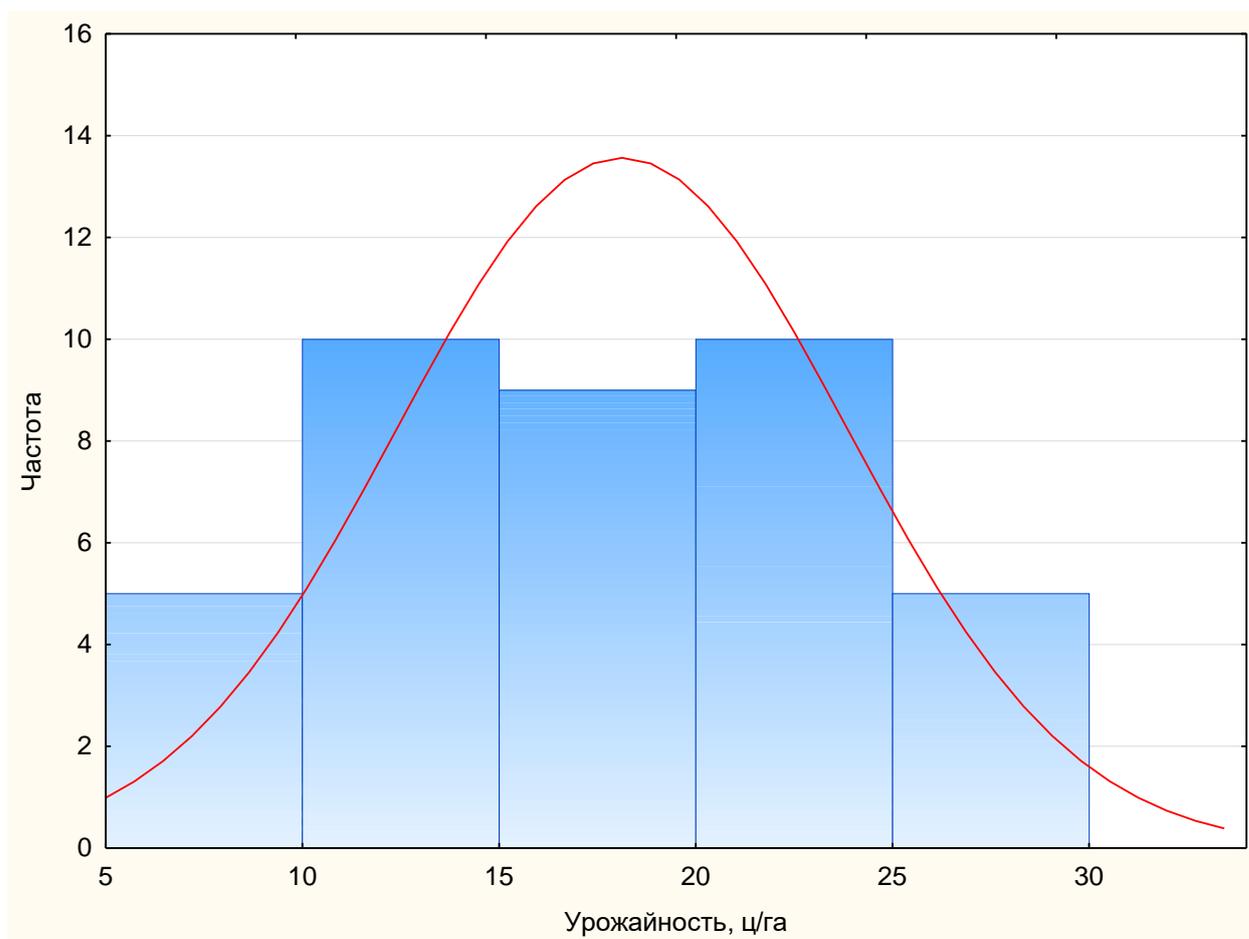


Рисунок 10 – Фактическое (гистограмма) и расчётное (кривая) распределение признака «урожайность ярового ячменя» (1975–2013 гг.)

Окончательно проверить совпадение изучаемого распределения признака «урожайность ярового ячменя» с нормальным распределением можно, сравнивая его наблюдаемое распределение с расчётным по критерию « χ^2 ».

Ход вычисления фактического значения « χ^2 » иллюстрируют данные, приведённые в таблице 16. При использовании « χ^2 » необходимо, чтобы значения расчётных, полученных по нормальному закону частот « f' », не были меньше 5.

Чтобы выполнялось это условие, крайние классы объединяли в два укрупнённых класса (слева и справа). При этом вариационные ряды становились неравноинтервальными, но зато пригодными для их сравнения по критерию « χ^2 ».

Таблица 16 – Проверка наблюдаемого распределения признака «урожайность ярового ячменя» на нормальность по критерию « χ^2 »

Границы классов	0–	10–	15–	20–
Эмпирические частоты, f	5	10	8	13
Теоретические частоты, f'	3	6	14	14
Разность, d	2	4	6,0	–1
d^2	4	16,0	36,0	1
d^2/f'	1,33	2,66	2,57	0,007

Поскольку $\chi^2 = \sum d^2/f'$, в данном случае $\chi^2 = 6,57$.

При двух степенях свободы (число классов минус единица, т.е. $\nu = 3 - 1 = 2$), $\chi^2_{st} = \{7,82 - 11,34 - 16,27\}$.

Три табличных значения соответствуют трём порогам значимости ($p = 0,05$; $0,01$; $0,001$). Фактическое значение « χ^2 » не превышает стандартные значения χ^2_{st} , поэтому различие фактического и расчётного распределений можно считать случайным (принимается нулевая гипотеза). Распределение наблюдаемых значений урожайности ячменя можно аппроксимировать нормальным распределением.

Достаточно полные данные по урожайности ячменя ярового имеются лишь с 1975 по 2013 гг., то есть за последние 39 лет. Разумеется, в данном случае модели с 48 независимыми переменными, подобные тем, которые мы использовали при изучении урожайности озимой пшеницы (там $n = 69$), оказались непригодными, поэтому мы остановились на модели с 19 независимыми переменными: температура за март – июль года выращивания ячменя и ежемесячное количество осадков с июня предшествующего года и до июля года уборки урожая (Таблица 17).

Таблица 17 – Результаты парной корреляции и множественной регрессии урожайности ярового ячменя с температурой и осадками

Факторы	Годы	Месяцы	Независимые переменные (x_1-x_{19})	Коэффициенты	
				корреляции	регрессии
Среднемесячная температура воздуха, °С	Год посева и уборки урожая	III	1	-0,11	-0,55861
		IV	2	-0,11	0,22272
		V	3	-0,43**	-0,93340
		VI	4	-0,49**	-0,69436
		VII	5	-0,39*	-0,77034
Количество осадков, мм	Год перед посевом	VI	6	0,07	0,02941
		VII	7	0,12	0,00077
		VIII	8	-0,09	-0,05958
		IX	9	0,02	0,02396
		X	10	-0,40*	-0,06456
		XI	11	-0,10	-0,05717
	Год посева и уборки урожая	XII	12	-0,32*	-0,00389
		I	13	0,08	-0,00095
		II	14	-0,15	-0,01945
		III	15	-0,23	-0,04121
		IV	16	0,09	-0,01940
		V	17	0,26	0,07344
		VI	18	0,33*	0,02083
VII	19	0,25	0,00352		

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

Установлена отрицательная корреляция со среднемесячной температурой мая ($r = -0,43^{**}$), июня ($r = -0,49^{**}$) и июля ($r = -0,39^*$) года посева и уборки урожая, а также с октябрьским ($r = -0,40^*$) и декабрьским количеством осадков ($r = -0,32^*$) предшествующего года.

Положительная коррелятивная связь отмечена между признаками урожайность – количество осадков за июнь в год выращивания этой культуры ($r = 0,33^*$).

Наиболее тесная связь установлена между урожайностью и средней температурой июня ($r = -0,49^{**}$).

Установлена следующая зависимость: повышенное количество осадков и невысокая температура в июне приводят к повышению урожайности и наоборот

(Таблица 17). Интересно, что коэффициенты парной корреляции урожайности ярового ячменя с температурой воздуха за май, июнь и июль месяцы выше, чем соответствующие коэффициенты корреляции с осадками (Таблица 16).

По-видимому, из-за физиологических особенностей культуры температура атмосферного воздуха этих месяцев сама по себе влияет на урожайность в большей степени, чем атмосферные осадки.

Анализ множественной корреляции и регрессии позволяет оценить в целом зависимость урожайности ярового ячменя от 19 организованных в исследовании независимых переменных.

Уравнение множественной линейной регрессии имеет следующий вид:

$$y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + \dots + a_{19}X_{19}, \quad (15)$$

где y – урожайность ярового ячменя (зависимая переменная);

a_0 – свободный член в уравнении регрессии;

a_1 – a_{19} – параметры (коэффициенты) уравнения регрессии;

X_1 – X_5 – температура за соответствующие месяцы;

X_6 – X_{19} – осадки за соответствующие месяцы.

Подставив свободный член, коэффициенты регрессии и независимые переменные, рассчитываем теоретические значения урожайности ярового ячменя для всех лет наблюдений, при этом для 2013 г. уравнение регрессии имеет следующий вид:

$$y = 64,66473 + (-0,55861) \times 1,9^\circ\text{C} + (-0,22272) \times (11,7^\circ\text{C}) + \dots + (-0,00352) \times 31 \text{ мм} = 11,8.$$

Расчётная урожайность в 2013 г. составила 11,8 ц/га, фактическая урожайность была на 3,7 ц/га больше расчётной – 15,6 ц/га. Высокую степень согласия фактических и расчётных значений урожайности ярового ячменя иллюстрируют данные, приведённые на рисунке 11.

Анализ разностей (отклонений) эмпирических значений урожайности от предсказанных позволяет утверждать, что 24,3% по абсолютному значению укладываются в 1 ц/га; отклонения до 2 ц/га составляют 50%, совпадение эмпирических и расчётных значений урожайности ярового ячменя в целом хорошее (Рисунок 11).

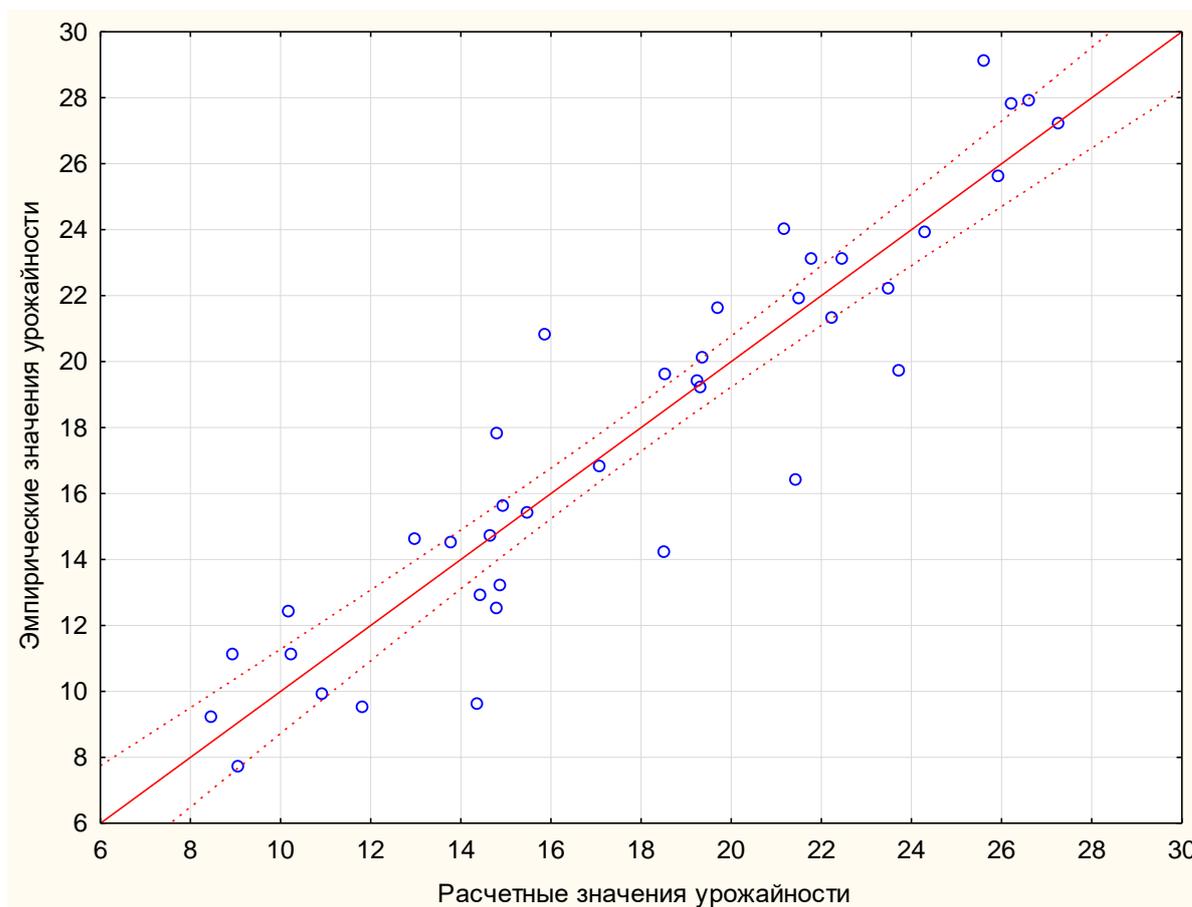


Рисунок 11 – График, иллюстрирующий степень совпадения эмпирической и расчётной урожайности ярового ячменя (1975–2013 гг.)

Ряды динамики расчетной и эмпирической урожайности, представленные на рисунке 12, очень сходны во многих деталях. Наибольшее отрицательное отклонение было в 2000 г., оно составляет $-6,25$ ц/га. Максимальное положительное отклонение, а именно $9,6$ ц/га, наблюдалось в 1985 г.

Очень низкая урожайность ярового ячменя ожидалась по уравнению множественной регрессии в 1975, 1979, 1998, 2007 гг. – соответственно $8,7$; $12,4$; $9,6$ и $11,2$ ц/га. В эти же годы и фактическая урожайность была очень низкой – соответственно $11,1$; $9,2$; $7,7$ и $9,9$ ц/га.

По значениям изученных в работе климатических факторов (температура и осадки) в 1985, 1989, 1990 и 1992 гг. ожидалась высокая урожайность ячменя – соответственно $18,3$; $23,3$; $24,2$ и $26,3$ ц/га. В эти годы и фактическая урожайность была рекордно высокой – соответственно $27,9$; $27,2$; $27,8$ и $29,1$ ц/га. Визуальное совпадение предсказанной и эмпирической урожайности ярового ячменя очень высокое (Рисунки 11, 12).

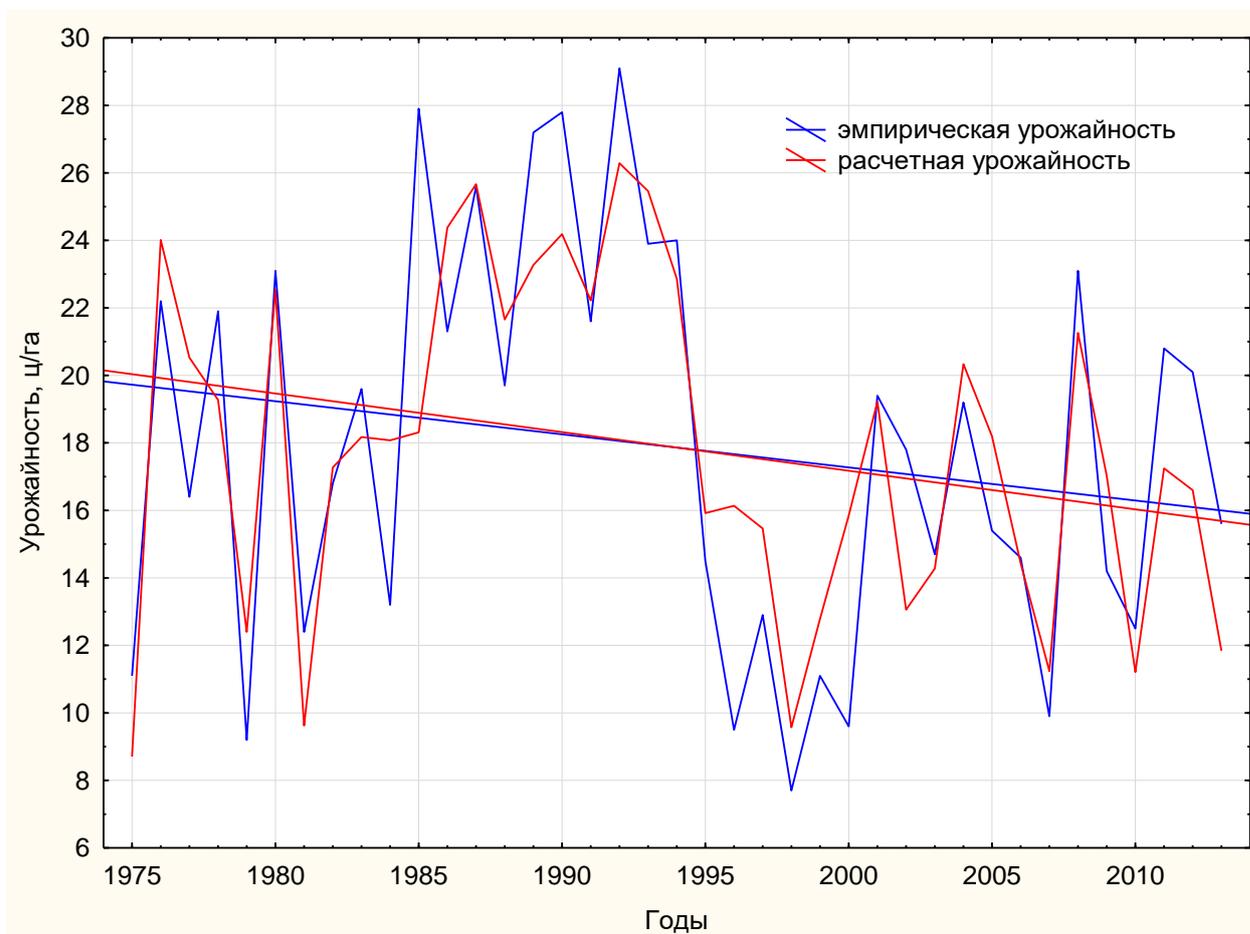


Рисунок 12 – Временные ряды фактической и расчетной урожайности ячменя ярового (1975–2013 гг.)

При таком совпадении коэффициент множественной линейной корреляции равен $R = 0,832$; корреляция значимая $p = 0,042$. Коэффициент множественной детерминации показывает долю изменчивости урожайности ячменя ярового, обусловленную исследованными независимыми переменными. В данном случае эта доля весьма велика, $R^2 = 0,692$. Более 69% изменчивости (69,2%) урожайности определяется погодными условиями, точнее организованными в исследовании значениями среднемесячных температур и месячных сумм осадков.

Результаты проведённого анализа изменчивости урожайности ячменя ярового позволяют утверждать следующее.

1. Найдена группа экологических факторов, детерминирующих вместе более 69% изменчивости по годам урожайности ярового ячменя. Линейная модель зависимости урожайности от этих факторов достаточно проста и позволяет получить значимые показатели связи.

2. Высокая температура воздуха в мае, июне и июле лимитирует получение высоких урожаев ярового ячменя в северной части Донецкого края.

3. Растения ячменя в засушливых условиях северной части Донецкого края испытывают недостаток осадков в мае, июне и июле года уборки урожая. Сильнее всего на урожайность этой культуры влияют погодные условия июня месяца (в фазе колошения).

4. Разработана экологически обоснованная модель «погода – урожайность ячменя», представляющая собой уравнение множественной линейной регрессии, описывающее связь урожайности с 19 независимыми переменными. Фактически наблюдавшиеся и расчётные по уравнению множественной регрессии значения продуктивности ярового ячменя хорошо согласуются.

3.5 Изменчивость урожайности гороха под влиянием осадков и температуры

Горох (*Pisum sativum*) является основной зернобобовой культурой на Донбассе и отличается высокой средней урожайностью и ценными продовольственными и кормовыми качествами. Из всех выращиваемых сельскохозяйственных культур наибольшее количество белка в зерне формируют бобовые культуры. Его содержание в 2–2,5 раза больше, чем в зерне злаков, а по составу незаменимых аминокислот он более полноценный [88, 209].

Возделывают преимущественно горох посевной (крупа, мука, зелёный горошек и лопатки), а также используют на кормовые цели (зерно и зелёная масса). Горох является одним из лучших предшественников для озимых и яровых зерновых культур. Отличительной особенностью этой культуры является её способность фиксировать атмосферный азот.

Данные об урожайности гороха с 1975 по 2013 г. включительно были предоставлены областным статистическим управлением Луганской области.

Долгое время в степных условиях выращивали горох сорта Рамонский 77, только в 80-х гг. прошлого столетия начали внедрять в производство сорта Неосыпающийся 1, Тенакс и Труженик. В 90-е гг. сельскохозяйственному производству рекомендовали сорта (гибриды) Грапис, Напарник, Неосыпающийся 1,

Сармат и Топаз 2. После 2000 г. наиболее широко распространёнными были следующие сорта гороха: Восток, Беркут, Комбайновый 1, Луганский, Надежный, Напарник, Неосыпающийся 1, Степовик, Труженник.

Особую роль в производстве сельскохозяйственной продукции в условиях степи сыграл выведенный в Луганском институте агропромышленного производства УААН сорт Неосыпающийся 1, который на протяжении многих лет находился в Реестре сортов растений Украины.

В период с 1975 по 2013 г. урожайность гороха изменялась от 4,1 ц/га в 1979 г. до 26,0 ц/га в 1992 г., размах вариации составляет 21,9 ц/га. Основные статистические данные по урожайности гороха на Луганщине представлены в таблице 18.

Таблица 18 – Основные показатели урожайности гороха (1975–2013 гг.)

Средняя урожайность, ц/га	Размах изменчивости	Стандартное отклонение	Коэффициенты		
			вариации, %	эксцесса	асимметрии
14,8	4,1–26,0	6,4	43,5	–1,14	0,11

Средняя урожайность гороха составляет 14,8 ц/га и сильно изменяется по годам. Коэффициент вариации, являющийся показателем относительной изменчивости, превышает 43,5%, изменчивость урожайности гороха – сильная. Коэффициенты асимметрии и эксцесса незначимы.

Для окончательной проверки соответствия фактического распределения урожайности гороха нормальному распределению используем критерий « χ^2 ». При такой сильной изменчивости вариационный ряд оказывается растянутым.

Функцию плотности нормального закона распределения вероятностей вычисляли по значениям $\bar{x} = 14,8$ и $s = 6,4$ (Таблица 18). За начало эмпирического равноинтервального ряда принимали ноль, а за величину классового интервала 5 ц/га. В этом случае количество классов или групп оказывается равным шести. Вычисляли также теоретические оценки значений частот для всех шести классов распределения. Гистограмма эмпирического распределения и кривая нормального

распределения признака «урожайность гороха» представлены на рисунке 13.

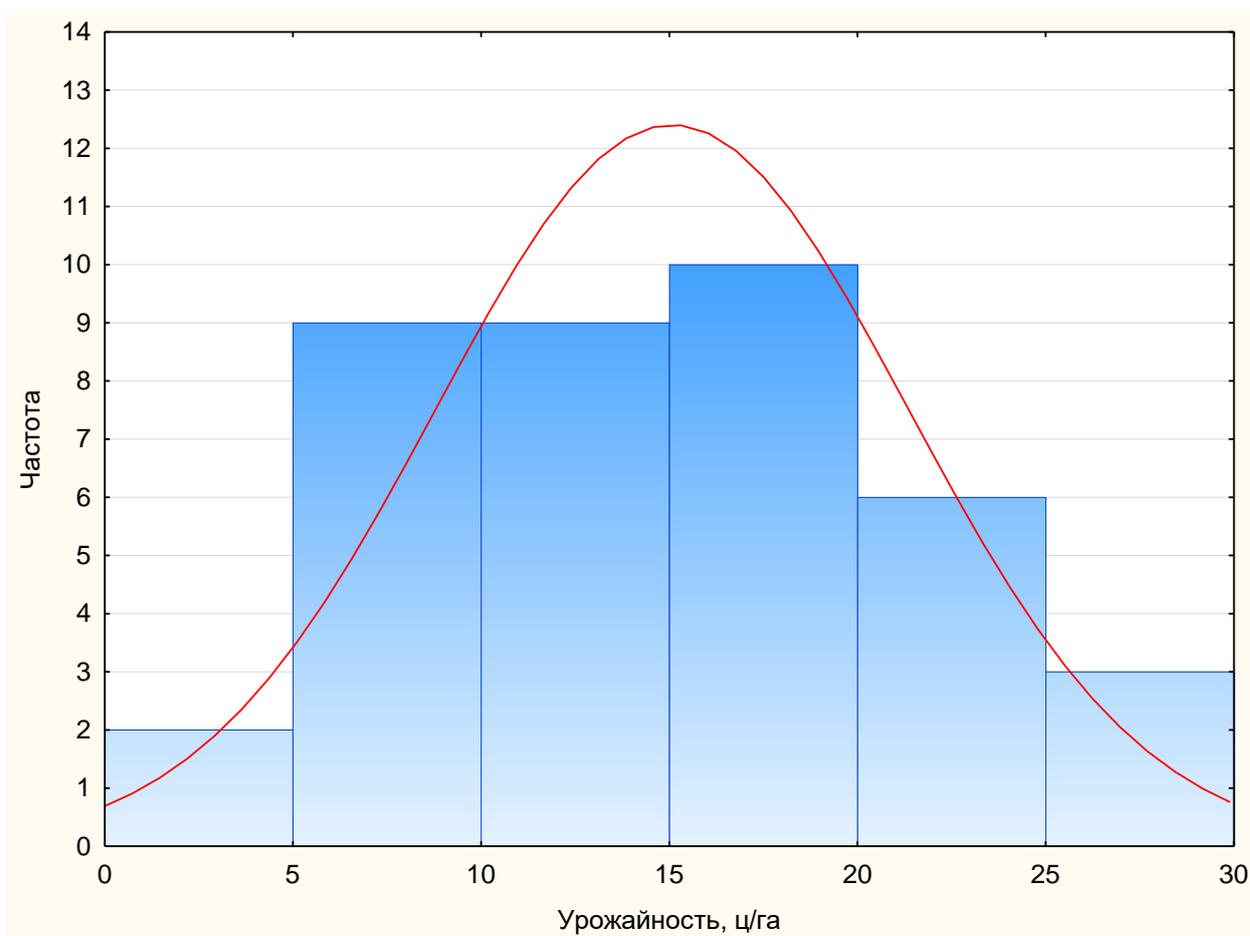


Рисунок 13 – Эмпирическое (гистограмма) и расчётное (кривая) распределение признака «урожайность гороха» (1975–2013 гг.)

Урожайность гороха менее 5 ц/га за исследованный временной промежуток наблюдалась 2 раза, значение урожайности этой ценной продовольственной культуры, превышающее 25 ц/га – 3 раза. Чаще всего в степных условиях северной части Донецкого края отмечалась урожайность от 15 до 20 ц/га.

Ход вычисления фактического значения урожайности гороха « χ^2 » иллюстрируют данные таблицы 19. При использовании критерия « χ^2 » необходимо, чтобы значения расчётных значений урожайности, полученных по нормальному закону частот « f' », не были меньше 5. Для выполнения этого условия крайние классы расчётных значений урожайности гороха объединяли в два укрупнённых класса (слева и справа).

При трёх степенях свободы (число классов минус единица, т.е. $\nu = 4 - 1 = 3$), $\chi^2_{st} = \{7,8; 11,3; 16,3\}$. Таким образом, распределение эмпирических значений

урожайности можно аппроксимировать нормальным распределением.

Таблица 19 – Проверка наблюдаемого распределения признака «урожайность гороха» на нормальность по критерию « χ^2 »

Границы классов	0–	10–	15–	20–
Эмпирические частоты, f	11	9	10	9
Теоретические частоты, f'	10	11	10	8
Разность, d	1,0	-1,0	0	1,0
d^2	1,0	1,0	0	1,0
d^2/f'	0,1	0,09	0	0,125

Значимые коэффициенты парной корреляции урожайности гороха установлены с пятью экологическими факторами: отрицательная корреляция со среднемесячными температурами мая, июня и июля – соответственно $r = -0,48^{**}$, $r = -0,60^{***}$, $r = -0,43^{**}$ года уборки урожая (Таблица 20).

Положительная корреляция отмечена между урожайностью и количеством осадков за июнь и июль года выращивания культуры – $r = 0,34^*$, $r = 0,36^*$.

Отрицательная корреляция между урожайностью гороха и температурой воздуха мая, июня и июля позволяет утверждать о лимитирующем влиянии этих месяцев на урожайность гороха. Самая высокая и значимая связь установлена между урожайностью гороха и среднемесячной температурой июня – $r = -0,60^{***}$.

Коэффициенты парной корреляции урожайности гороха с температурой атмосферного воздуха за май, июнь и июль месяцы выше, чем соответствующие коэффициенты парной корреляции с суммами помесечных атмосферных осадков. Следовательно, можно сделать вывод, что такой агроэкологический фактор, как «среднемесячная температура атмосферного воздуха» весеннего месяца мая и летних месяцев июня и июля оказывает влияние на урожайность гороха в большей степени, чем атмосферные осадки, о чём также свидетельствуют данные,

приведённые в таблице 20.

Таблица 20 – Результаты парной корреляции и множественной регрессии урожайности гороха с температурой и осадками

Факторы	Годы	Месяцы	Переменные (x_1-x_{19})	Коэффициенты	
				корреляции	регрессии
Температура воздуха, °С	Год посева и уборки урожая	III	1	-0,10	-0,26968
		IV	2	-0,18	-0,07507
		V	3	-0,48**	-1,02062
		VI	4	-0,60***	-1,42362
		VII	5	-0,43**	-0,55149
Месячная сумма осадков, мм	Год перед посевом	VI	6	0,02	0,03574
		VII	7	0,17	0,01178
		VIII	8	-0,03	-0,05609
		IX	9	-0,09	-0,03347
		X	10	-0,27	-0,02823
		XI	11	0,01	-0,05366
	Год посева и уборки урожая	XII	12	-0,23	0,03117
		I	13	-0,05	-0,00927
		II	14	0,002	0,02023
		III	15	-0,05	0,03165
		IV	16	0,28	0,04049
		V	17	0,29	0,06873
		VI	18	0,34*	0,01299
		VII	19	0,36*	0,02124

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

Анализ множественной корреляции и регрессии позволяет оценить в целом зависимость урожайности гороха от 19 организованных в исследовании независимых переменных – среднемесячной температуры воздуха и месячной суммы осадков. Уравнение множественной линейной регрессии имеет следующий вид:

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_{19}x_{19}, \quad (16)$$

где y – урожайность гороха (зависимая переменная);

a_0 – свободный член в уравнении регрессии;

a_1-a_{19} – параметры (коэффициенты) уравнения регрессии;

x_1-x_5 – температура за соответствующие месяцы;

X_6-X_{19} – осадки за соответствующие месяцы.

Подставляя в это уравнение значения независимых переменных из Приложения А (Таблицы 2, 3), рассчитываем значения урожайности гороха для всех лет наблюдений. Например, для 2013 г. вычисления производятся с использованием формулы (16):

$$y = 68,12070 + (-0,26968) \times (1,9^\circ\text{C}) + (-0,07507) \times 11,7^\circ\text{C} + 0,02124 \times 31 \text{ мм} = 6,5 \text{ ц/га.}$$

Фактическая урожайность в 2013 г. была на 4,3 ц/га выше теоретической и составила 10,8 ц/га. Высокую степень согласия фактических и расчётных значений урожайности гороха подтверждают данные, представленные на рисунке 14.

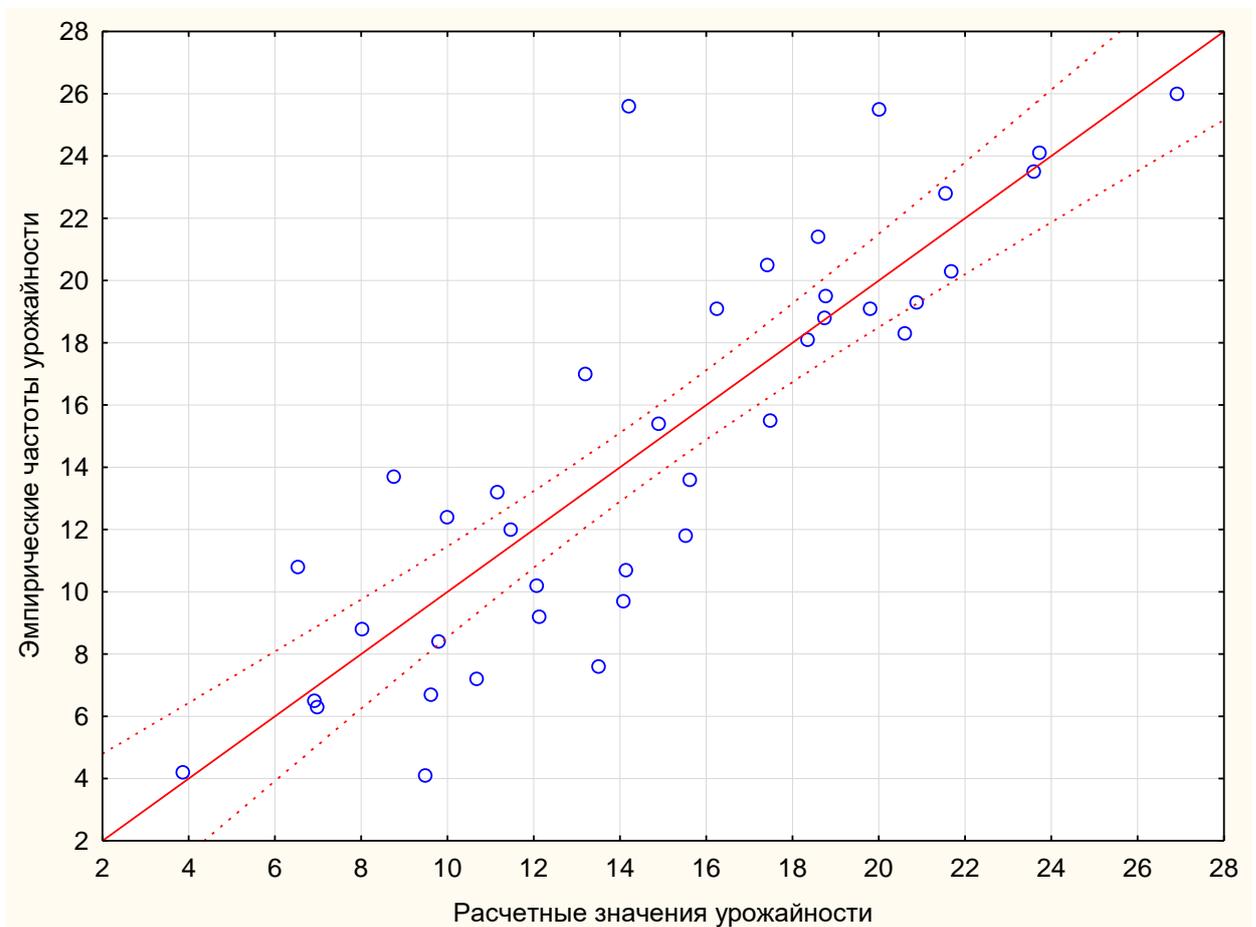


Рисунок 14 – График, иллюстрирующий степень совпадения фактической и расчётной урожайности гороха (1975–2013 гг.)

Анализ разностей (отклонений) эмпирических значений урожайности гороха от расчётных позволяет утверждать, что 33% по абсолютному значению укладываются в 1 ц/га; отклонения до 2 ц/га составляют 49%. Наибольшее отрицательное отклонение (фактическая урожайность ниже расчётной) было в 1996 г. – 5,9 ц/га. Максимальное положительное отклонение, а именно 11,4 ц/га

наблюдалось в 1985 г. (Рисунок 15).

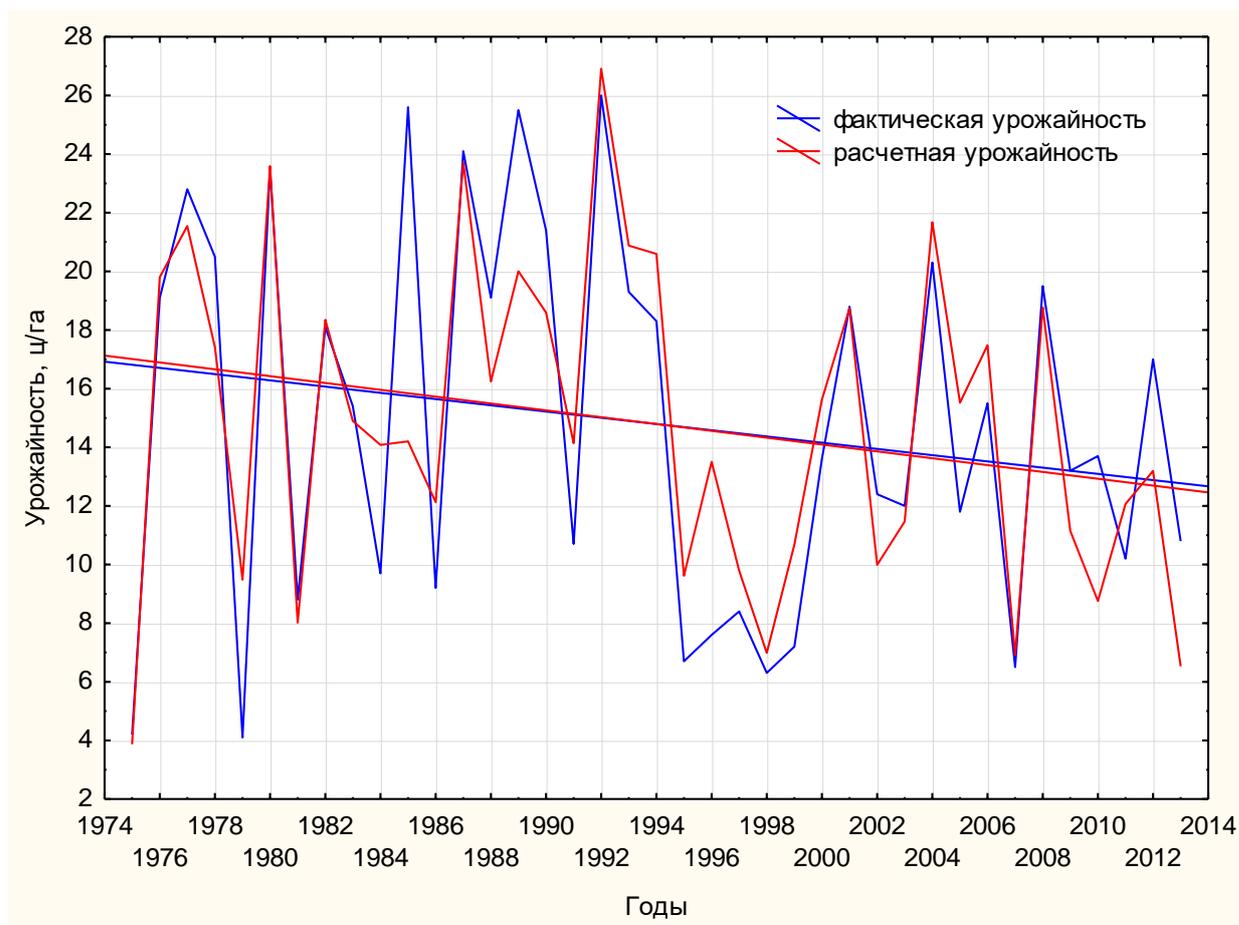


Рисунок 15 – Временные ряды расчётных и фактических величин урожайности гороха (1975–2013 гг.)

Анализ тренда фактической и расчётной урожайности гороха в северной части Донецкого края позволяет утверждать, что происходит постепенное снижение этого показателя, вызванное изменениями климатических условий на данной территории. Как известно, вариации урожайности сельскохозяйственных культур являются непрямым показателем перемены климата. Аналогичное снижение урожайности наблюдалась и при изучении влияния структурных элементов климатопа на продуктивность ярового ячменя.

Ряды динамики расчётной и эмпирической урожайности, представленные на рисунке 15, сходны во многих деталях. Очень низкая урожайность гороха ожидалась по уравнению множественной регрессии в 1975, 1998 и 2007 гг. – (3,8; 7,0 и 6,9 ц/га, соответственно). В эти же годы и фактическая урожайность была очень низкой – соответственно 4,2; 6,3 и 6,5 ц/га. По значениям изученных в

работе факторов (температура и осадки) в 1980, 1987 и 1992 гг. предсказывалась высокая урожайность гороха – соответственно 23,6; 23,7 и 26,9 ц/га. В эти годы фактическая урожайность была рекордно высокой – соответственно 23,5; 24,1 и 26,0 ц/га.

При высоком совпадении фактической и расчётной урожайности гороха (Рисунки 14, 15) коэффициент множественной корреляции составляет $R = 0,856$; корреляция значимая $p < 0,016$. Коэффициент множественной линейной детерминации составляет $R^2 = 0,733$.

Другими словами, свыше 73% изменчивости урожайности гороха определяется погодными условиями, точнее организованными в исследовании значениями среднемесячных температур и месячных сумм осадков.

Таким образом, результаты проведённого исследования позволяют сделать следующие выводы.

1. Атмосферные осадки и температура воздуха являются главными лимитирующими агроэкологическими факторами, детерминирующими урожайность гороха в северной части Донецкого края.

2. Установлена группа абиотических факторов внешней среды, детерминирующих вместе свыше 73% изменчивости по годам урожайности гороха, имеющая решающее значение в динамике урожайности гороха в северной части Донецкого края.

3. Отрицательная корреляция между урожайностью и температурой мая, июня и июля позволяет говорить о лимитирующем влиянии этих факторов на урожайность гороха. Самая высокая связь установлена между урожайностью и среднемесячной температурой июня ($r = -0,60^{***}$).

4. Наиболее сильное влияние на продуктивность гороха оказывают погодные условия июня и июля месяца.

5. Разработана экологически обоснованная модель «Погода – урожайность гороха», представляющая собой уравнение множественной линейной регрессии, описывающее связь урожайности с 19 независимыми переменными. Фактически наблюдавшиеся и теоретически предсказанные по уравнению множественной

регрессии значения продуктивности хорошо согласуются.

3.6 Зависимость продуктивности агроценозов (зерновые культуры) от элементов климатопа

После определения изменчивости урожайности полевых культур (озимой пшеницы, зерновой кукурузы, ярового ячменя и гороха) под влиянием осадков и температуры был проведен аналогичный анализ по установлению связи наиболее представительной группы агроценозов – зерновых культур с элементами климатопа.

К зерновым культурам в широком смысле слова 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 Луганской Народной Республики возделывают преимущественно горох. При этом у сортов гороха зернового направления используют не плоды, а семена.

В период с 1945 по 2013 г. урожайность зерновых культур в северной части Донецкого края изменялась под воздействием группы агроэкологических факторов внешней среды, а именно: суммы атмосферных осадков за каждый месяц и среднемесячной температуры воздуха. Самое низкое значение урожайности на уровне 2,6 ц/га было зарегистрировано в 1946 г., наиболее высокое – 34,1 ц/га было в 1989 г. Размах изменчивости составляет 31,5 ц/га (Таблица 21).

Таблица 21 – Основные показатели урожайности зерновых культур (1945–2013 гг.)

Средняя урожайность, ц/га	Размах изменчивости	Стандартное отклонение	Коэффициенты		
			вариации, %	экссесса	асимметрии
18,3	2,6–34,1	7,04	38,5	–0,49	–0,04

Средняя урожайность группы зерновых культур за период с 1945 по 2013 г. составляет 18,3 ц/га и сильно варьирует по годам. Коэффициент вариации превышает 38%. При такой сильной изменчивости вариационный ряд оказывается

растянутым (Рисунок 16).

За начало эмпирического равноинтервального вариационного ряда принимаем ноль, а за величину классового интервала 5 ц/га. Нормальное распределение полностью описывается двумя приведёнными в таблице 21 параметрами: средним арифметическим $\bar{x} = 18,3$ и средним квадратичным отклонением $s = 7,04$.

Гистограмма эмпирического распределения продуктивности зерновых культур и кривая нормального распределения представлены на рисунке 16.

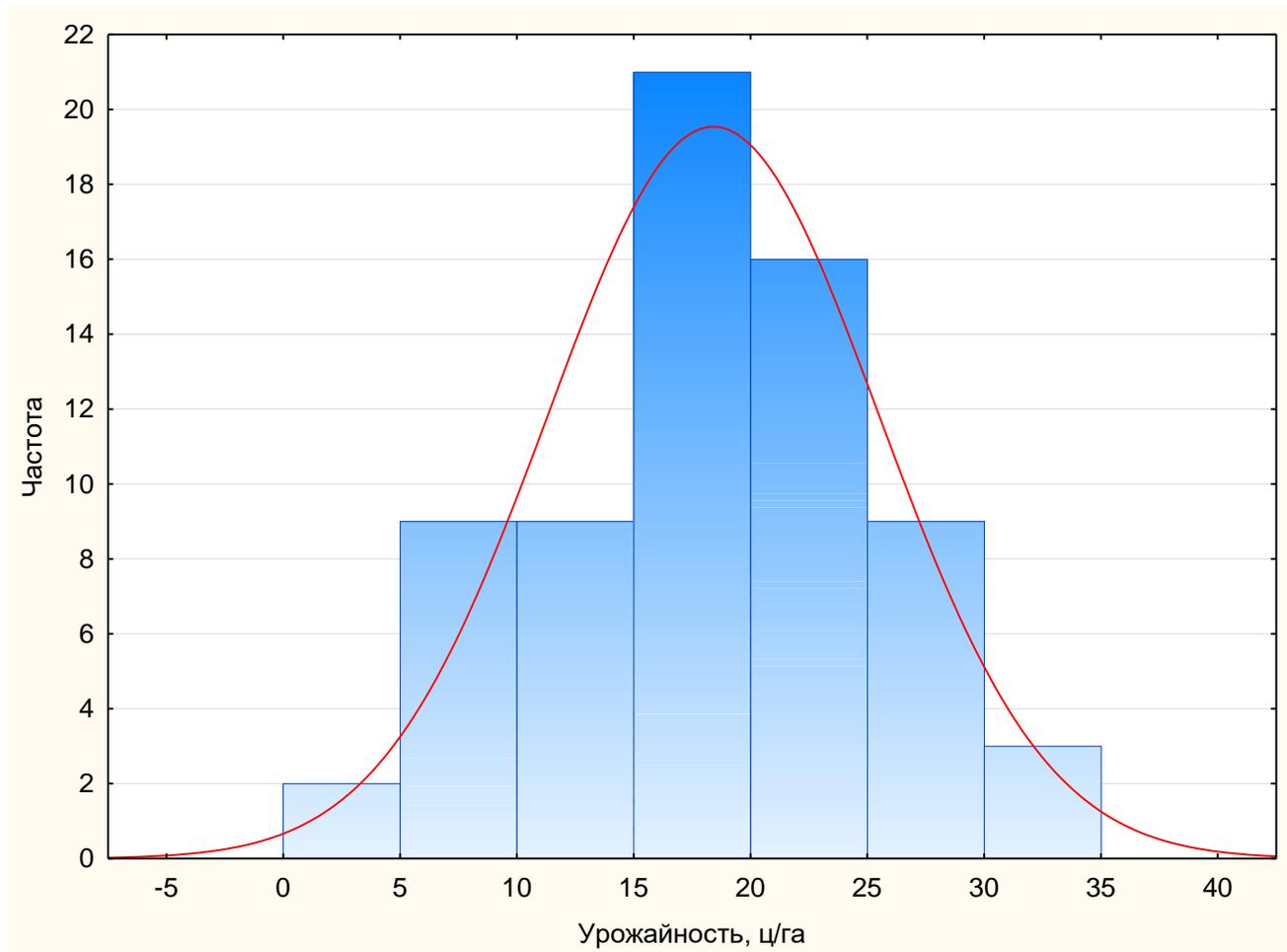


Рисунок 16 – Фактическое (гистограмма) и расчётное (кривая) распределение признака «урожайность зерновых культур»

Отсутствие достоверных эксцесса и асимметрии распределения частот встречаемого признака «урожайность зерновых культур» позволяет предполагать, что фактическое распределение урожайности согласуется с нормальным распределением. Для принятия окончательного суждения о закономерностях наблюдаемого распределения желательно провести его сравнение с расчётным

распределением (нормальным) по критерию « χ^2 ».

Ход вычисления фактического значения « χ^2 » иллюстрируют данные, приведённые в таблице 22.

Таблица 22 – Проверка наблюдаемого распределения признака «урожайность зерновых» на нормальность по критерию « χ^2 »

Границы классов	0–	10–	15–	20–	25–
Эмпирические частоты, f	11	9	21	16	12
Теоретические частоты, f'	7	14	18	23	7
Разность, d	4	–5	3	–7	5
d^2	16	25	9	49	25
d^2/f'	2,3	1,8	0,5	2,13	3,6

При использовании « χ^2 » необходимо, чтобы расчётные значения, полученные по нормальному закону частот « f' », не были меньше 5. Чтобы выполнялось это условие, крайние классы с обеих сторон распределения объединяли в укрупнённые классы.

Известно, что $\chi^2 = \sum d^2/f'$, то есть в данном случае $\chi^2 = 10,33$. Стандартные значения « χ^2_{st} », с которыми сравниваются фактические значения « χ^2 », приводятся в различных руководствах по математической статистике. В нашем случае, при наличии четырёх степеней свободы (число классов минус единица, т.е. $5 - 1 = 4$) $\chi^2_{st} = \{9,5 - 13,3 - 18,5\}$.

Три табличных значения соответствуют трём порогам значимости ($p = 0,05$; $0,01$; $0,001$). Фактическое значение « χ^2 » меньше стандартных значений при $p = 0,01$ и $0,001$, поэтому различие фактического и расчётного распределений можно считать случайным (принимается нулевая гипотеза).

Распределение эмпирических значений урожайности зерновых культур можно аппроксимировать нормальным распределением.

Нормальное распределение признака «урожайность зерновых культур» позволяет без опасений использовать для математико-статистической обработки

данных любые известные методы, в том числе корреляционно-регрессионный анализ. В настоящее время считается, что нарушения предположения нормальности менее фатальны, чем это предполагалось вначале [23]. Хотя этот вывод не означает, что предположения нормальности можно игнорировать, он увеличил общую популярность методов и текстов, основанных на нормальном распределении. Очевидно, что все же лучше работать с признаками, единичные измерения которых распределены по нормальному закону. Урожайность зерновых культур является именно таким признаком.

Математическая правомерность нормального распределения заключается в предельной форме распределения суммы влияний большого числа величин [183]. Теоретическая основа поисков небольшого числа главных климатических факторов, которые обуславливают изменчивость урожайности, при нормальном распределении этого признака отсутствует.

Нормальное распределение урожайности зерновых культур в северной части Донецкого края свидетельствует о большом количестве факторов, влияющих на продуктивность.

В предложенной в диссертации экологически обоснованной модели учтено 48 независимых переменных. Если температуру воздуха и осадки называть интегральными факторами, то эти 48 переменных представляют собой компонентные факторы, факторы второго порядка, на которые подразделяются интегральные факторы.

Среднемесячные температуры и месячные суммы осадков являются факторами второго порядка.

Результаты изучения зависимости урожайности зерновых культур (зависимая переменная «у») от 48 независимых переменных – структурных элементов климатопа (x_1 – x_{48}) представлены в таблицах 23 и 24.

Корреляция урожайности зерновых культур с температурой воздуха в мае и в летние месяцы – отрицательная. С повышением температуры в эти месяцы, происходит снижение урожайности зерновых и наоборот.

Наибольшая связь установлена между урожайностью и средней

температурой июня ($r = -0,35^{**}$) (Таблица 23).

Таблица 23 – Результаты парной корреляции и множественной регрессии урожайности зерновых культур с температурой воздуха

Месяцы	Переменные (x_1-x_{12})	Коэффициенты		Переменные ($x_{13}-x_{24}$)	Коэффициенты	
		корреляции	регрессии		корреляции	регрессии
<i>Год, предшествующий посеву</i>				<i>Год посева и уборки урожая</i>		
I	1	0,001	-0,1424	13	0,18	0,2850
II	2	-0,009	-0,1912	14	0,23	-0,0678
III	3	0,17	0,5356	15	0,28*	0,3875
IV	4	0,17	-0,2620	16	0,11	0,1019
V	5	0,11	0,6344	17	-0,21	0,5527
VI	6	0,04	0,3090	18	-0,35**	-0,3723
VII	7	0,05	0,5833	19	-0,18	-0,0113
VIII	8	0,15	-0,4674	20	-0,24*	-0,6258
IX	9	-0,003	0,6347	21	-0,15	-0,4094
X	10	0,07	0,6017	22	0,23	0,6603
XI	11	0,10	-0,4003	23	0,18	0,5074
XII	12	0,18	-0,0080	24	0,07	0,5190

Примечание: * – значимы при $0,95 < P < 0,99$; ** – значимы при $0,99 < P < 0,999$.

Поиски самых важных факторов, обуславливающих изменчивость урожайности группы зерновых культур по годам, раньше сопровождались значительными трудностями, связанными с громоздкими вычислениями при использовании математических моделей с большим количеством переменных. Вычислительные возможности современных персональных компьютеров столь велики, что делают излишними любые упрощения моделей, которые только ухудшают аппроксимацию. Иначе говоря, в современных условиях нормальное распределение признака «урожайность зерновых культур» требует поиска адекватных математических моделей с большим числом переменных.

Корреляция урожайности группы зерновых культур с атмосферными осадками установлена по апрелю, маю, июню и июлю, сентябрю и октябрю года уборки урожая (Таблица 24).

Таблица 24 – Результаты парной корреляции и множественной регрессии урожайности зерновых культур с атмосферными осадками

Месяцы	Переменные ($X_{25}-X_{36}$)	Коэффициенты		Переменные ($X_{37}-X_{48}$)	Коэффициенты	
		корреляции	регрессии		корреляции	регрессии
<i>Год, предшествующий посеву</i>				<i>Год посева и уборки урожая</i>		
I	25	0,19	0,0633	37	0,13	0,0853
II	26	0,14	-0,1008	38	0,13	-0,0773
III	27	-0,14	-0,1308	39	0,10	0,0021
IV	28	0,17	0,0734	40	0,30*	0,0126
V	29	0,05	-0,0242	41	0,25*	0,1017
VI	30	0,21	0,0032	42	0,35**	0,0659
VII	31	0,19	0,0453	43	0,25*	0,0110
VIII	32	-0,11	0,0175	44	-0,13	-0,0674
IX	33	0,24*	0,0979	45	0,25*	0,0297
X	34	-0,14	-0,0525	46	-0,24	-0,0791
XI	35	0,11	0,0070	47	-0,08	0,0394
XII	36	0,07	0,0088	48	0,26*	0,0096

Примечание: * – значимы при $0,9 < P < 0,99$; ** – значимы при $0,9 < P < 0,999$.

Самый высокий коэффициент парной корреляции установлен между урожайностью зерновых культур и количеством осадков за июнь ($r = 0,35^{**}$).

Температура и осадки июня связаны значимой отрицательной корреляцией ($r = -0,41$), увеличение количества осадков в июне сопровождается снижением температуры воздуха и наоборот. Аналогичная связь характерна для июля, августа и сентября.

В ситуации, когда число пар значений признаков, используемых при вычислении парных коэффициентов корреляции, равно 69 (69 лет наблюдений), все коэффициенты корреляции $r < 0,23$ считаются недостаточно значимыми, недостоверными [77]. Некоторые авторы в подобных случаях считают, что это означает отсутствие влияния одного признака на другой.

По нашему мнению, такая интерпретация излишне категорична. Если значение коэффициента корреляции меньше критического, то верной является

одна из трёх альтернативных гипотез:

- 1) связь имеется, и она того же знака, что и найденное значение «r»;
- 2) связь отсутствует;
- 3) связь имеется, но она имеет знак, противоположный тому, который имеет незначимый коэффициент парной корреляции «r».

В некоторых руководствах по биометрии этот вопрос изложен достаточно ясно и весьма обстоятельно, например у Н.А. Плохинского (1970). Какую гипотезу из трёх названных принять, решает исследователь, но при этом не следует упускать из виду, что гипотеза остаётся гипотезой, и она не становится установленным фактом.

Коэффициенты парной корреляции за март и август очень малы (0,09 и –0,12) и незначимы. Можно принять нулевую гипотезу и согласиться с утверждением, что осадки этих месяцев практически не влияют на урожайность. Коэффициенты корреляции за апрель, май, июнь и июль значимы – соответственно 0,29; 0,24; 0,35 и 0,24, и это следует понимать так, что осадки этих месяцев значимо влияют на урожайность (Таблица 24).

Анализ множественной корреляции и регрессии позволяет оценить зависимость урожайности зерновых культур от независимых переменных.

Уравнение множественной линейной (прямолинейной) регрессии имеет следующий вид:

$$y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + \dots + a_{48}X_{48}, \quad (17)$$

где y – урожайность зерновых культур (зависимая переменная);

a_0 – свободный член в уравнении регрессии;

a_1, a_2, \dots, a_{48} – параметры (коэффициенты) уравнения регрессии, начиная с a_1 (для температуры января года посева озимой пшеницы) и до a_{48} (для суммы осадков за декабрь года уборки урожая);

X_1 – X_{24} – температура за соответствующие месяцы;

X_{25} – X_{48} – осадки за соответствующие месяцы.

Уравнение регрессии для определения расчётной урожайности зерновых культур в 2013 г. имеет следующий вид:

$$y = -11,33314622 + (-0,1424) \times (-4,8^{\circ}\text{C}) + \dots + 0,0096 \times 15 \text{ мм} = 20,4 \text{ ц/га.}$$

Высокую степень совпадения фактических и расчётных значений урожайности группы зерновых культур иллюстрируют данные, представленные на рисунке 17.

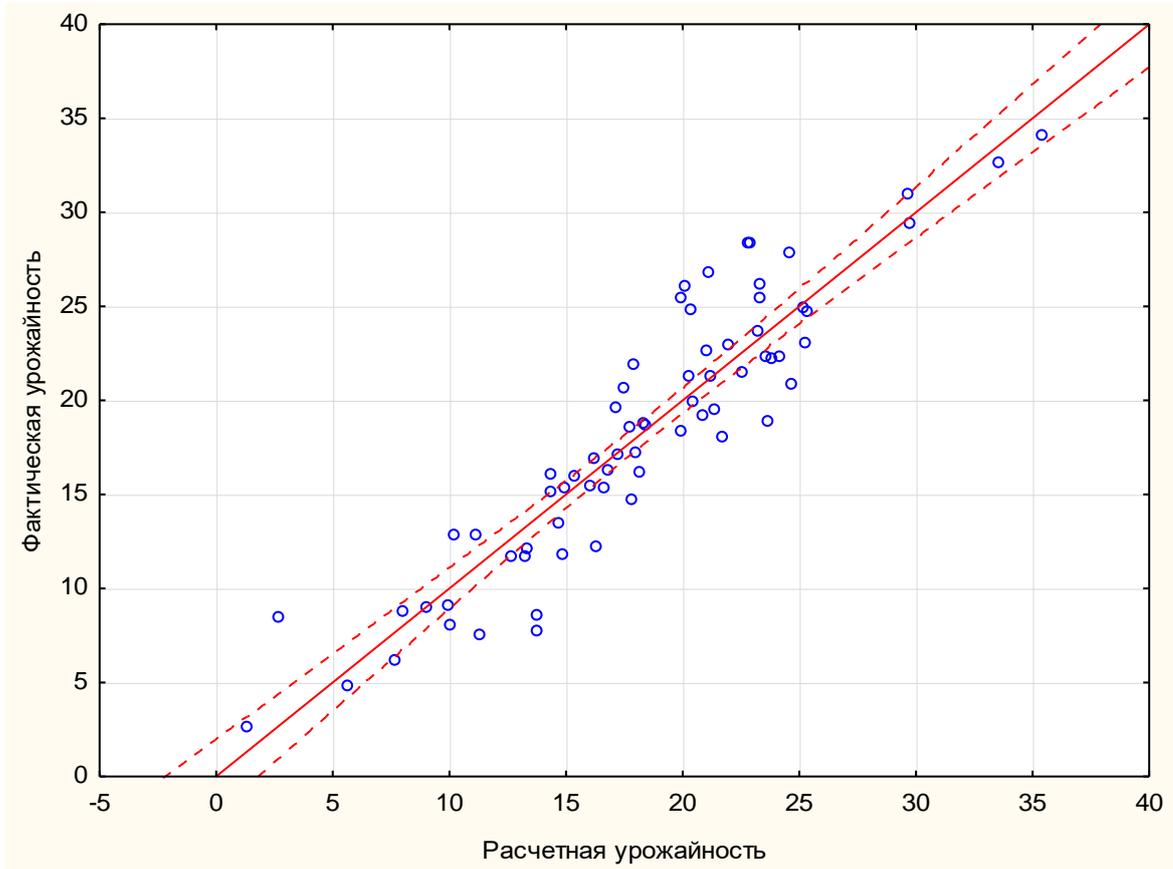


Рисунок 17 – График, иллюстрирующий степень совпадения расчётных и фактических величин урожайности группы зерновых культур

Анализ отклонений (разностей) фактических значений урожайности от расчётных позволяют сделать вывод, что 29% отклонений по модулю укладываются в 1 ц/га; отклонения до 2 ц/га составляют 56,5%. Если отклонения учитывать со знаком, то они при суммировании дают ноль, в связи с чем и среднее отклонение наблюдаемых значений от ожидаемых тоже равно нулю. Временные ряды или ряды динамики расчётных и эмпирических значений урожайности группы зерновых культур, представленные на рисунке 18, очень сходны даже в деталях.

Хорошее совпадение (согласие) наблюдается как для особенно неурожайных, так и для рекордно урожайных лет. Особенно низкой в сравнении

с ближайшими предшествующими и последующими годами фактическая урожайность зерновых была в 1946, 1954, 1963, 1999 и 2000 гг. – соответственно 2,6; 4,8; 8,5; 2,2; 11,7 и 11,8 ц/га; по значениям изученных в нашей работе факторов (температура и осадки), являющихся независимыми переменными (x_1-x_{48}), в эти годы ожидался низкий урожай – соответственно 1,35; 5,7; 13,8; 12,7 и 14,8 ц/га.

Наибольшей в сравнении с ближайшими предшествующими и последующими годами фактическая урожайность была в 1964, 1973, 1989, 1990, 2008 и 2011 гг. – соответственно 23,0; 28,3; 34,1; 30,9; 32,6 и 24,7 ц/га; в эти годы ожидалась необычайно высокая урожайность в связи с благоприятной температурой и осадками – соответственно 25,3; 22,9; 34,5; 29,6; 33,6 и 25,3 ц /га (Рисунок 18).

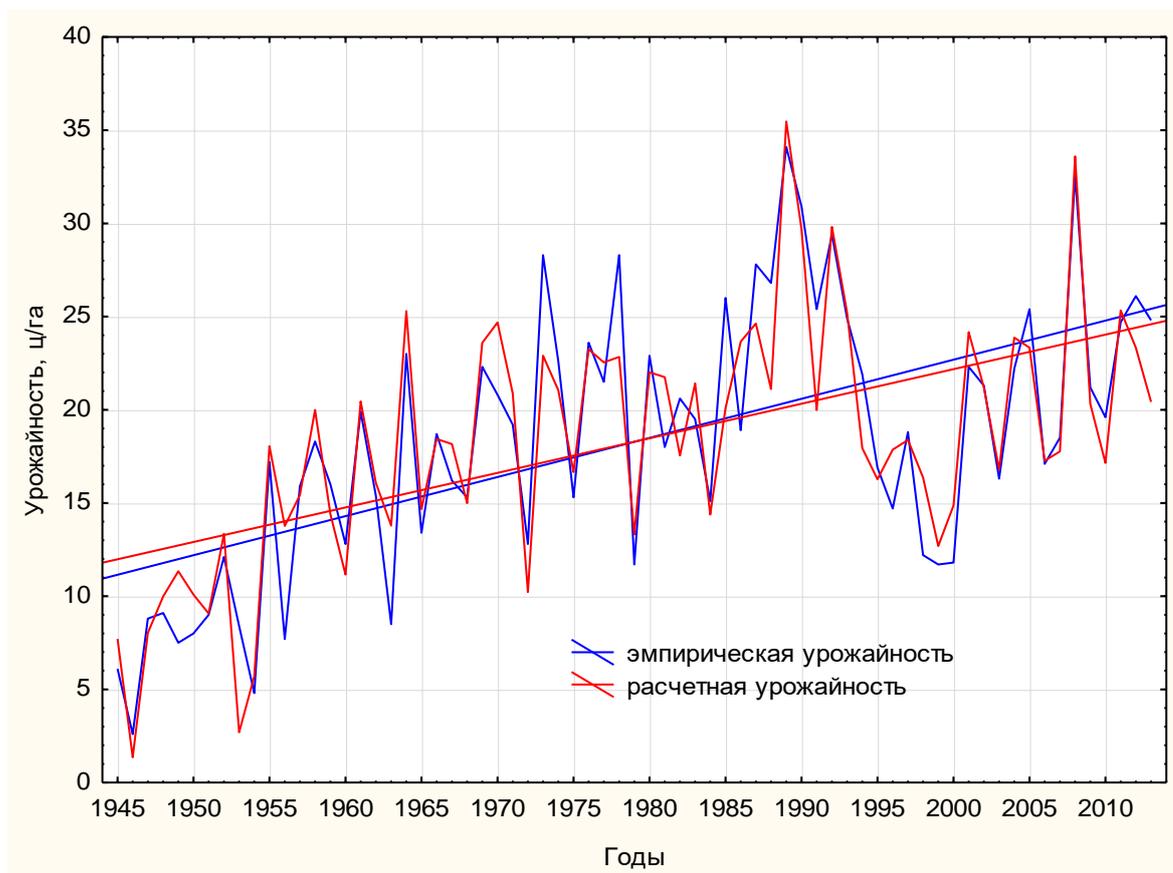


Рисунок 18 – Временные ряды расчётных и фактических величин урожайности зерновых культур

Наибольшее положительное отклонение было отмечено в 1985 г. – 5,91 ц/га, наибольшее отрицательное отклонение – в 1986 г. – минус 4,76 ц/га. При таком

высоком совпадении фактической и расчётной урожайности коэффициент множественной линейной корреляции составляет $R = 0,9229$ ($p < 0,018$, т.е. корреляция значимая).

Коэффициент детерминации показывает ту долю изменчивости, которая обусловлена среднемесячными температурами и количеством осадков, в нашем случае эта доля значительна ($R^2 = 0,8517$). Другими словами, свыше 85% изменчивости урожайности зерновых культур определяется температурой и осадками, которые являются главными лимитирующими факторами, детерминирующими продуктивность зерновых культур в северной части Донецкого кряжа.

Результаты проведённых исследований позволяют утверждать, что впервые найдена группа экологических факторов, детерминирующих более 85% изменчивости урожайности зерновых культур. Математическая модель зависимости урожайности от этих факторов достаточно проста (линейная зависимость) и позволяет получить значимые показатели связи.

Есть основания полагать, что зависимость урожайности от температуры и осадков фактически ещё больше. Во-первых, показатели температуры и осадков предоставлены Луганской метеостанцией, но Луганск расположен не в центре Луганской области. Если бы для анализа использовали сведения о температуре и осадках, усреднённые по всем метеостанциям области, коэффициенты множественной корреляции и детерминации могли бы быть более высокими. Однако полные достоверные данные о температуре и осадках за исследованные годы по другим метеостанциям отсутствуют. Во-вторых, по некоторым месяцам имеет значение распределение агроэкологических факторов в пределах месяца. Проиллюстрируем сказанное примерами. Оптимальным сроком посева ранних колосовых культур в исследуемом регионе является начало апреля. Сильные дожди в конце марта и первой половине апреля могут сдвинуть время посева и вызвать не рост, как обычно бывает при апрельских осадках во второй половине апреля, а снижение урожайности. Если бы осадки учитывались отдельно для первой и второй половины месяца, это могло бы привести к повышению значений

коэффициентов множественной корреляции и множественной детерминации.

Более подробный, чем мы использовали, учёт природных экологических факторов – отдельно по двум половинам каждого месяца или по декадам, приведёт к увеличению в модели количества независимых переменных. Это же произойдет, если экологические факторы учитывать не за 24 месяца, а за их большее количество. Можно не сомневаться, что при увеличении числа независимых переменных «R» и «R²» хотя бы в малой степени возрастут. Однако количество переменных не может быть сколь угодно большим, так как оно ограничивается объёмом выборки, который в нашем исследовании равен 69 ($n = 69$). Заметим в этой связи, что уже при количестве переменных $k = n = 69$, невозможно оценить значимость множественной корреляции по F-критерию. Известно, что $F = R^2 / (1 - R^2) \cdot (n - k / k - 1)$ [48]. Это значит, что $F = 0$ при $k = n$, какие бы значения «R» не были получены. При объеме выборки $n = 69$ количество переменных, равное 48 (как в нашей модели), близко к предельно допустимым. В этом случае коэффициент корреляции «R» велик, и вероятность ошибки приемлемая.

Вывод о том, что температура и осадки являются главными факторами, влияющими на урожайность зерновых культур, не является новым. Новой является экологически обоснованная модель зависимости изменчивости урожайности зерновых культур от 48 независимых переменных (среднемесячной температуры и количества осадков за все месяцы года посева озимых культур и года уборки урожая). Новым является вывод о том, что учтённые в диссертационном исследовании климатические факторы обуславливают столь большую часть (более 85%) изменчивости урожайности зерновых культур по годам.

В заключение можно сделать следующие выводы.

1. Чем теплее зима и начало весны периода перезимовки озимых культур и чем прохладнее май и лето года уборки урожая зерновых, тем выше урожайность зерновых в целом.
2. Значимые положительные коэффициенты корреляции месячных сумм

осадков с урожайностью установлены для апреля, мая, июня, июля и сентября месяцев года уборки урожая. В засушливых условиях зерновые культуры почти во всех случаях положительно отзываются на увеличение осадков.

3. Разработана экологически обоснованная модель «Погода – урожайность зерновых культур», представляющая собой уравнение множественной линейной регрессии, описывающее связь урожайности с 48 независимыми переменными: x_1-x_{24} – среднемесячные температуры и $x_{25}-x_{48}$ – осадки за соответствующие месяцы. Фактически наблюдавшиеся и теоретически рассчитанные по уравнению множественной регрессии значения урожайности хорошо согласуются.

4. Коэффициент множественной корреляции равен $R = 0,9229$, коэффициент множественной детерминации составляет $R^2 = 0,8517$. Более 85% изменчивости урожайности зерновых культур в северной части Донецкого края зависит от осадков и температуры.

3.7 Зависимость продуктивности подсолнечника от структурных элементов климатопа

Подсолнечник (*Helianthus*) является главной масличной культурой на Украине. В семенах содержится 50–55% масла и 16% белка. Подсолнечное масло имеет высокие вкусовые качества и преимущества перед другими растительными жирами по питательности и усвоению. Особая ценность подсолнечного масла как пищевого продукта обусловлена высоким содержанием ненасыщенных жирных кислот (до 90%). Оно используется для приготовления рыбных и овощных консервов, маргарина, в хлебопекарной и кондитерской промышленности.

Семена подсолнечника прорастают при температуре $+3-5^{\circ}\text{C}$. Оптимальная температура первой половины вегетации – $+22^{\circ}\text{C}$, в период цветения – дозревания – $+24-25^{\circ}\text{C}$. Температура выше $+30^{\circ}\text{C}$ негативно влияет на растения, при $+40^{\circ}\text{C}$ останавливается фотосинтез. Весенние заморозки ниже минус $5-6^{\circ}\text{C}$ ослабляют рост, а осенние ниже минус 3°C становятся причиной гибели растений.

Подсолнечник – засухоустойчивое растение, при этом хорошо отзывается на достаточное обеспечение влагой. Решающее значение для формирования

урожая имеет влагообеспеченность подсолнечника в фазе цветения и налива семян (критический период). При недостатке влаги в этот период резко снижается урожайность [35, 58].

Подсолнечник на Луганщине – практически единственная культура, которая выращивается на больших площадях. В последнее десятилетие площади под этой культурой существенно увеличились, что связано, в основном, с высокой экономической эффективностью производства.

Отходы масличного производства представляют собой высококачественный корм для скота, содержащий большое количество белков и жиров. Подсолнечное масло для Украины – важный предмет экспорта [114]. До 70-х гг. прошлого столетия на полях Луганщины выращивались такие сорта подсолнечника, как Армавирский 3497 улучшенный и ВНИИМК 6540 улучшенный. После 80-х гг. к ним добавились сорт Юбилейный 60 и гибриды Авант и Одесский 91. В 90-е гг. список рекомендуемых производству сортов и гибридов пополнился следующими сортами: Донской 60, Лидер, НС-Н-410 и Одесский 63. После 2000 г. Луганский областной центр экспертизы сортов растений рекомендовал производителям такие гибриды подсолнечника, как Ант, Дарий, Еней, Кий, Лан 26, Ной, Свиточ, Сивер и Харьковский 49.

На исследованном временном промежутке с 1945 по 2013 г. урожайность подсолнечника в северной части Донецкого края варьировала от 1,6 ц/га в 1946 г. до 20,6 ц/га в 1989 г. (Приложение А, Таблица 1). Размах изменчивости большой и составляет 19 ц/га.

Наиболее важные характеристики признака «урожайность подсолнечника» приведены в таблице 25.

Таблица 25 – Основные показатели урожайности подсолнечника

Средняя урожайность, ц/га	Размах изменчивости	Стандартное отклонение	Коэффициенты		
			вариации, %	экссесса	асимметрии
12,3	1,6–20,6	4,07	33,1	0,05	–0,35

Средняя урожайность подсолнечника в исследованный период времени

составляет 12,3 ц/га и сильно изменяется по годам. Об этом свидетельствует значение относительного показателя изменчивости – коэффициента вариации «cv», который составляет 33,1%.

Отсутствие значимого эксцесса и асимметрии распределения частот позволяет надеяться, что фактическое распределение можно считать нормальным. Однако для окончательного заключения о закономерностях наблюдаемого распределения лучше провести его объективное сравнение с расчётным (теоретическим) распределением. Это легко сделать по критерию « χ^2 ».

Как и по другим культурам, за начало эмпирического равноинтервального ряда принимали ноль, а за величину классового интервала 5 ц/га. В этом случае число классов k оказывается равным пяти. Когда объём выборки, как в нашем случае, равен 69 (69 значений урожайности за годы наблюдений), рекомендуется построение вариационного ряда с 6–8 классами [77].

При составлении вариационного ряда с $k = 6$, классовый интервал окажется менее 5 ц/га. Это нежелательно, поскольку при составлении вариационных рядов для всех других культур классовый интервал брали равным 5 ц/га. По изложенным соображениям и для подсолнечника классовый интервал установили равным 5 ц/га, k в этом случае равно 5 (что близко к рекомендуемому числу классов). Равный классовый интервал для всех исследованных культур (озимой пшеницы, кукурузы, ярового ячменя, гороха и группы зерновых культур) упрощает сравнение частных распределений друг с другом.

Анализ распределения признака «урожайность подсолнечника» позволяет сделать два заключения. Во-первых, распределение Гаусса исследуемого признака позволяет использовать для эколого-статистической обработки парный и множественный корреляционно-регрессионный анализ, результаты которого приводятся ниже. Во-вторых, факт нормального распределения урожайности подсолнечника позволяет считать, что количество независимых переменных, влияющих на урожайность, велико.

Нормальное распределение полностью описывается двумя приведёнными в таблице 25 параметрами: средним арифметическим значением, равным 12,3, и

стандартным отклонением $s = 4,07$. Гистограмма эмпирического распределения и плавная линия – функция плотности нормального распределения вероятностей представлены на рисунке 19.

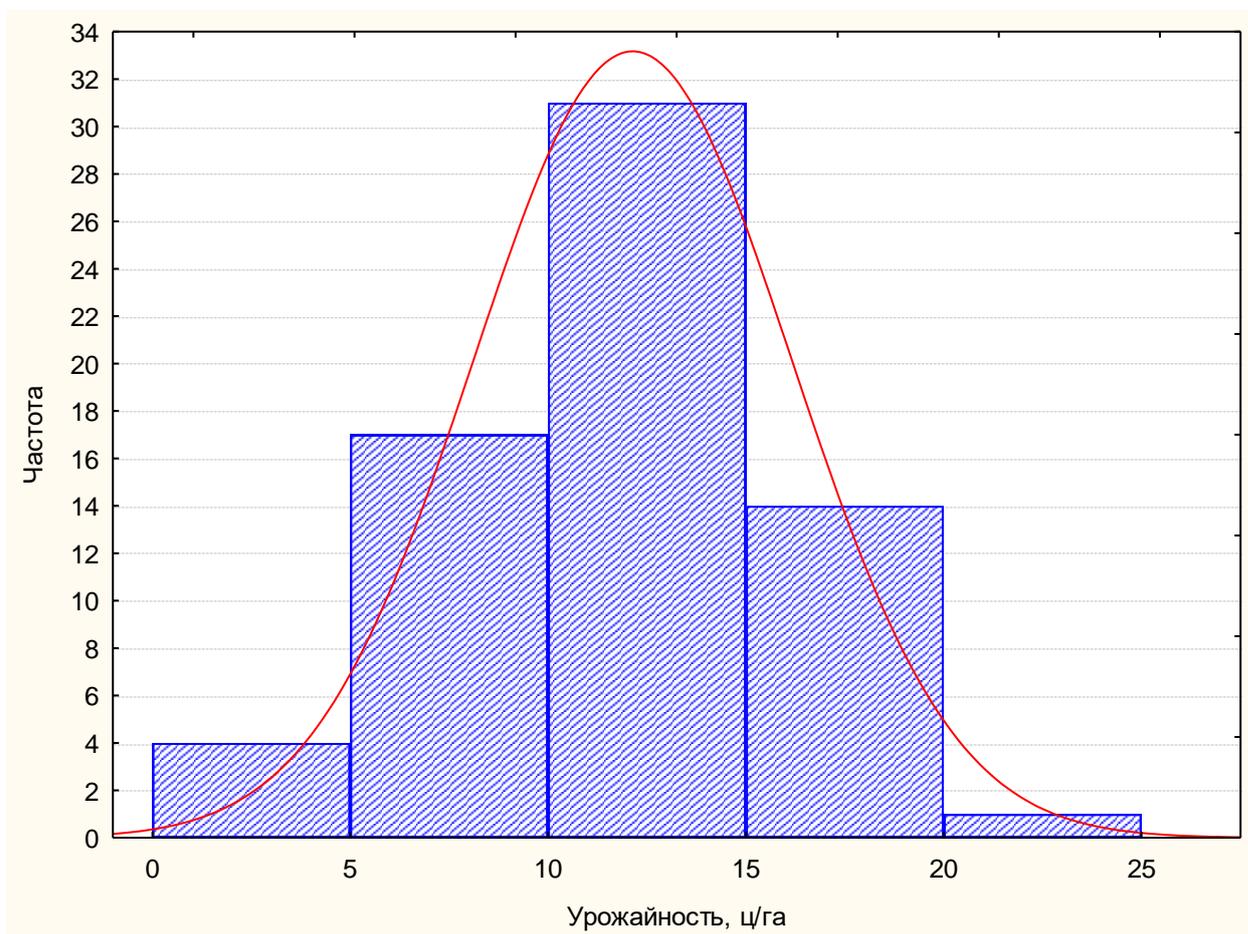


Рисунок 19 – Фактическое (гистограмма) и расчётное (кривая линия) распределение признака «урожайность подсолнечника»

Для определения зависимости продуктивности подсолнечника от влияния агроэкологических компонентных факторов изучали связь урожайности подсолнечника с 48 независимыми переменными (x_1-x_{48}): среднемесячной температурой воздуха (x_1-x_{24}) и ежемесячным количеством осадков ($x_{25}-x_{48}$) (Таблица 26).

Положительная коррелятивная связь наблюдается между температурой атмосферного воздуха в декабре ($r = 0,24^*$) в год перед посевом этой культуры и урожайностью. Отрицательная корреляция установлена с июльской ($r = -0,24^*$) температурой года уборки урожая – в фазы образование соцветий – цветение –

дозревание. Считается, что повышение температуры атмосферного воздуха в период цветения – дозревания выше 30°С негативно влияет на растения. Дневная суточная температура воздуха на территории сельхозугодий Луганщины часто превышает +30°С, что сказывается на величине урожая этой масличной культуры.

Таблица 26 – Результаты парной корреляции и множественной регрессии урожайности подсолнечника с температурой атмосферного воздуха

Месяцы	Переменные (x_1-x_{12})	Коэффициенты		Переменные ($x_{13}-x_{24}$)	Коэффициенты	
		корреляции	регрессии		корреляции	регрессии
<i>Год, предшествующий посеву</i>				<i>Год посева и уборки урожая</i>		
I	1	-0,13	-0,239710	13	0,04	0,041444
II	2	-0,13	-0,092654	14	0,16	-0,021923
III	3	-0,004	0,104473	15	0,17	0,325082
IV	4	0,20	0,141070	16	0,12	0,008987
V	5	0,19	0,069984	17	0,04	0,670084
VI	6	0,05	-0,096991	18	-0,13	0,095670
VII	7	0,09	0,693098	19	-0,24*	-0,083644
VIII	8	0,17	-0,311313	20	-0,22	-0,552577
IX	9	0,18	0,418483	21	-0,21	-0,791166
X	10	0,18	0,614073	22	0,23	0,540751
XI	11	0,21	-0,240654	23	0,12	0,070170
XII	12	0,24*	0,050766	24	0,19	0,460789

Примечание: * – значимы при $0,95 < P < 0,99$; ** – значимы при $0,99 < P < 0,999$.

При недостатке влаги в эти периоды резко снижается урожайность подсолнечника. В засушливых условиях северной части Донецкого края выпадение осадков положительно влияет на урожайность культуры. Положительная значимая корреляция наблюдается между осадками января ($r = 0,28^*$) и декабря ($r = 0,26^*$) в год перед посевом, осадками апреля ($r = 0,25^*$) (фазы развития растений посев – всходы) и осадками июня ($r = 0,37^{**}$) в год уборки урожая (фазы развития: появление 2-й пары настоящих листьев – образование соцветий) и урожайностью подсолнечника (Таблица 27).

Рассматривая коррелятивные связи урожайности с температурой воздуха и

атмосферными осадками, приходим к заключению, что для получения высоких и стабильных урожаев подсолнечника решающее значение имеют летние месяцы: чем больше осадков выпадает в эти месяцы и чем они прохладнее, тем выше урожайность подсолнечника (Таблица 27).

Таблица 27 – Результаты парной корреляции и множественной регрессии урожайности подсолнечника с осадками

Месяцы	Переменные (X ₂₅ –X ₃₆)	Коэффициенты		Переменные (X ₃₇ –X ₄₈)	Коэффициенты	
		корреляции	регрессии		корреляции	регрессии
<i>Год, предшествующий посеву</i>				<i>Год посева и уборки урожая</i>		
I	25	0,28*	0,034651	37	0,20	0,018907
II	26	0,04	–0,048749	38	0,11	–0,067984
III	27	–0,13	–0,095516	39	–0,01	–0,003444
IV	28	0,19	0,018485	40	0,25*	–0,003418
V	29	0,08	–0,023155	41	0,02	0,009374
VI	30	0,10	0,011748	42	0,37**	0,037166
VII	31	–0,11	0,002615	43	0,13	0,005203
VIII	32	–0,09	0,015209	44	–0,06	–0,035839
IX	33	–0,01	0,022073	45	–0,009	–0,007207
X	34	–0,18	–0,055134	46	–0,20	–0,056720
XI	35	0,06	0,020337	47	–0,10	0,030876
XII	36	0,26*	0,042756	48	0,19	0,026373

Примечание: * – значимы при $0,95 < P < 0,99$; ** – значимы при $0,99 < P < 0,999$.

Для получения высоких урожаев подсолнечника в северной части Донецкого края определяющее значение имеют летние месяцы года вегетации культуры. Установлено, что чем больше выпадает осадков летом (особенно в июне) и чем оно прохладнее (особенно июль и август), тем выше урожайность. И наоборот: чем меньше летних осадков и чем жарче лето, тем урожайность ниже. Сходную ситуацию наблюдали и при рассмотрении зависимости урожайности кукурузы на зерно от абиотических факторов. На урожайность подсолнечника влияет комплекс природных экологических факторов: среднемесячные температуры и количество осадков. Множественный линейный корреляционно-

регрессионный анализ предназначен для оценки суммарного влияния всех 48 факторов на продуктивность подсолнечника на Луганщине.

Уравнение множественной регрессии для подсолнечника имеет вид:

$$y = a_0 + a_1X_1 + a_1X_1 + \dots + a_{48}X_{48}. \quad (18)$$

Фактическая урожайность подсолнечника в 2013 г. составила 18,4 ц/га, т.е. была на 0,2 ц/га ниже расчётной. Высокую степень согласия фактических и расчётных значений урожайности подсолнечника иллюстрируют данные, представленные на рисунке 20.

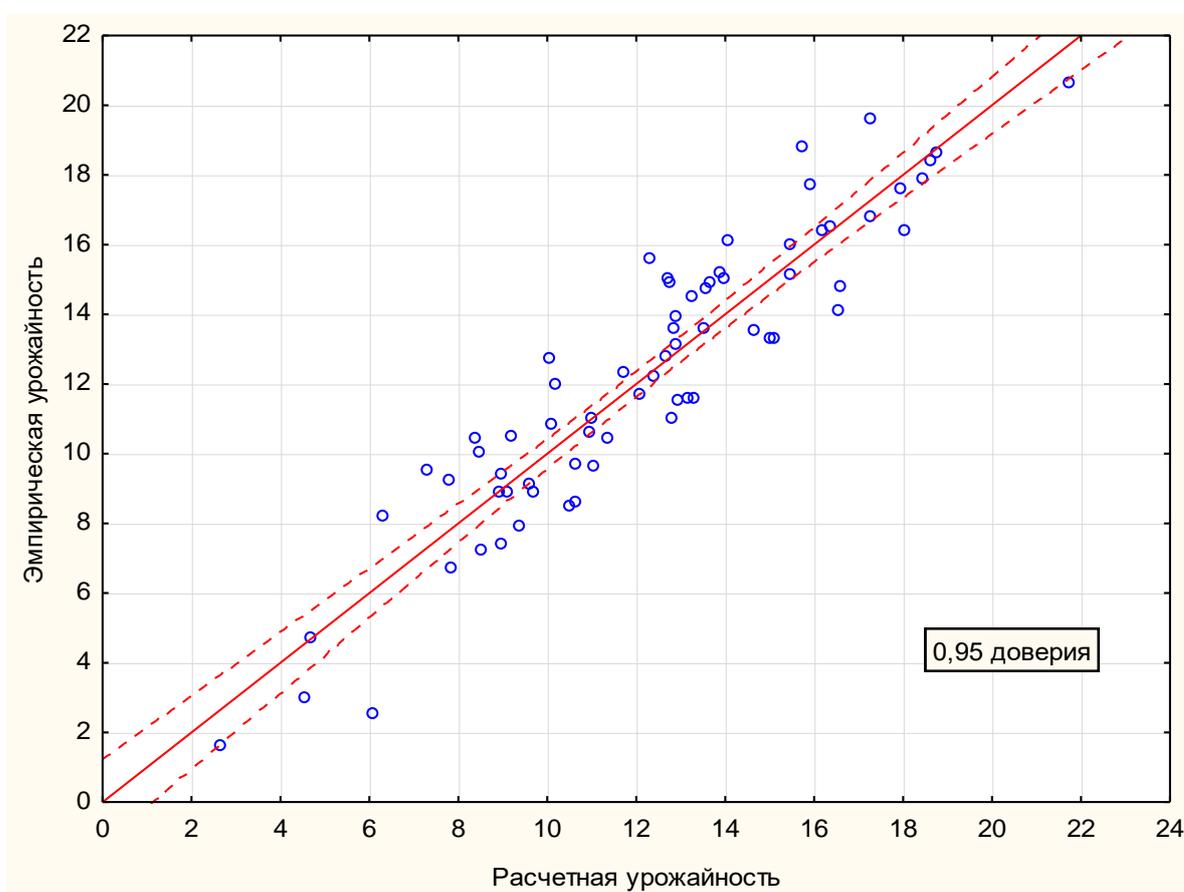


Рисунок 20 – График, иллюстрирующий степень совпадения расчётной и фактической урожайности подсолнечника

Ряды динамики эмпирических и расчётных значений урожайности, представленные на рисунке 21, очень сходные. Хорошее совпадение характерно и для неурожайных, и для рекордно урожайных лет. Наибольшее отклонение фактического значения от расчётного в отрицательном направлении было в 1945 г. (–3,58 ц/га), в положительном – в 1982 г. (3,28 ц/га).

Довольно низкой в сравнении с ближайшими предшествующими и последующими годами фактическая урожайность была в 1946, 1954 и 2001 гг. – соответственно 1,6; 3,0 и 7,9 ц/га; по значениям исследованных в настоящей работе абиотических факторов, являющихся независимыми переменными X_4 – X_{48} , в эти годы ожидался неурожай – соответственно 2,7; 4,5 и 9,4 ц/га.

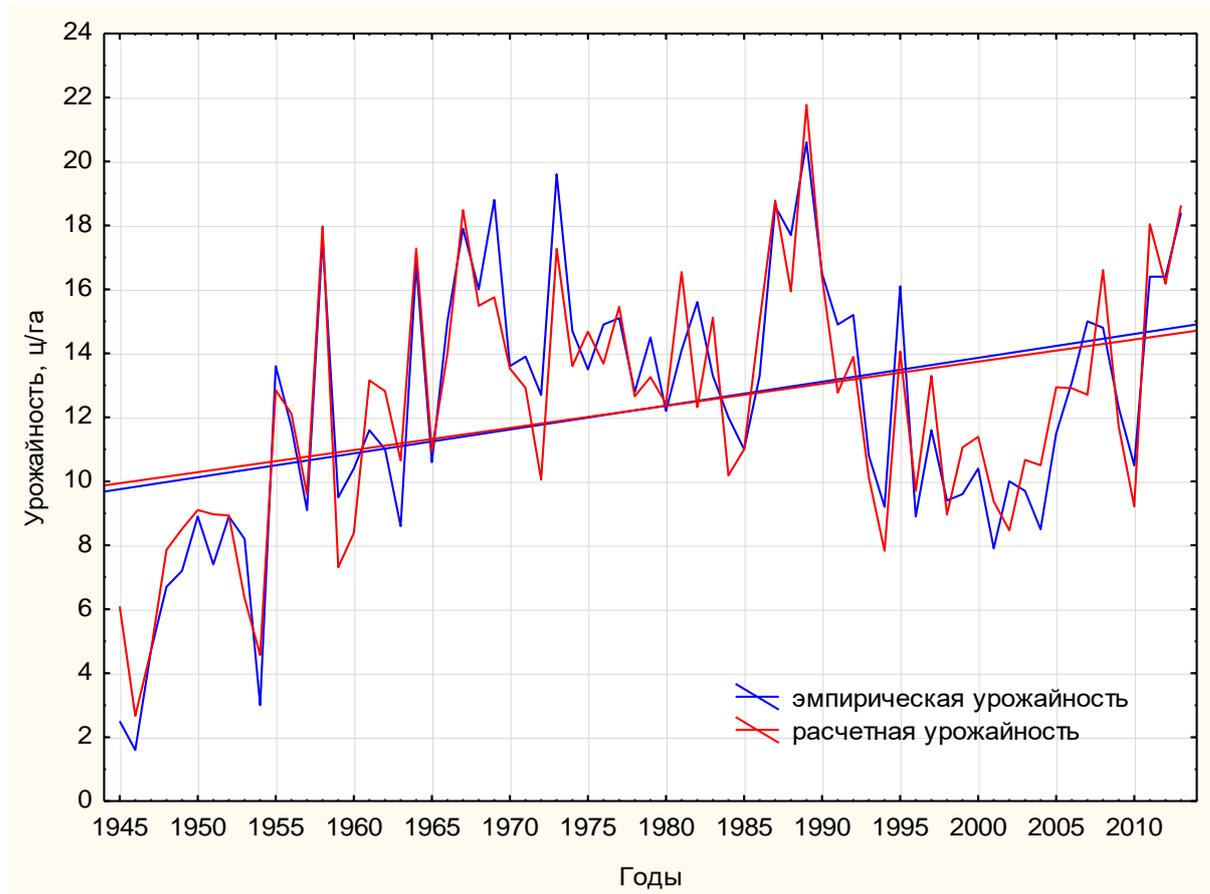


Рисунок 21 – Временные ряды расчётных и фактических величин урожайности подсолнечника

Наиболее высокой, в сравнении с ближайшими предшествующими и последующими годами, урожайность подсолнечника была в 1967, 1973 и 1989 гг. – соответственно 17,9; 19,6 и 20,6 ц/га; в эти же годы ожидалась необычайно высокая урожайность по значениям среднемесячной температуры и суммы месячных осадков – соответственно 18,4; 17,3 и 21,7 ц/га. Можно утверждать, что урожайность тесно связана с независимыми переменными, о чём свидетельствуют очень высокие значения $R = 0,9305$ и $R^2 = 0,8659$ ($p = 0,009$). Более 86% изменчивости по годам урожайности подсолнечника в северной части Донецкого

кряжа детерминируется погодными условиями, которые являются главными лимитирующими факторами.

На основании полученных результатов можно сделать следующие выводы.

1. Температура атмосферного воздуха летом и в сентябре месяце в северной части Донецкого кряжа для подсолнечника обычно излишне высокая.

2. На урожайность подсолнечника положительно влияют осадки двух лет: года, предшествующего посеву, и года посева. Особенно сильная корреляция урожайности с осадками установлена по июню года уборки урожая ($r = 0,37^{**}$).

3. Разработана экологически обоснованная модель «Погода – урожайность подсолнечника». Фактические и теоретически рассчитанные значения урожайности хорошо согласуются.

4. Коэффициент множественной корреляции $R = 0,9305$, коэффициент множественной детерминации $R^2 = 0,8659$. Более 86% изменчивости урожайности подсолнечника по годам определяется температурой и осадками.

Для продолжения исследований по установлению влияния температуры воздуха и атмосферных осадков по агроэкологическим районам мы выбрали два района Луганской области: Антрацитовский и Беловодский. На территории Антрацитовского района находится метеостанция «Дарьевка», на территории Беловодского района – метеостанция «Беловодская». По этим станциям имеются данные о погоде с 1990 по 2010 г., которые мы использовали для построения многофакторной модели, аналогичной моделям, описанным выше. Управление статистики Луганской Народной Республики предоставило сведения только об урожайности зерновых культур и подсолнечника. В модели учитываются данные о среднемесячной температуре атмосферного воздуха и атмосферных осадках с января по сентябрь года посева и года уборки урожая.

Вначале для Антрацитовского района построили две модели связи урожайности с климатическими факторами – по зерновым культурам и подсолнечнику. Результаты множественного корреляционно-регрессионного анализа, представленные в таблице 28, свидетельствуют о недостаточном количестве независимых переменных в моделях. Коэффициенты множественной

корреляции и детерминации по зерновым культурам высоки – $R = 0,9653$, $R^2 = 0,9377$), модель незначима по p -уровню ($p = 0,44$). Коэффициенты множественной корреляции и детерминации по подсолнечнику также высоки – $R = 0,9668$, $R^2 = 0,9347$), и также модель незначима по p -уровню ($p = 0,44$).

Для анализа связи между урожайностью зерновых культур и подсолнечника с элементами климатопа по Беловодскому району использовали такие же независимые переменные, как и по Антрацитовскому. Установили значимую множественную корреляцию урожайности зерновых с температурой воздуха и осадками – $R = 0,9982$, $R^2 = 0,9954$ ($p = 0,032$).

Таблица 28 – Сводные результаты анализа изменчивости продуктивности агроценозов под влиянием климатообразующих факторов

Культуры	Количество		Коэффициенты		Вероятность ошибки (p-уровень)
	лет наблюдений	переменных в модели	корреляции	детерминации, %	
Антрацитовский район					
Зерновые	21	18	0,9653	0,9377	0,44
Подсолнечник	21	18	0,9668	0,9347	0,44
Беловодский район					
Зерновые	21	18	0,9982	0,9964	0,032
Подсолнечник	21	18	0,9758	0,9523	0,36

Наиболее сильное влияние на небольшом промежутке времени на урожайность оказывают температура февраля, марта, июня, июля и августа; осадки марта, мая, июня и августа. Изменчивость урожайности зерновых культур в Беловодском районе обусловлена изменениями условий внешней среды, это заметно даже на малой выборке – 21 год. Коэффициенты множественной корреляции и детерминации по подсолнечнику также высоки – $R = 0,9578$, $R^2 = 0,9523$, а модель незначима по p -уровню ($p = 0,36$) (Таблица 28).

На рисунке 22 представлены временные ряды расчётных и фактических величин урожайности зерновых культур по Беловодскому району.

Наблюдается полное совпадение фактической и рассчитанной по уравнению множественной регрессии урожайности, линия тренда также полностью

совпадает.

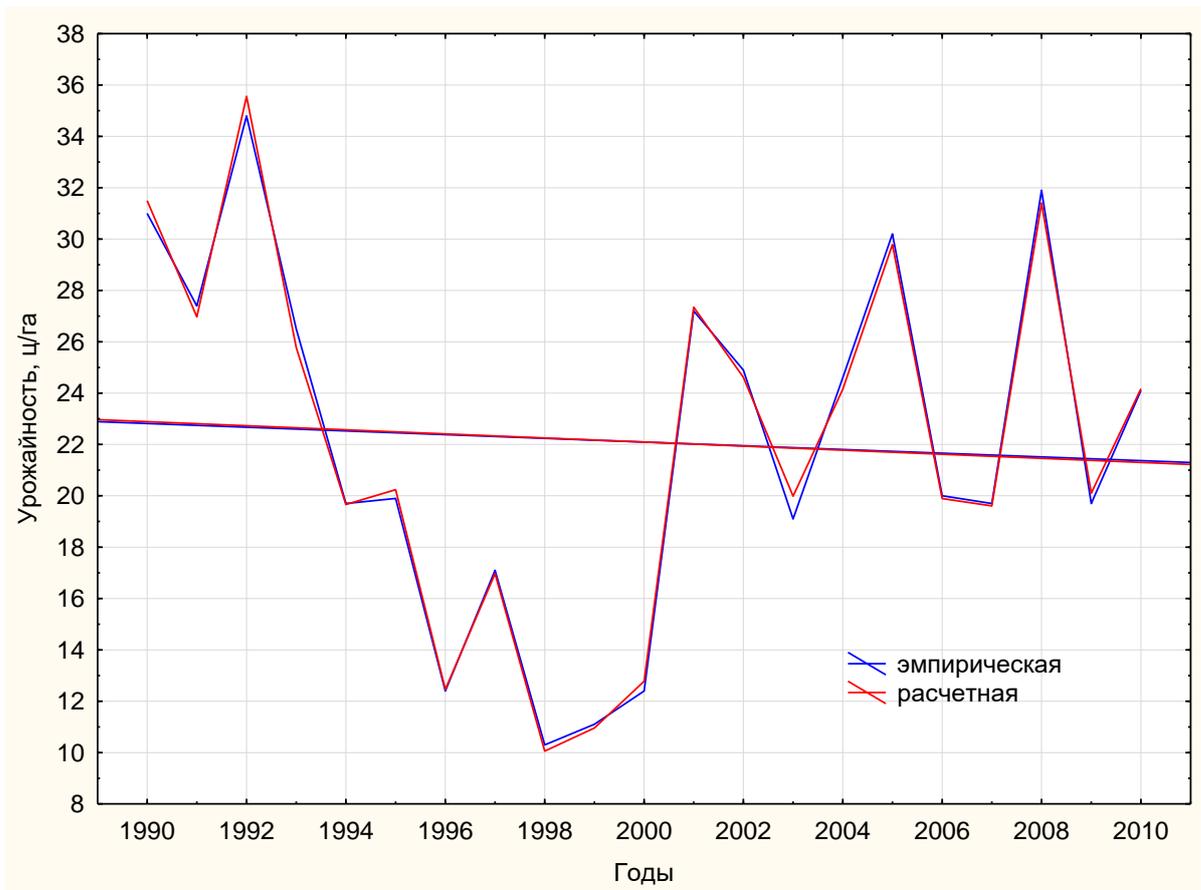


Рисунок 22 – Временные ряды расчётных и фактических величин урожайности зерновых культур (Беловодский район)

3.8 Связь продуктивности полевых культур с гидротермическим коэффициентом

Влагообеспеченность или, иначе говоря, степень увлажнения территории определяется приходом влаги (прежде всего с осадками) и её расходом (испарение с поверхности почвы и транспирация). С практической точки зрения представляет интерес влагообеспеченность территории во время вегетационного периода и фотосинтеза растений.

Приход влаги – это количество осадков, определяемое прямым инструментальным методом ($\sum r$). Расход представляет собой количество испарившейся влаги и приблизительно оценивается непрямими методами с использованием зависимости количества испарившейся влаги от температуры, влажности воздуха, ветра за весь вегетационный период или какой-то один месяц

этого периода. Сток воды, для какой-либо конкретной территории мало меняющийся по годам, при этом не учитывается.

Методы определения влагообеспеченности (увлажнённости) территории предназначены для оценки обеспеченности влагой за весь год (коэффициент увлажнения Высоцкого-Иванова), за вегетационный период (гидротермический коэффициент (ГТК) Селянинова), и за отдельные месяцы (коэффициент увлажнения Высоцкого-Иванова, ГТК Селянинова) [87, 165, 197]. Эти методы отличаются способом вычисления количества испарившейся влаги. Одни способы основываются только на зависимости количества испарившейся влаги от температуры: чем выше температура, тем больше испарение воды, влажность воздуха при этом не учитывается (ГТК).

Другие, а именно способы Н.Н. Иванова в модификации Л.А. Молчанова, учитывают и влажность воздуха. Методы определения влагообеспеченности отличаются также конструкцией и формулами для вычисления показателя влагообеспеченности.

Предложенный Г.Т. Селяниновым гидротермический коэффициент (ГТК) лучше, чем сумма осадков, характеризует влагообеспеченность какой-либо территории, поскольку учитывает не только приход, но и расход воды [139]. ГТК определяется за отдельные месяцы как отношение месячного количества осадков ($\sum r$) к сумме температур ($\sum t$) за тот же месяц с коэффициентом 0,1:

$$\text{ГТК} = \frac{\sum r}{0,1 \sum t}. \quad (19)$$

В этой формуле $0,1 \sum t$ за месяцы со средней суточной температурой выше 8°C представляет собой приближенную оценку величины испаряемости. Таким образом, ГТК является условным выражением баланса влаги и определяет отношение прихода влаги к её расходу. Если $\text{ГТК} > 1,0$, увлажнение большинства сельскохозяйственных культур достаточное [140].

ГТК широко используется специалистами. Именно он положен в основу деления территории Украины на агроклиматические зоны. Однако в отличие от ГТК Г.Т. Селянинова, зона с ГТК от 1,0 до 1,3 на Украине считается слабо

засушливой [194].

Ниже приводятся результаты изучения гидротермического коэффициента по Луганщине как за отдельные месяцы (апрель, май, июнь, июль, август, сентябрь), так и за весь теплый (вегетативный) период (Приложение Б, таблица 11).

Элементарные статистики показателя «гидротермический коэффициент» отдельно за все шесть месяцев теплого периода года и в целом за вегетационный период представлены в таблице 29.

Таблица 29 – Основные характеристики показателя «гидротермический коэффициент»

Временные промежутки	Среднее значение	Стандартное отклонение	Коэффициенты		
			вариации, %	экссесса	асимметрии
Апрель	1,22	0,93	76,0	1,72	4,11
Май	0,89	0,54	61,0	0,90	0,95
Июнь	0,99	0,68	68,9	0,73	0,30
Июль	0,81	0,61	74,7	2,09	7,82
Август	0,59	0,45	76,0	0,68	-0,47
Сентябрь	0,83	0,70	84,9	1,47	2,72
Вегетационный период	0,88	0,37	41,6	0,80	0,49

Как видно из таблицы 29, только в апреле месяце гидротермический коэффициент был больше 1 ($ГТК_{\text{апрель}} = 1,22$), следовательно, в этом месяце влагообеспеченность можно считать достаточной. В остальные месяцы влагообеспеченность была в той или иной степени недостаточной.

Особенно большой дефицит влаги отмечен в августе ($ГТК_{\text{август}} = 0,59$). В целом за вегетационный период гидротермический коэффициент составил 0,88, поэтому северная часть Донецкого края относится к засушливой зоне, где ГТК варьирует от 0,7 до 1,0.

Будучи частным от деления суммы осадков на количество испарившейся влаги, ГТК является очень изменчивым признаком. Относительным показателем изменчивости, позволяющим судить о степени изменчивости, служит коэффициент вариации («cv»). Так как все значения «cv» намного больше 25%

($cv = 42-85\%$), ГТК является сильно варьирующим показателем.

В отдельные месяцы распределения гидротермического коэффициента обнаруживали значимую асимметрию, распределение гидротермического коэффициента за весь вегетационный период не обнаруживает эксцесса и асимметрии. В целом небольшие, хотя и значимые, отклонения от нормального распределения не мешают применению обычных математико-статистических методов [23, 179].

Изучение зависимости урожайности полевых культур от значений гидротермического коэффициента проводили при помощи парного и множественного корреляционного анализа (Таблица 30). Для анализа по всем тестовым культурам мы выбрали год уборки урожая. Все значимые коэффициенты парной корреляции между урожайностью полевых культур и ГТК оказались положительными.

Таблица 30 – Результаты парной, множественной корреляции и коэффициент детерминации между урожайностью полевой культуры и ГТК

Временной промежуток	Коэффициенты парной корреляции полевой культуры					
	пшеница озимая	зерновые культуры	кукуруза	ячмень яровой	горох	подсолнечник
Апрель	0,19	0,22	0,15	0,15	0,30	0,21
Май	0,34**	0,31*	0,09	0,31	0,33*	0,07
Июнь	0,30*	0,39***	0,44***	0,31	0,32*	0,42***
Июль	0,27*	0,28*	0,29*	0,28	0,39*	0,17
Август	-0,09	-0,11	-0,03	-0,15	0,02	-0,06
Сентябрь	0,31*	0,25*	0,06	0,24	0,36*	-0,02
Вегетационный период	0,41***	0,43***	0,28*	0,34*	0,47**	0,29*
Коэффициент корреляции «R»	0,55	0,60	0,52	0,57	0,63	0,53
Вероятность ошибки «р»	0,002	0,0002	0,006	0,06	0,02	0,004
Коэффициент детерминации «R ² »	0,31	0,36	0,27	0,33	0,40	0,28

Примечание: * – значимы при $0,95 < P < 0,99$; ** – значимы при $0,99 < P < 0,999$.

Так, между урожайностью озимой пшеницы и ГТК установлены значимые связи в мае, июне, июле, сентябре и с вегетационным периодом в целом.

Аналогичные коррелятивные зависимости получены между урожайностью зерновых культур, гороха и ГТК. Между урожайностью кукурузы и ГТК установлены значимые связи по июню, июлю и вегетационному периоду в целом. Между урожайностью ярового ячменя и ГТК доказана коррелятивная связь только по вегетационному периоду в целом. Между урожайностью подсолнечника и ГТК установлена достоверная положительная корреляция по июню и вегетационному периоду в целом.

Как следует из таблицы 30, коэффициенты множественной корреляции изменялись в пределах $R = 0,52-0,63$ и оказались значимыми для всех полевых культур, кроме ячменя.

В целом можно сделать вывод о наличии положительной коррелятивной связи гидротермического коэффициента с урожайностью полевых культур. Между тем показатель ГТК менее пригоден для построения регрессионных моделей по сравнению с такими показателями, как температура воздуха и сумма осадков, так как:

- 1) является расчётным показателем, в отличие от прямых показателей – температуры и осадков;
- 2) имеет более низкие коэффициенты корреляции;
- 3) имеет невысокие коэффициенты детерминации ($R^2 = 0,27-0,40$).

Ввиду указанных выше причин показатель ГТК не был включен нами в математическую модель зависимости урожайности сельскохозяйственных культур от погодно-климатических факторов.

3.9 Изменчивость продуктивности агрофитоценозов степи под влиянием климатообразующих факторов

Большую часть математико-статистических методов рекомендуется использовать при наличии больших выборок, причём таковыми обычно считают выборки с 30 и большим количеством значений исследуемых признаков, то есть при $n \geq 30$ [37, 112]. В нашем случае количество лет наблюдений для группы зерновых культур и подсолнечника равно 69, для ячменя и гороха – 39.

Количество независимых переменных в моделях для зерновых культур, озимой пшеницы, кукурузы и подсолнечника составляет 48, по яровому ячменю и гороху – 19 (Таблица 31).

Важно, что вынужденное уменьшение объёма выборок и количества переменных по двум последним культурам не привело к ухудшению моделей по таким важнейшим их свойствам, как величина связей, оцениваемая значениями «R», «R²» и надежности (p-уровень).

Таблица 31 – Результаты множественного корреляционно-регрессионного анализа изменчивости продуктивности агроценозов

Культуры	Количество лет	Количество переменных в модели	Коэффициенты множественной		Вероятность ошибки (p-уровень)
			корреляции	детерминации, %	
Пшеница озимая	69	48	0,9304	86,6	0,009
Кукуруза	69	48	0,9325	86,9	0,007
Ячмень яровой	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

В таблице 31 отображены основные особенности математических моделей связи урожайности полевых культур с элементами климатопа.

Наиболее высокие коэффициенты корреляции установлены для кукурузы ($R^2 = 86,9$), озимой пшеницы ($R^2 = 86,6$) и подсолнечника ($R^2 = 86,6$).

Достаточно высоким является коэффициент детерминации для группы зерновых культур ($R^2 = 85,2$).

Меньшие по величине коэффициенты множественной детерминации установлены по гороху ($R^2 = 73,3$) и яровому ячменю ($R^2 = 69,2$).

Выводы к главе 3

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

- для зерновых $r = 0,35^{**}$;

- для подсолнечника $r = 0,37^{**}$.

2. 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 кукурузы определяющей является температура июня и июля – $r = -0,31^*$;

- для подсолнечника решающее значение имеет температура июля – $r = -0,24^*$.

3. Обоснована зависимость продуктивности полевых культур от совместного влияния осадков и температуры.

Коэффициенты множественной линейной корреляции (R) составляют:

- для озимой пшеницы $R = 0,930$;

- для кукурузы $R = 0,932$;

- для ячменя $R = 0,832$;

- для гороха $R = 0,856$;

- для подсолнечника $R = 0,930$.

4. Часть изменчивости урожайности сельскохозяйственных культур, обусловленная осадками и температурой, составляет:

- для озимой пшеницы $R^2 = 86,6$;

- для кукурузы $R^2 = 86,9$;

- для ячменя $R^2 = 69,2$;

- для гороха $R^2 = 73,3$;

- для подсолнечника $R^2 = 86,6$.

5. Разработаны экологически обоснованные модели «Погода – урожайность», представляющие собой уравнения множественной линейной регрессии, описывающие связь урожайности с температурой воздуха и осадками. Фактические и расчётные значения урожайности по уравнению регрессии хорошо согласуются.

4 ПРОГНОЗИРОВАНИЕ УРОЖАЙНОСТИ ПОЛЕВЫХ КУЛЬТУР В УСЛОВИЯХ СТЕПИ

Среди отраслей растениеводства в Донбассе важнейшей является зерновое хозяйство, которое по сути своей составляет основу всего сельскохозяйственного производства. Зерновое производство в подавляющей массе формирует продовольственный фонд и поставляет фуражное зерно животноводству.

Озимая пшеница является основной продовольственной культурой, необходимый уровень производства которой является главной составляющей продовольственной безопасности республики. По этой причине научное прогнозирование урожайности этой культуры имеет важное теоретическое и практическое значение. Именно на примере динамики урожайности озимой пшеницы рассматриваются различные способы прогнозирования.

Исключение перебоев на рынке продовольствия предполагает заблаговременный прогноз неурожайных лет и своевременное решение трёх основных задач:

- 1) создание страховых фондов зерна;
- 2) возможность ввоза сельскохозяйственной продукции в исключительно неблагоприятные по погодным условиям годы;
- 3) добрососедские отношения с Российской Федерацией, являющейся крупным производителем зерна.

В годы с высокой урожайностью предполагается решение следующих вопросов:

- 1) обеспечение в полном объёме топливом и нефтепродуктами уборочной техники и транспортных средств сельскохозяйственных товаропроизводителей;
- 2) подготовка площадей и сооружений для хранения зерна;
- 3) создание условий для переработки и реализации убранного урожая.

Для повышения надёжности прогноза урожайности озимой пшеницы и других культур предпочтительно использовать различные методы прогнозирования.

4.1 Методы прогнозирования урожайности на основании временного ряда с 1945 по 2013 год

Наиболее простым способом прогнозирования урожайности является предсказывание урожайности по трендовой линии – элементе анализа для выявления тенденций изменения тестовых величин. Линия тренда представляет собой геометрическое отображение средних значений анализируемых показателей, полученное с помощью математической функции.

При рассмотрении динамики урожайности зерновых культур (озимой пшеницы, кукурузы) и подсолнечника на рисунке 23 (анализ тренда) с 1945 по 2013 г. легко предположить, что урожайность зерновых культур постоянно повышается – нижнее значение линии тренда 12,0 ц/га (1945 год), верхнее значение – 26,0 ц/га (2014 год). Менее заметная тенденция повышения урожайности наблюдается по подсолнечнику, в 1945 г. – начало линии 9,8 ц/га, в 2013 г. – 15,0 ц/га.

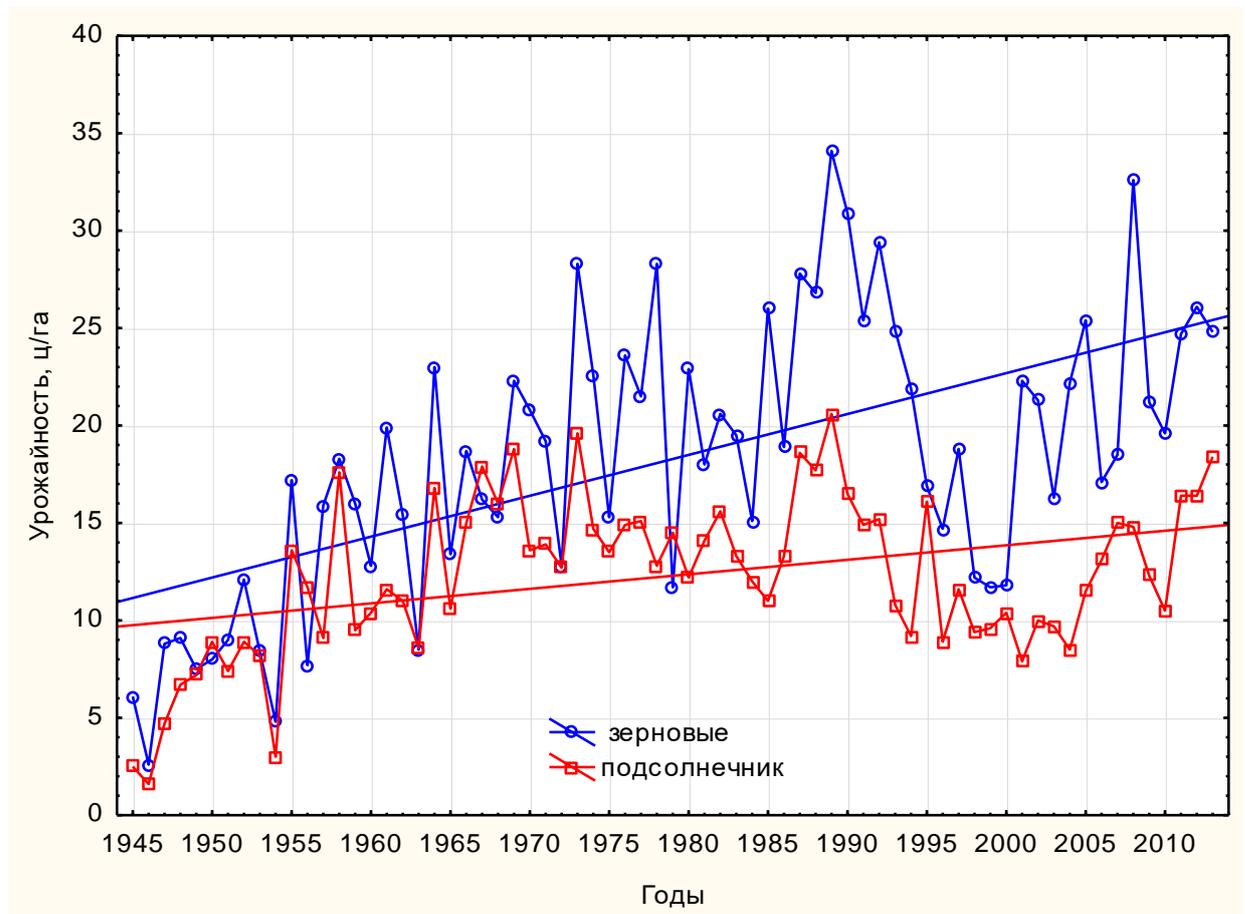


Рисунок 23 – Динамика урожайности зерновых культур и подсолнечника (1945–2013 гг.)

Для проверки первоначального предположения об использовании линии тренда в прогностических целях и выявления периодических изменений урожайности – разбили данные о продуктивности культур на пятилетки. В таблице 32 представлена средняя урожайность полевых культур по пятилеткам (исключение период с 2010 по 2013 г. – 4 года).

Таблица 32 – Средняя урожайность сельскохозяйственных культур по пятилеткам

№	Годы	Зерновые	Озимая пшеница	Кукуруза	Ячмень яровой	Горох	Подсолнечник
1	1945–1949	6,82	9,22	6,86	–	–	4,54
2	1950–1954	8,46	9,44	9,84	–	–	7,28
3	1955–1959	15,02	16,06	13,6	–	–	12,3
4	1960–1964	15,92	17,7	18,16	–	–	11,68
5	1965–1969	17,18	17,8	23,16	–	–	15,66
6	1970–1974	20,74	23,14	21,54	–	–	14,9
7	1975–1979	20,08	24,56	21,96	16,16	14,14	14,16
8	1980–1984	19,22	22,16	23,72	17,02	15,1	13,44
9	1985–1989	26,72	30,32	30,14	24,34	20,7	16,24
10	1990–1994	26,5	32,32	26,04	25,28	19,14	13,32
11	1995–1999	14,86	18,6	20,3	11,14	7,24	11,12
12	2000–2004	18,78	22,72	20,94	16,14	15,42	9,3
13	2005–2009	22,96	27,32	26,82	15,44	13,3	13,34
14	2010–2013	23,8	25,17	24,02	17,25	12,93	15,42
15	Прогноз на 2015–2019	19,5	22,6	21,8	–	–	12,7

Как следует из данных, приведённых в таблице 32, наблюдается рост средней урожайности по пятилеткам до 1985–1994 гг.:

- по зерновым – с 6,8 до 26,7 ц/га;
- по озимой пшенице – с 9,2 до 32,3 ц/га;
- по кукурузе – с 6,9 до 30,1 ц/га.

Наиболее высокой средняя урожайность подсолнечника была в 1985–1989 гг., по сравнению с первой пятилеткой она выросла с 4,5 до 16,2 ц/га. Средняя

урожайность по ячменю и гороху в период с 1985 по 1994 г. также была наиболее высокой: соответственно 25,3 и 20,7 ц/га (Рисунок 24).

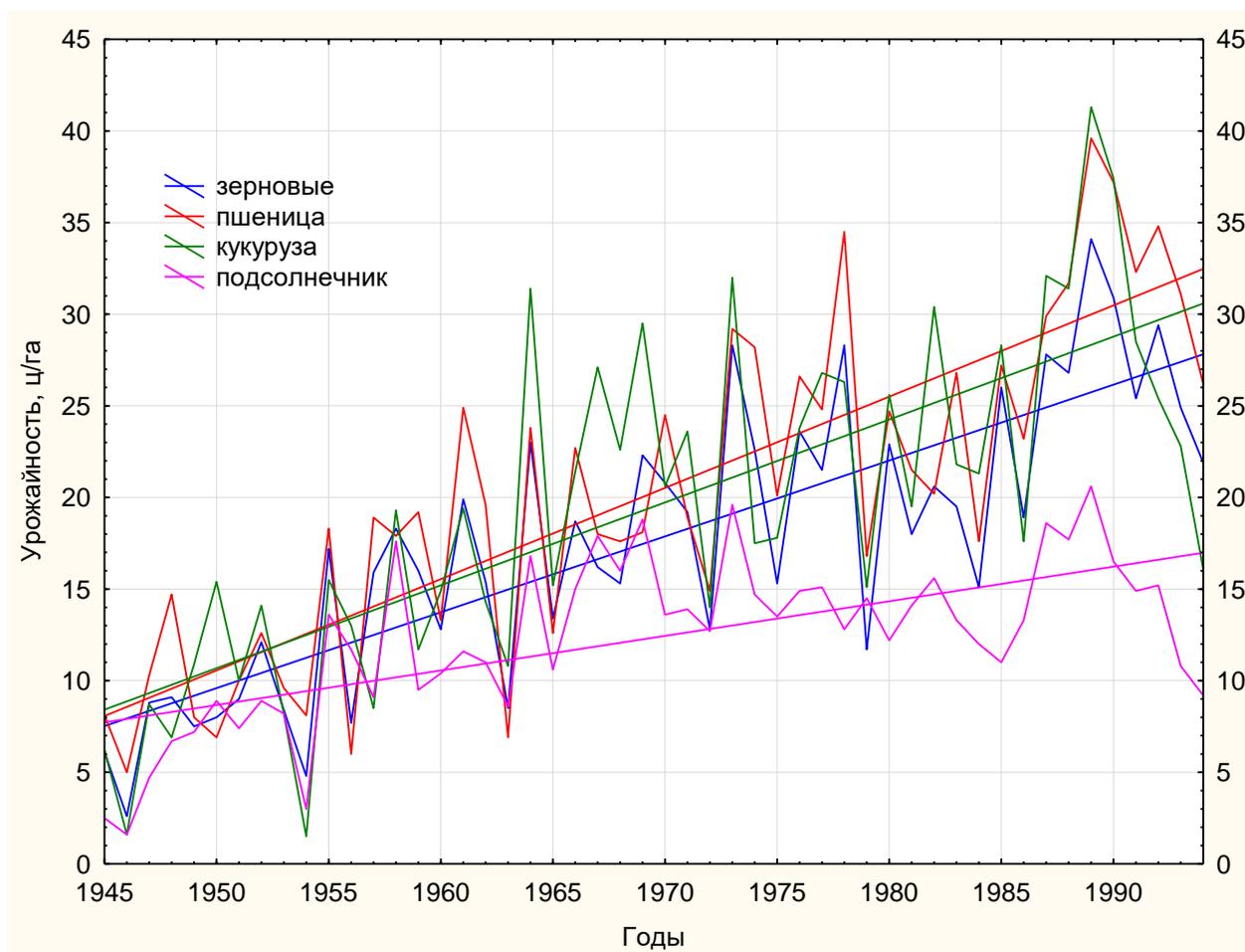


Рисунок 24 – Рост средней урожайности полевых культур (1945–1994 гг.)

Если учесть, что 1945 г. является нижней точкой периодических изменений урожайности, следует предположить, что рост урожайности основных сельскохозяйственных культур по годам продолжался около 45–50 лет (с 1945 по 1994 г.) (Таблица 32, Рисунок 24).

Основной причиной отмеченной изменчивости урожайности являются изменения условий внешней среды, а так как гидротермические факторы (температура воздуха и атмосферные осадки) относятся к лимитирующим факторам, изменение климата оказывает воздействие на уровень урожайности выращиваемых сельскохозяйственных культур на Донбассе.

По данным, представленным на рисунке 25, можно отметить незначительное снижение урожайности основных выращиваемых сельскохозяйственных культур

по пятилеткам, начиная с 1990–1994 гг. до 2013 г.

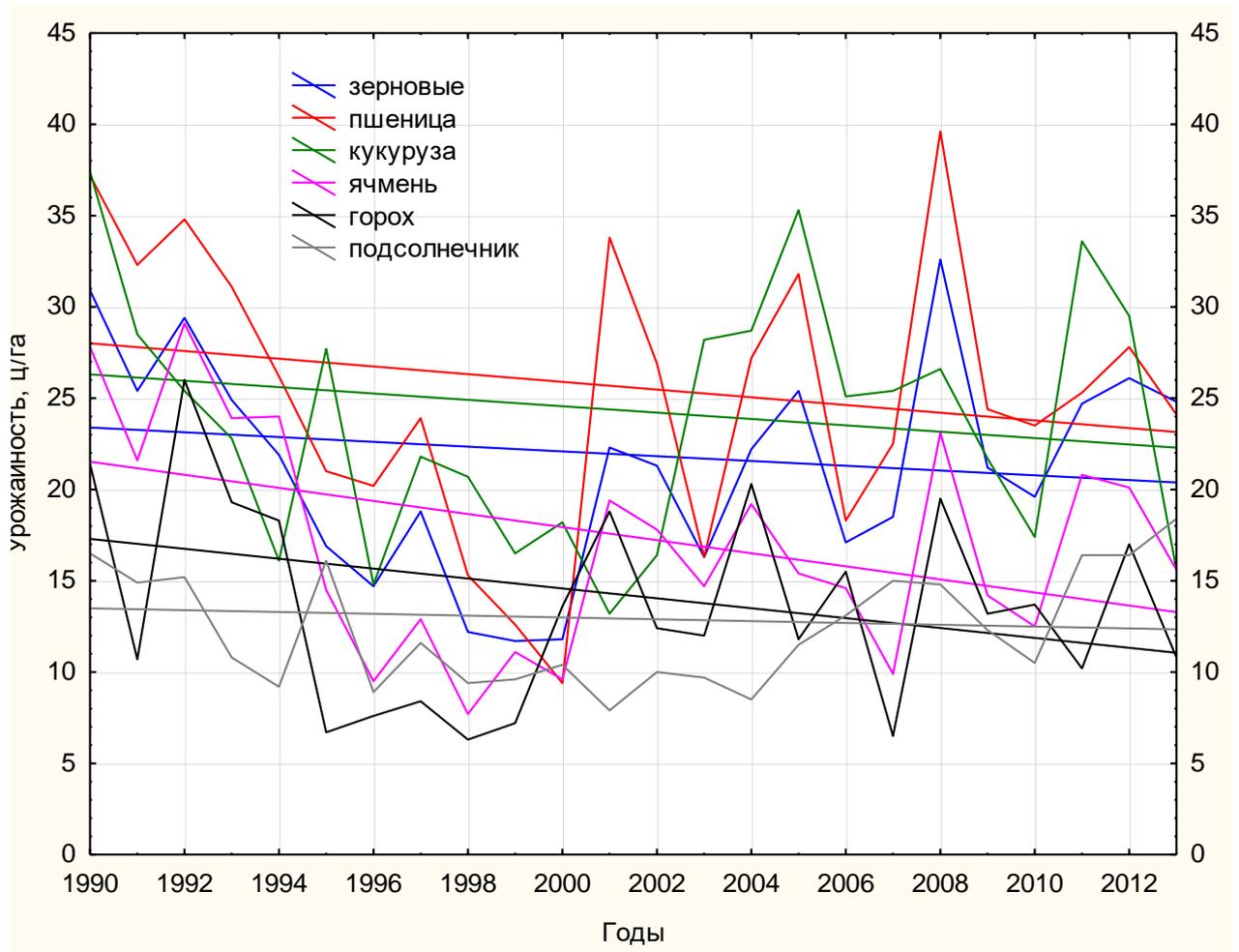


Рисунок 25 – Снижение урожайности основных выращиваемых сельскохозяйственных культур (1990–2013 гг.)

Отмечается следующее снижение урожайности:

- по озимой пшенице – с 32,2 до 25,2 ц/га;
- по зерновым – с 26,5 до 23,8 ц/га;
- по кукурузе – с 26,0 до 24,0 ц/га;
- по ячменю – с 25,3 ц/га до 17,2 ц/га;
- по гороху – с 19,1 до 12,9 ц/га.

Снижение продуктивности подсолнечника было менее заметным. Как отмечалось выше, рост урожайности происходил в течение 45–50 лет, следует предположить, что и снижение урожайности будет продолжаться тоже 45–50 лет. С 1994 до 2013 г. прошло только 19 лет, следовательно, предположение о тенденции изменения урожайности не может быть полноценно использовано для

прогноза в условиях степи, но будет обязательно учтено в последующих исследованиях.

Аналогичные изменения замечены в Европе и Великобритании, причиной замедления производства продовольствия, по мнению автора, является исчерпание лимитов физиологической урожайности основных выращиваемых сельскохозяйственных культур [33].

На наш взгляд, нельзя объяснять снижение урожайности отсутствием высокопродуктивных сортов и гибридов, упрощением или несоблюдением требований агротехники, игнорированием научно обоснованных рекомендаций чередования культур в севооборотах и др. Влияние человека (антропогенный фактор) всегда направлено на повышение продуктивности агроценозов и является, в определённой степени, постоянным. Тем не менее, урожайность сельскохозяйственных культур изменяется по годам и является косвенным показателем изменения климата. По долгосрочному прогнозу в Донбассе ожидается минимальное выпадение осадков в 20–30 гг. XXI столетия со сравнительно небольшими видами на урожай [152].

В системе STATISTICA математически обоснованы, реализованы и применяются следующие методы прогнозирования на основании временных рядов урожайности:

- экспоненциальное сглаживание;
- модели ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average), основанные на использовании авторегрессии и взвешенных скользящих средних;
- нейронные сети.

Следует отметить, что попытки прогнозирования урожайности с помощью нейронных сетей не увенчались успехом по причине недостатка количества наблюдений. В книге «Нейронные сети ...» [25] говорится следующее: «Для большинства реальных задач, как правило, достаточно нескольких сотен или тысяч наблюдений. Для особо сложных задач может потребоваться еще большее количество, однако очень редко может встретиться (даже тривиальная) задача, где хватило бы менее сотни наблюдений».

В таблице 33 представлены статистические данные урожайности озимой пшеницы в северной части Донецкого края за 69 лет (69 наблюдений) – с 1945 по 2013 г.

Таблица 33 – Урожайность озимой пшеницы, ц/га (1945–2013 гг.)

Годы	Урожайность	Годы	Урожайность	Годы	Урожайность
1945	8,1	1968	17,6	1991	32,3
1946	5,0	1969	18,1	1992	34,8
1947	10,3	1970	24,5	1993	31,1
1948	14,7	1971	18,9	1994	26,2
1949	8,0	1972	14,9	1995	21,0
1950	6,9	1973	29,2	1996	20,2
1951	10,0	1974	28,2	1997	23,9
1952	12,6	1975	20,1	1998	15,3
1953	9,6	1976	26,6	1999	12,6
1954	8,1	1977	24,8	2000	9,4
1955	18,3	1978	34,5	2001	33,8
1956	6,0	1979	16,8	2002	26,9
1957	18,9	1980	24,7	2003	16,3
1958	17,9	1981	21,5	2004	27,2
1959	19,2	1982	20,2	2005	31,8
1960	13,3	1983	26,8	2006	18,3
1961	24,9	1984	17,6	2007	22,5
1962	19,6	1985	27,2	2008	39,6
1963	6,9	1986	23,2	2009	24,3
1964	23,8	1987	29,9	2010	24,2
1965	12,6	1988	31,7	2011	25,9
1966	22,7	1989	39,6	2012	27,8
1967	18,0	1990	37,2	2013	24,1

На рисунке 26 представлены экспоненциально сглаженные ряды динамики количества осадков с апреля по сентябрь и урожайности озимой пшеницы. На фоне роста количества осадков за вегетационный период видна 84-летняя периодичность изменений урожайности. Динамика урожайности

пшеницы повторяет динамику количества осадков; между ними обнаружена значимая положительная корреляция – $r = 0,43^{***}$.

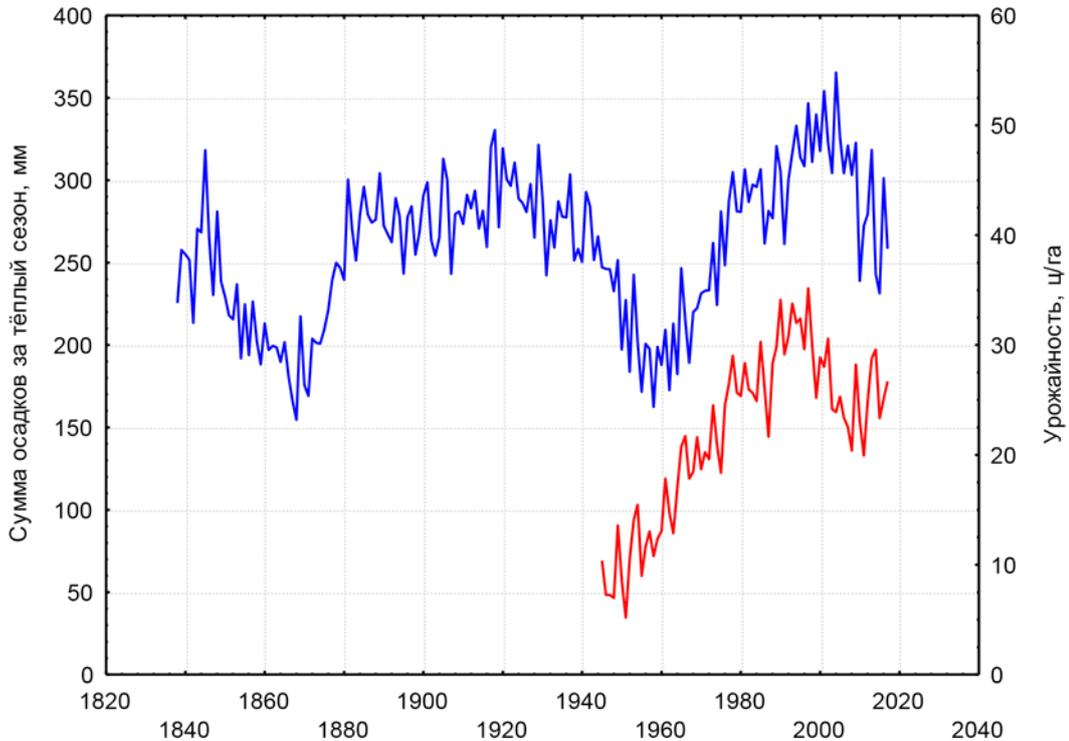


Рисунок 26 – Экспоненциально сглаженные временные ряды суммы осадков (вверху) и урожайности озимой пшеницы (внизу)

Метод «Экспоненциальное сглаживание» заключается в том, что исходный временной ряд сглаживается с некоторыми экспоненциальными весами, образуется новый ряд (с меньшим уровнем шума), поведение которого можно прогнозировать. Прогноз среднего уровня урожайности озимой пшеницы (за ряд лет 2014–2021 гг.) компенсирует случайные отклонения от тренда в обе стороны, и прогноз за ряд лет получается довольно точным. Результат прогнозирования по методу ARIMA представлен на рисунке 27.

Прогнозирование с использованием метода ARIMA (в русской транскрипции АРПСС – модель авторегрессии и проинтегрированного скользящего среднего) является более сложным методом, чем экспоненциальное сглаживание.

Многие временные ряды, наблюдаемые на практике, с приемлемой степенью точности могут быть отнесены к одному из следующих пяти классов

моделей [27]:

- модели с одним параметром авторегрессии ($p = 1, q = 0$);
- модели с двумя параметрами авторегрессии ($p = 2, q = 0$);
- модели с одним параметром скользящего среднего ($p = 0, q = 1$);
- модели с двумя параметрами скользящего среднего ($p = 0, q = 2$);
- модели с одним параметром авторегрессии и одним параметром скользящего среднего ($p = 1, q = 1$).

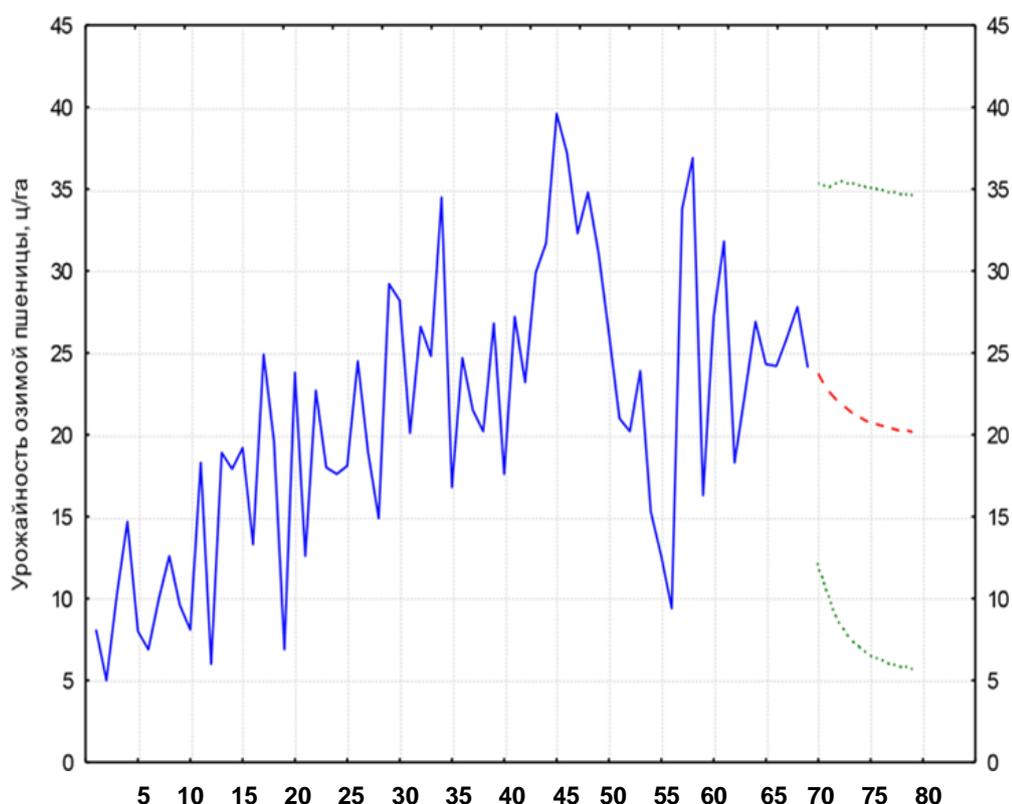


Рисунок 27 – Прогнозирование урожайности озимой пшеницы по авторегрессионной модели с двумя параметрами

Наиболее адекватной оказалась модель 2 – модель с двумя параметрами авторегрессии (Рисунок 27).

Использование метода прогноза «аналитическое сглаживание» позволило установить главные компоненты изменчивости урожайности:

1) изменение среднего уровня урожайности, описываемое квадратичной параболой;

- 2) циклические изменения с периодами 16 лет;
- 3) случайные изменения, т.е. отклонения итоговой функции от наблюдаемых значений.

Результаты аналитического сглаживания и прогнозирования урожайности озимой пшеницы достаточно наглядно иллюстрируют данные, представленные на рисунке 28.

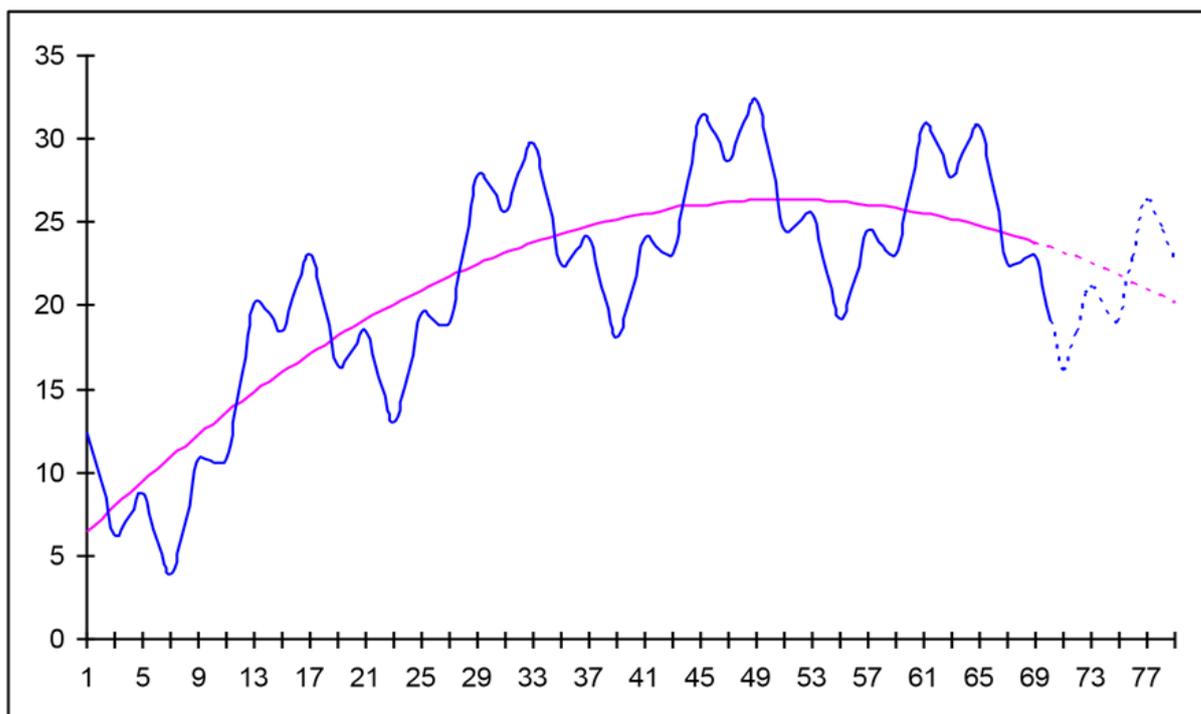


Рисунок 28 – Сглаживание временного ряда квадратичной параболой и периодической функцией (сплошная линия – область интерполяции, прерывистая линия – область экстраполяции)

Необходимо отметить, что при использовании экспоненциального сглаживания, методов ARIMA и аналитического сглаживания требуется лишь временной ряд, представленный в таблице 33. Результаты прогнозирования различными методами представлены в таблице 34.

Наиболее вариабельным является метод прогноза «аналитическое сглаживание», в соответствии с которым пределы изменчивости варьируют от 16,1 до 26,2 ц/га за 8 лет прогноза. Менее вариабельными методами являются методы «экспоненциальное сглаживание» и «авторегрессионная функция»:

изменчивость урожайности озимой пшеницы варьирует соответственно от 23,2 до 29,6 ц/га и от 20,4 до 23,7 ц/га.

Средняя фактическая урожайность за 69 лет наблюдений составила 21,1 ц/га. В 2021 г. прогнозная урожайность по третьему методу получена ниже средней многолетней на 0,7 ц/га, по первому и второму – выше соответственно на 6,1 и 5,1 ц/га.

Таблица 34 – Прогнозные значения урожайности озимой пшеницы, полученные различными методами, ц/га

№	Метод прогноза	Годы							
		2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
1	Экспоненциальное сглаживание	29,6	23,3	25,1	26,7	23,2	23,6	23,4	27,2
2	Аналитическое сглаживание (4-х летний цикл)	19,1	16,1	18,3	21	19,7	18,9	22,8	26,2
3	Авторегрессионная функция с двумя параметрами	23,7	22,6	22,0	21,5	21,1	20,8	20,6	20,4

Высокие показатели зависимости агрофитоценозов степи от исследованных факторов внешней среды позволяют применять алгоритм многофакторной регрессионной модели в области экстраполяции для расчёта прогнозных значений урожайности.

В данном контексте возникает вопрос, пригодны ли полученные уравнения множественной регрессии для нахождения расчётных (прогнозных) оценок в областях экстраполяции, после исследованных в диссертационной работе лет. Строго говоря, лишь при соблюдении «статус-кво».

Иначе говоря, в том случае, если до исследованных лет не происходило, а после 2013 г. не будет происходить ничего такого, что может существенно изменить установленные при математическом моделировании закономерности связей урожайности со структурными элементами климатопа (агроклиматическими факторами – температура воздуха и атмосферные осадки).

Погодные условия в Донбассе (начиная с 2014 г.) нарушили установленные ранее закономерности.

Большие объёмы выборок («обучающих совокупностей») в наших исследованиях, в которые попали и такие необычные по комплексу погодных факторов годы как 1946, 1963, 1989, 1990, 2000, позволяют надеяться, что в ближайшем будущем не будет таких сочетаний этих факторов, которые могут существенно изменять установленные при математическом моделировании закономерности. Однако полной уверенности в этом нет.

Попытка использования приведённых в настоящей работе уравнений множественной регрессии, описывающих зависимость продуктивности культурных фитоценозов от климатических факторов (среднемесячной температуры и количества осадков), в качестве прогностических моделей встречается с определёнными затруднениями.

Подтвердим сказанное на примере озимой пшеницы. Желательно, чтобы прогноз урожайности на следующий год был готов к началу её посева, то есть в северной части Донецкого края в первых числах сентября. В этом случае прогноз может быть положен в основу корректировки структуры посевных площадей, выбора сортов, а также своевременного принятия управленческих решений.

Однако ко времени начала сева озимой пшеницы фактические данные о температуре и осадках будут известны лишь за 12 месяцев первого года вегетации (август-июль). Иначе говоря, будут известны лишь значения 24 независимых переменных из 48. Вместо фактических значений остальных переменных придётся использовать данные долгосрочных метеопрогнозов.

По этому вопросу необходимо провести дополнительно комплекс специальных исследований. В общем, разработка прогнозов урожайности предполагает проведение дополнительных масштабных исследований в двух направлениях:

- 1) выявление и применение закономерностей динамики урожайности;
- 2) прогнозирование показателей осадков и температуры.

4.2 Среднесрочное прогнозирование урожайности озимой пшеницы на основании временного ряда с 1945 по 2019 год

Временным рядом (рядом динамики, динамическим рядом) называется упорядоченная во времени последовательность наблюдений, значений показателя (признака).

Всякий ряд динамики включает два обязательных элемента: уровни ряда – числовые значения того или иного статистического показателя и время, выраженное моментами или периодами, к которым относятся уровни. В качестве показателя времени в рядах динамики могут указываться либо определённые моменты времени (даты), либо отдельные периоды (сутки, месяцы, кварталы, полугодия, годы и т.д.).

Под прогнозом понимается научно обоснованное описание возможных состояний объектов в будущем, а также альтернативных путей и сроков достижения этого состояния. Время (период) упреждения прогноза – отрезок времени от момента, для которого имеются последние статистические данные об изучаемом объекте, до момента, к которому относится прогноз.

По времени упреждения прогнозы делятся на:

- оперативные (с периодом упреждения до одного месяца);
- краткосрочные (период упреждения – от одного, нескольких месяцев до года);
- среднесрочные (период упреждения более 1 года, но не превышает 5 лет);
- долгосрочные (с периодом упреждения более 5 лет).

Для применения разработанной модели в области экстраполяции (прогноза) в основную модель (1945–2013 гг.) добавили данные об урожайности озимой пшеницы с 2014 по 2019 г. с временно неподконтрольной ЛНР части Луганской области (большинство сельскохозяйственных угодий области расположены именно там) и не учитывали данные об урожайности ЛНР, которые значительно ниже (Таблица 35). Таким образом, мы осознаем нарушение принципа «статус-кво», существовавшего на нашей территории до 2014 г. и преследуем одну цель – показать алгоритм использования разработанной регрессионной модели для целей

прогнозирования.

Таблица 35 – Урожайность озимой пшеницы, ц/га (1945–2019 гг.)

Годы	Урожайность	Годы	Урожайность	Годы	Урожайность
1945	8,1	1970	24,5	1995	21,0
1946	5,0	1971	18,9	1996	20,2
1947	10,3	1972	14,9	1997	23,9
1948	14,7	1973	29,2	1998	15,3
1949	8,0	1974	28,2	1999	12,6
1950	6,9	1975	20,1	2000	9,4
1951	10,0	1976	26,6	2001	33,8
1952	12,6	1977	24,8	2002	26,9
1953	9,6	1978	34,5	2003	16,3
1954	8,1	1979	16,8	2004	27,2
1955	18,3	1980	24,7	2005	31,8
1956	6,0	1981	21,5	2006	18,3
1957	18,9	1982	20,2	2007	22,5
1958	17,9	1983	26,8	2008	39,6
1959	19,2	1984	17,6	2009	24,3
1960	13,3	1985	27,2	2010	24,2
1961	24,9	1986	23,2	2011	25,9
1962	19,6	1987	29,9	2012	27,8
1963	6,9	1988	31,7	2013	24,1
1964	23,8	1989	39,6	2014	36,3
1965	12,6	1990	37,2	2015	26,7
1966	22,7	1991	32,3	2016	35,8
1967	18,0	1992	34,8	2017	38,8
1968	17,6	1993	31,1	2018	29,3
1969	18,1	1994	26,2	2019	36,2

На рисунке 29 представлено прогнозирование урожайности озимой пшеницы методом сглаживания временного ряда с добавлением линейного тренда и сезона в 7 лет. По данному прогнозу в 2020–2021 гг. урожайность озимой пшеницы составит соответственно 29,8 и 28,9 ц/га (см. Приложение В, Таблица 12).

В своем большинстве термины и программы математического анализа предназначены для экономических исследований, установка сезона ограничивается цифрой 12 (12 месяцев), поэтому приходится адаптировать их для

целей собственного исследования.

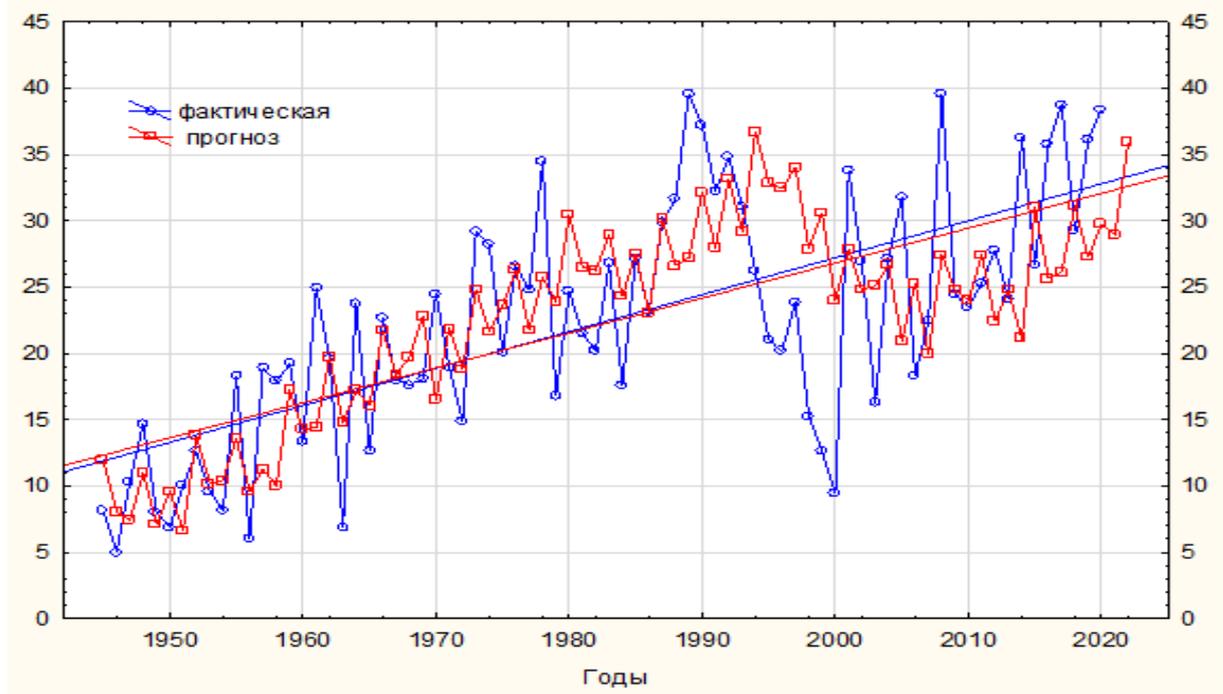


Рисунок 29 – Фактическая и прогнозная урожайность с добавлением сезона в 7 лет (1945–2021 гг.)

На рисунке 30 представлена динамика фактической урожайности и прогнозных значений урожайности озимой пшеницы на 2020–2021 гг., рассчитанная по методу экспоненциального сглаживания с затухающим трендом и добавлением сезона в 7 лет (см. Приложение В, Таблица 13).

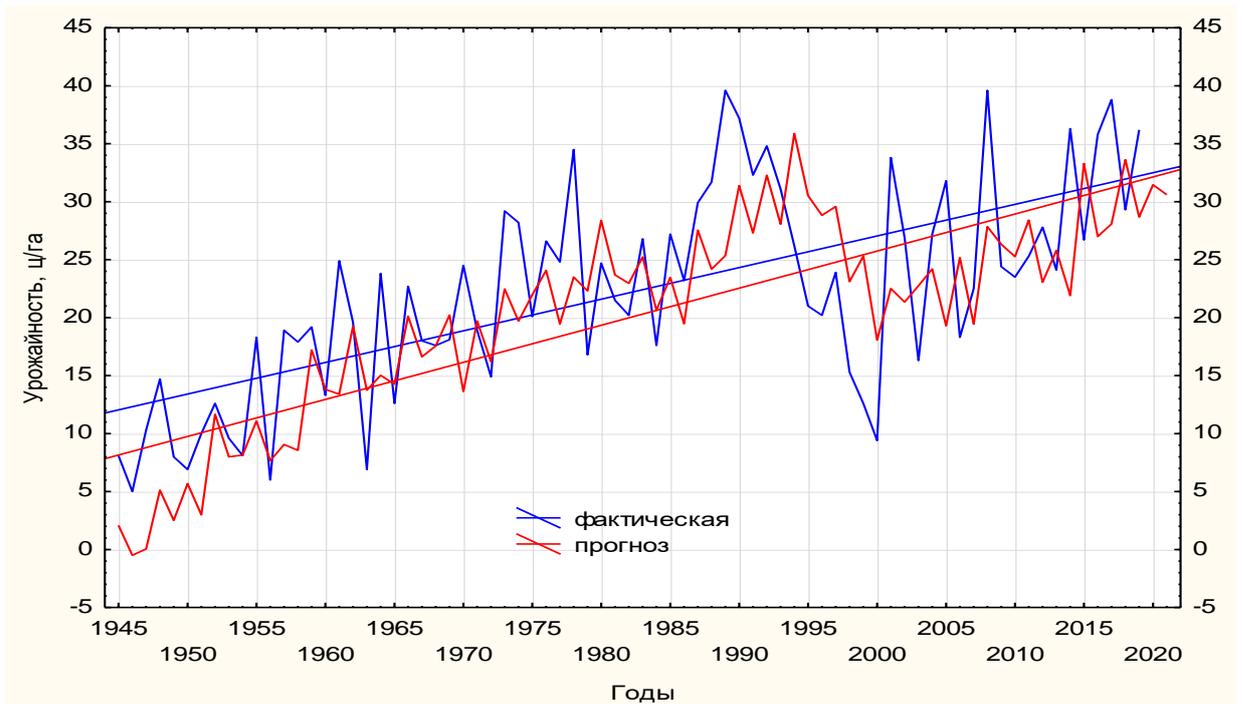


Рисунок 30 – Фактические данные и прогнозные значения

урожайности озимой пшеницы(1945–2021 гг.)

Прогнозная урожайность озимой пшеницы в степных условиях Донбасса на 2020 г. была определена на уровне 31,4 ц/га, на 2021 г. – немного ниже – на уровне 30,6 ц/га; эти значения, рассчитанные по предложенному методу, на 10,3 и 9,5 ц/га превышали среднемноголетние показатель урожайности озимой пшеницы, равный 21,1 ц/га.

4.3 Применение экологически обоснованной регрессионной модели с возможностью экстраполяции для прогнозирования урожайности озимой пшеницы

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 (2014–2019 гг.).

Для прогноза урожайности озимой пшеницы в 2021 г. по предложенной 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) – всего 26 значений независимых переменных. Неизвестные значения осадков и температуры воздуха с сентября 2020 г. по июль 2021 г. прогнозировали в системе STATISTICA, используя огромную базу данных о климате (сумме осадков и температуре воздуха) с 1838 по 2020 г.

Сложность применения экологически обоснованной регрессионной модели заключается в необходимости ежегодного добавления независимых переменных, изменения независимого члена и коэффициентов множественной корреляции, расчёта прогнозных значений недостающих независимых переменных, выполнения

большого объёма вычислений, а также в невозможности одновременного вычисления прогнозных значений урожайности на несколько лет вперёд.

В таблице 36 представлены:

- коэффициенты множественной корреляции (a_1 – a_{48});
- эмпирические и прогнозные значения температуры атмосферного воздуха (x_1 – x_{24}) и осадков (x_{25} – x_{48});
- результаты умножения коэффициентов корреляции на соответствующие значения независимых переменных. Далее эти результаты суммируются и добавляются к независимому члену уравнения регрессии.

Таблица 36 – 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	39,38227*	5,29927825
15	0,60612	9,227356*	5,59288502	39	-0,04183	39,86849*	-1,66769894
16	-0,62999	3,465471*	-2,18321208	40	0,03539	28,10364*	0,99458782
17	0,45563	-0,58834*	-0,268065354	41	-0,05706	42,23659*	-2,41001983
18	0,16126	-3,7886*	-0,610949636	42	0,09829	42,36486*	4,16404209
19	-0,14628	-2,3425*	0,3426609	43	0,03498	30,43082*	1,06447008
20	0,74732	3,13757*	2,34476881	44	0,01829	37,99491*	0,694926904
21	0,23290	10,69823*	2,49161777	45	0,03723	42,83452*	1,59472918
22	0,39629	17,4830*	6,92833807	46	0,12829	47,7788*	6,12954225
23	-0,00336	21,59578*	-0,072561820	47	0,04894	52,4512*	2,56696173
24	-0,35167	23,98194*	-8,43372884	48	0,03025	54,43519*	1,6466645
Сумма результатов умножения							33,1543913

Примечание: * – прогнозные значения температуры воздуха и осадков.

Уравнение множественной регрессии для вычисления прогнозных значений в 2021 г. имеет вид:

$$y_{2021} = (-6,22768) + (-0,14983) \times 20,3^{\circ}\text{C} + \dots + 0,03025 \times 54,43519^* \text{ мм.}$$

Прогнозная урожайность озимой пшеницы в 2021 г.:

$$y_{2021} = (-6,22768) + 33,1543913 = 26,9267113 = 26,9 \text{ ц/га.}$$

На основании разработанной регрессионной модели для 2021 года урожайность озимой пшеницы составила 26,9 ц/га, а фактическая урожайность составила 31,8 ц/га. Точность прогноза – 84 %.

Наиболее высокая прогнозная урожайность озимой пшеницы в 2021 г. получена на основании метода «экспоненциальное сглаживание временного ряда с затухающим трендом» – 30,6 ц/га, средняя урожайность – методом «сглаживание временного ряда с добавлением линейного тренда» – 28,9 ц/га. Прогнозная урожайность на основании регрессионной модели составила 26,9 ц/га (Таблица 37).

Таблица 37 – Сводная таблица результатов прогнозирования урожайности озимой пшеницы, ц/га

№	Метод прогнозирования	Прогноз на 2021 г.
1	Сглаживание временного ряда с добавлением линейного тренда и сезона в семь лет	28,9
2	Экспоненциальное сглаживание временного ряда с затухающим трендом и добавлением сезона в семь лет	30,6
3	Применение регрессионной модели в области экстраполяции	26,9

Средняя урожайность озимой пшеницы за выбранный период исследований (1945–2013 гг.) составила 21,1 ц/га. В 2021 г. урожайность прогнозировалась на 5,8–9,5 ц/га выше средней многолетней.

Выводы к главе 4

1. Наблюдается рост средней урожайности агроценозов по пятилеткам до 1985–1994 гг. Наиболее высокой средняя урожайность подсолнечника была в 1985–1989 гг., по сравнению с первой пятилеткой она выросла от 4,5 до 16,2 ц/га.

Средняя урожайность по ячменю и гороху в период с 1985 по 1994 г. также была наиболее высокой – соответственно 25,3 и 20,7 ц/га.

2. Отмечается снижение урожайности полевых культур по пятилеткам, начиная с 1990–1994 гг. до 2013 г. (на основании анализа трендовой линии). Снижение продуктивности подсолнечника не такое заметное.

3. Рассчитана средняя прогнозная урожайность основных сельскохозяйственных культур на пятилетку (с 2015 по 2019 г.):

- для зерновых культур – 19,5 ц/га;
- для озимой пшеницы – 22,6 ц/га;
- для кукурузы – 21,8 ц/га;
- для подсолнечника – 12,7 ц/га.

4. Выполнено прогнозирование урожайности озимой пшеницы различными методами на основании временного ряда урожайности с 1945 по 2013 г., расчетная урожайность в 2021 г. составит от 20,4 («авторегрессионная функция с двумя параметрами») до 27,2 ц/га («экспоненциальное сглаживание»).

5. Прогнозная урожайность озимой пшеницы (на основании временного ряда с 1945 по 2019 г.) в 2021 г.:

- в соответствии с методом «экспоненциальное сглаживание временного ряда с затухающим трендом» – 30,6 ц/га;
- в соответствии с методом «сглаживание временного ряда с добавлением линейного тренда» – 28,9 ц/га.
- на основании экологически обоснованной регрессионной модели – 26,9 ц/га.

5 СВЯЗЬ ПРОДУКТИВНОСТИ АГРОФИТОЦЕНОЗОВ С ГИДРОТЕРМИЧЕСКИМИ ФАКТОРАМИ В УНПАК ЛГАУ

5.1 Обоснование зависимости запасов продуктивной влаги и температуры почвы от атмосферных осадков и температуры воздуха

Для экспериментального обоснования связи атмосферных осадков и температуры с запасами продуктивной влаги и температурой почвы проводили наблюдения в посевах озимой пшеницы на территории учебно-научно-производственного аграрного комплекса (УНПАК) «Колос» Луганского государственного аграрного университета. В степных условиях перезимовки озимой пшеницы включили в исследования изучение температурного режима января – наиболее холодного месяца (Рисунок 31).

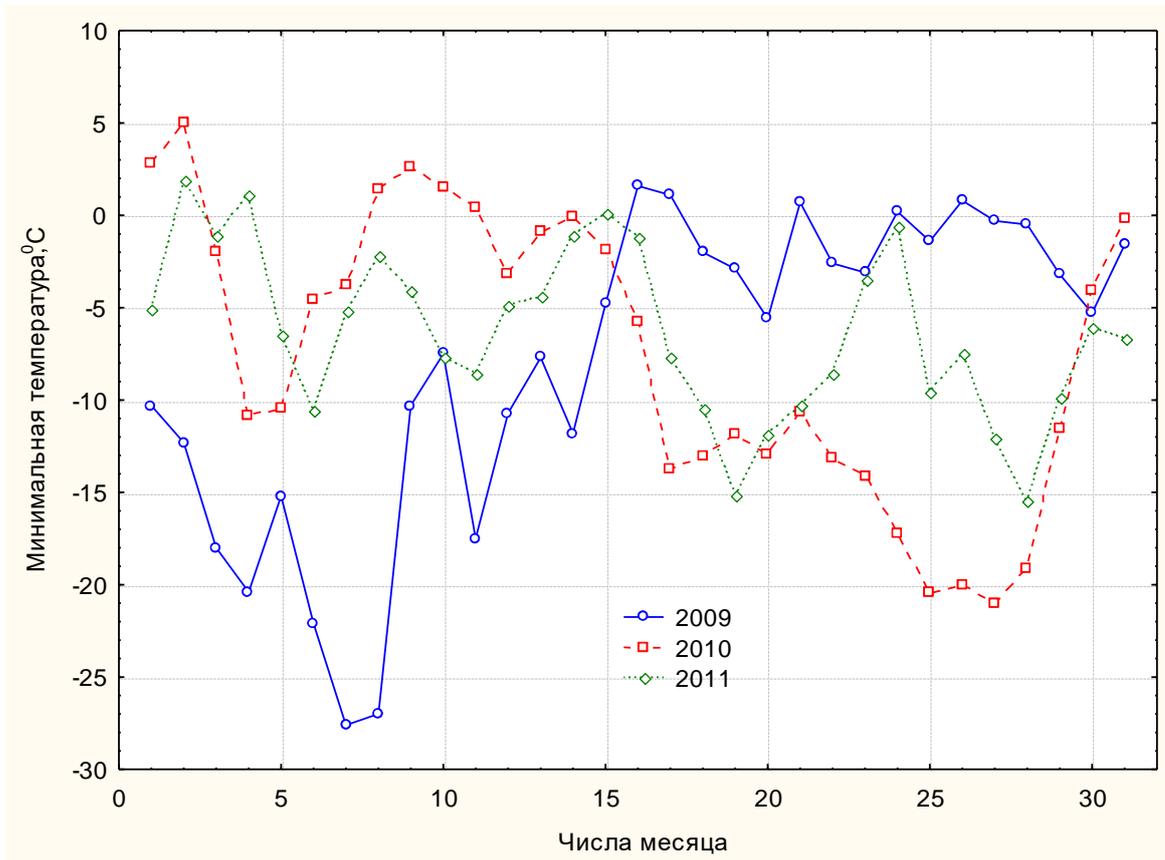


Рисунок 31 – Изменчивость минимальной температуры воздуха в январе (2009–2011 гг.)

Самые суровые условия перезимовки озимой пшеницы отмечены в январе 2009 г., температура воздуха опускалась до минус 27,6°C. Среднее значение минимальной январской температуры воздуха в 2009 г. – минус 8°C (от -27,6°C

7-го января до +1,6°C 19-го января); в 2010 г. – минус 10,8°C (от –26,7°C 27-го января до +1,0°C 9-го января); в 2011 г. – минус 9,9°C (от –20,5°C 28-го января до –0,5°C 4-го января) (Рисунок 31).

Принимая во внимание то, что в полевых условиях сложно контролировать погодные факторы, а, значит, на соответствующем уровне провести полноценный полевой опыт (с контрольным вариантом, необходимым числом повторностей и т.д.), были учтены значения температуры воздуха и почвы, количества выпавших осадков и запасов продуктивной влаги в почве за отдельные месяцы. Методом парного корреляционного анализа были установлены связи между переменными.

В течение трёх лет исследований наблюдалась положительная корреляция между температурой атмосферного воздуха и температурой почвы в январе как на поверхности, так и на глубине от 5 до 40 см, так как понижение температуры воздуха сопровождалось снижением температуры почвы (Таблица 38).

Таблица 38 – Зависимость температуры почвы (t) от температуры атмосферного воздуха в январе

Годы	Значения коэффициентов корреляции						
	t на поверхности почвы		t на глубине 5 см	t на глубине 10 см	t на глубине 15 см	t на глубине 20 см	t на глубине 40 см
	макс.	мин.					
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 5 см (глубина расположения узлов кущения озимой пшеницы) между температурой воздуха и почвы была установлена максимально значимая положительная коррелятивная связь – $r = 0,60–0,76***$.

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. Установлено уменьшение коррелятивных связей на глубине: чем больше глубина, тем меньше связь температуры атмосферного воздуха с температурой почвы (Таблица 38).

В главе 3 отмечалось существенное влияние на урожайность озимой пшеницы погодных условий июня. В 2009 г. максимальная температура атмосферного воздуха изменялась от $+20,6^{\circ}\text{C}$ 18-го июня до $+37,4^{\circ}\text{C}$ 26-го июня, в 2010 г. – от $+23,2^{\circ}\text{C}$ 18-го июня до $+35,7^{\circ}\text{C}$ 13-го июня и от $+21,1^{\circ}\text{C}$ 27-го июня до $+33,0^{\circ}\text{C}$ 1-го июня (Рисунок 32).

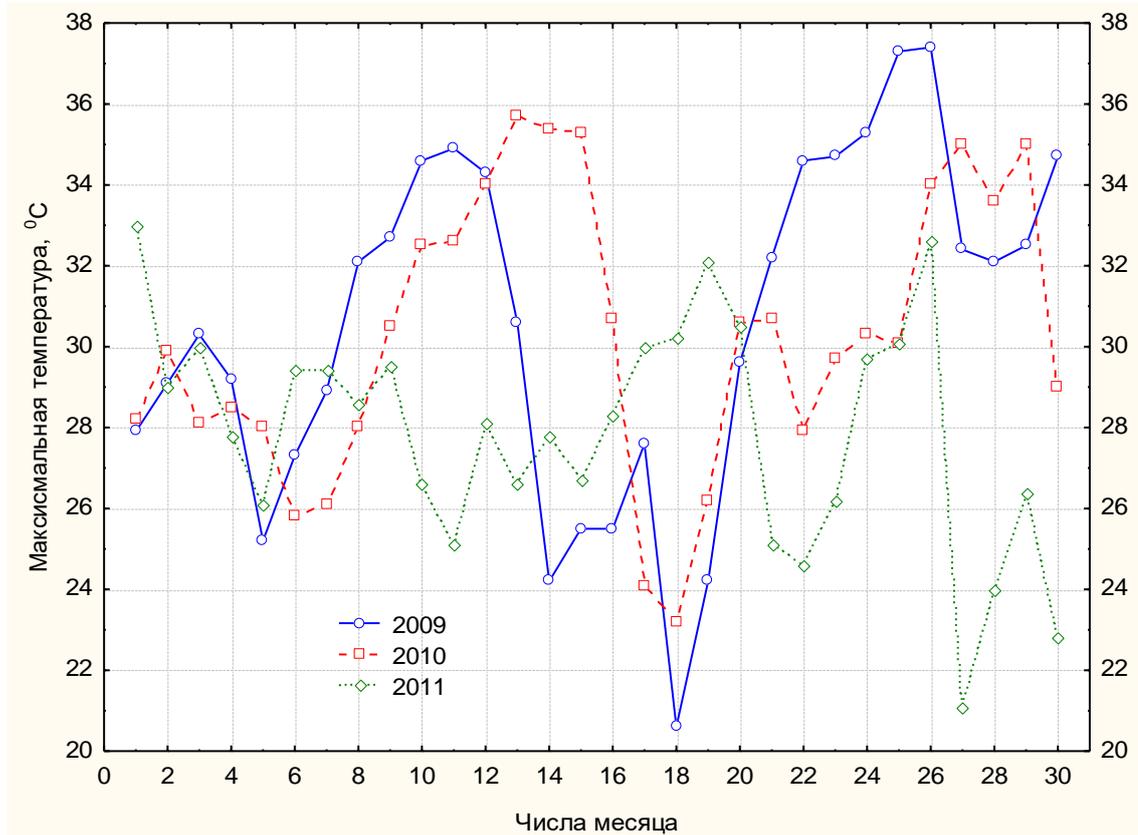


Рисунок 32 – Изменчивость максимальной температуры в июне (2009–2011 гг.)

Как уже упоминалось выше (глава 3), на урожайность полевых культур, в том числе и на урожайность озимой пшеницы, влияет целый комплекс факторов. Индивидуализировать влияние отдельного значения температуры довольно сложно, поэтому построили математическую модель (глава 3) зависимости продуктивности полевых культур от климатических факторов, а именно факторов первого порядка (осадки и температура), которые воздействуют на факторы второго порядка (температуру почвы и др.), оказывающие непосредственное влияние на изучаемый признак.

В таблицах 39 и 40 приведены коэффициенты парной корреляции между температурой почвы на разных глубинах и среднесуточной температурой воздуха в мае и июне.

Таблица 39 – Зависимость температуры почвы (t) от 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 40 – Зависимость температуры почвы (t) от 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 анализируемых показателей на глубине 5, 10, 15 и 20 см, на глубине 40 см связь незначима. Учитывая тот факт, что температура почвы в январе, мае и июне достоверно связана с температурой атмосферного воздуха (Таблицы 38, 39, 40), выбранная регрессионная модель (глава 3) косвенно учитывает и этот фактор.

Добавление в модель дополнительных значений температуры воздуха по декадам (или дням), по нашему мнению, привело бы к увеличению коэффициентов множественной регрессии и детерминации вместе с повышением уровня значимости. Важно, что требования, предъявляемые к математическим моделям, не позволяют использовать количество независимых переменных, превышающее количество лет наблюдений.

Под урожай озимой пшеницы в 2009 г. (с 1-го сентября 2008 г. по 10-е июля 2009 г.) выпало 311,9 мм осадков, под урожай 2010 г. – 545,4 мм, в 2011 г. – 567,5 мм (Таблица 41). Для оценки наличия связи между количеством выпавших осадков и запасами продуктивной влаги в почве территории учебно-научно-производственного аграрного комплекса «Колос» ЛГАУ был проведён множественный корреляционный анализ.

В таблице 41 представлено распределение запасов продуктивной влаги в почве производственных посевов озимой пшеницы сорта Дриада 1 в УНПАК «Колос» ЛГАУ в июне месяце в зависимости от количества атмосферных осадков за 2009–2011 гг.

Таблица 41 – Запасы продуктивной влаги в производственных посевах озимой пшеницы сорта Дриада 1 в июне в УНПАК «Колос» ЛГАУ

Годы	Количество осадков за вегетационный период, мм	Декады	Количество осадков по декадам, мм	Продуктивная влага в слое почвы, 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** ($p < 0,01$), в слое 0–50 см – 0,75* ($p < 0,05$).

С увеличением глубины почвы сила связи между изучаемыми показателями уменьшается, и в слое 0–100 см коэффициент корреляции оказывается незначимым. В данном случае уменьшение зависимости на глубине до 1 м скорее свидетельствует о том, что коррелятивная связь не доказана, чем об отсутствии связи вообще.

Аналогичные исследования были проведены в производственных посевах озимой пшеницы сорта Одесская 267 в УНПАК «Колос» ЛГАУ (Таблица 42).

Таблица 42 – Запасы продуктивной влаги в производственных посевах озимой пшеницы сорта Одесская 267 в июне в УНПАК «Колос» ЛГАУ

Годы	Количество осадков за вегетационный период, мм	Декады	Количество осадков по декадам, мм	Продуктивная влага в слое почвы, мм		
				0–20 см	0–50 см	0–100 см
2009	311,9	1	1,7	6	27	48
		2	8,1	8	17	39
		3	0,0	3	9	28
2010	545,4	1	0,0	25	53	119
		2	9,2	19	50	96
		3	11,2	27	56	98
2011	567,5	1	3,1	10	31	75
		2	20,1	43	71	151
		3	127,9	54	92	173
Значения коэффициентов корреляции между количеством осадков по декадам и продуктивной влагой в почве				0,77*	0,73*	0,68*

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

Установлена достоверная связь между количеством выпавших осадков по декадам и запасами продуктивной влаги в почве на глубине до 100 см; коэффициенты корреляции: в слое 0–20 см – 0,77* ($p < 0,05$), в слое 0–50 см – 0,73* ($p < 0,05$), в слое 0–100 см – 0,68* ($p < 0,05$).

Итак, выпадение осадков достоверно связано с запасами продуктивной влаги в почве, а почвенная влага, безусловно, оказывает влияние на продуктивность сельскохозяйственных культур. В нашей многофакторной регрессионной модели косвенно учтён и этот фактор (глава 3).

Экспериментальные исследования по озимой пшенице в УНПАК «Колос» подтверждают выводы, базирующиеся на изучении связи урожайности ряда полевых культур в Донбассе с важнейшими климатическими факторами.

Дополнительно на полях озимой пшеницы в УНПАК ЛГАУ «Колос» были проведены измерения таких параметров среды как скорость ветра, освещённость, влажность воздуха и высота снежного покрова. Между тем интерпретировать влияние этих факторов по данным трёх лет оказалось затруднительно.

В целом можно сказать, что все абиотические факторы среды, так или иначе, оказывают воздействие на рост и развитие растений. Лимитирующими факторами продуктивности полевых культур в северной части Донецкого края являются атмосферные осадки и температура воздуха.

5.2 Динамика урожайности озимой пшеницы сортов интенсивного и пластичного типа

В 2009–2011 гг. на площади 70 га высевались сорта озимой пшеницы интенсивного типа Антоновка и Дриада 1 (элита), на площади 40 га – пластичный сорт Селянка (первая репродукция), на площади 590 га – высокопластичный сорт Одесская 267 (элита и первая репродукция).

Урожайность озимой пшеницы в аграрном комплексе «Колос» в 2010 г. сравнивалась с плановой урожайностью в хозяйстве – 30 ц/га. В 2009 г. этот показатель составлял 23,9 ц/га, а в 2011 г. – 21,4 ц/га, что соответственно на 6,1 и 8,6 ц/га ниже планируемого уровня урожайности (Таблица 43).

Таблица 43 – Урожайность различных сортов озимой пшеницы в УНПАК «Колос» ЛГАУ (2009–2011 гг.)

Культура, сорт	2009 г.		2010 г.		2011 г.	
	факт	+/-	факт	+/-	факт	+/-
Озимая пшеница	23,9	-6,1	30,0	0,0	21,4	-8,6
Антоновка	20,1	-9,9	32,7	+2,7	17,8	-12,2
Дриада 1	20,5	-9,5	31,9	+1,9	16,9	-13,1
Селянка	23,6	-6,4	30,7	+0,7	22,7	-7,3
Одесская 267	24,3	-5,7	29,7	-0,3	21,8	-8,2

Продуктивность тестовой культуры в определённой степени является показателем (критерием) соответствия суммарного влияния всех факторов требованиям этой культуры. При рассмотрении урожайности озимой пшеницы заметны различия этого показателя между сортами интенсивного и пластичного типа.

Так, в 2009 г. недобор урожая у сортов интенсивного типа Антоновка и Дрида 1 составил соответственно 9,9 и 9,5 ц/га, так как в этом году за вегетационный период выпало всего 311,9 мм осадков (Таблицы 41, 42). Таким же неблагоприятным для этого типа сортов был и 2011 г. – недобор урожая составил соответственно 12,2 и 13,1 ц/га, при этом осадков выпало 567,5 мм (из них 127,9 мм в 3-й декаде июня). В 2010 г. выпало 545,4 мм осадков, урожайность пластичных сортов в этом году была на уровне запланированной, а урожайность сортов интенсивного типа превысила плановую соответственно на 2,7 и 1,9 ц/га. Таким образом, можно отметить, что озимая пшеница сортов Антоновка и Дрида 1 обладают определённым потенциалом повышения урожайности на Луганщине, который лимитируется абиотическими факторами среды.

В таблице 44 представлена структура посевных площадей УНПАК «Колос» ЛГАУ в 2009–2011 гг. Озимая пшеница возделывалась на площади 700 га, что составляет 50% от общей площади производственного аграрного комплекса. Также на больших площадях выращивается подсолнечник (300–400 га) и яровой ячмень (200–250 га).

Таблица 44 – Структура посевных площадей УНПАК «Колос» ЛГАУ (2009–2011 гг.)

Площадь / Культура	Посевная площадь, га		
	2009 г.	2010 г.	2011 г.
Посевная площадь, всего	1400	1400	1470
Зерновые культуры, всего	1100	1100	1070
Пшеница озимая	700	700	700
Рожь озимая	20	20	20
Ячмень яровой	200	200	250
Овёс	150	150	50
Горох	30	30	50
Подсолнечник	300	300	400

5.3 Изменчивость продуктивности озимой пшеницы, ярового ячменя и подсолнечника под влиянием условий внешней среды

Рассматривали связь продуктивности озимой пшеницы, ячменя и подсолнечника в УНПАК «Колос» ЛГАУ с агроклиматическими факторами за период с 1995 по 2019 г. (за исключением 2014 г.).

Средняя урожайность озимой пшеницы за этот период времени составила 25,9 ц/га, значение коэффициента вариации – 41,5, что свидетельствует о сильной изменчивости урожайности: размах изменчивости – от 8,9 до 50,1 ц /га (Таблица 45).

Таблица 45 – Основная статистика урожайности озимой пшеницы в УНПАК «Колос» ЛГАУ

Средняя урожайность, ц/га	Размах изменчивости	Стандартное отклонение	Коэффициенты		
			вариации, %	эксцесса	асимметрии
25,9	8,9–50,1	10,76	41,5	1,0	0,4

Стандартное отклонение показывает величину отклонения тестового показателя от своего многолетнего значения, в данном случае оно составляет 10,76. Значения коэффициентов эксцесса и асимметрии невелики и незначимы, что позволяет рассматривать данное распределение как нормальное.

Для построения адекватной модели зависимости урожайности озимой пшеницы (зависимая переменная) подбирали независимые переменные (как в главе 3). Основные требования к модели: высокие значения коэффициентов множественной корреляции и детерминации (количественные показатели), а также надёжность связи или значимость (р-уровень) (качественный показатель связи между переменными).

Количество независимых переменных в базовой модели по озимой пшенице составляет 48 при количестве лет наблюдений 69 (глава 3). Сведения об урожайности озимой пшеницы в УНПАК «Колос» ЛГАУ, как уже отмечалось, имеются лишь с 1995 по 2019 г. (24 года). Следовательно, количество независимых переменных в модели сокращали до приемлемого уровня, руководствуясь значением показателя надёжности (вероятностью ошибки,

доверительной вероятностью), который в подобных исследованиях (объём выборки $n = 30$ и больше) не должен превышать 5% ($p < 0,05$). Гистограмма эмпирического распределения продуктивности озимой пшеницы и кривая нормального распределения приведены на рисунке 33.

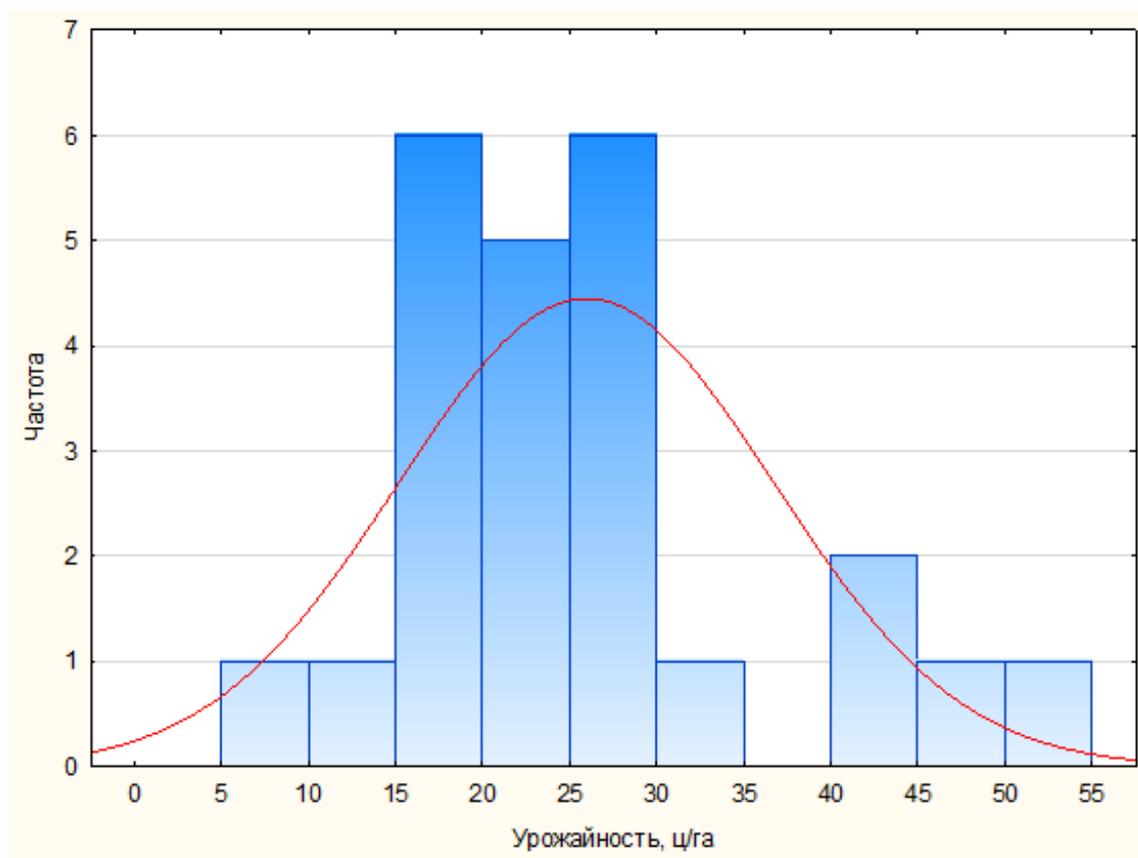


Рисунок 33 – Фактическое (гистограмма) и расчётное (кривая линия) распределение признака «урожайность озимой пшеницы»

Нормальное распределение признака «урожайность озимой пшеницы» в УНПАК «Колос» ЛГАУ полностью описывается двумя приведёнными в таблице 46 параметрами: средним арифметическим значением и стандартным отклонением.

Результаты парной корреляции урожайности озимой пшеницы (зависимая переменная «у») от 10 независимых переменных – среднемесячной температуры октября, ноября, марта, апреля и мая (x_1-x_5) и ежемесячного количества осадков августа, сентября, апреля, мая и июня (x_6-x_{10}) представлены в таблице 46. Здесь же приведены коэффициенты множественной корреляции, которые используются в уравнении множественной регрессии. Табличные значения значимых коэффициентов парной корреляции для степени свободы ($k = 24 - 2 = 22$) составляют $r \geq 0,43$ при $p = 0,05$; $r \geq 0,54$ при $p = 0,01$ и $r \geq 0,67$ при $p = 0,001$.

Таблица 46 – Результаты парной корреляции и множественной регрессии урожайности озимой пшеницы с температурой и осадками

Переменные (X_1-X_5)	Коэффициенты		Переменные (X_6-X_{10})	Коэффициенты	
	парной корреляции	регрессии		парной корреляции	регрессии
<i>Температура воздуха, °C</i>			<i>Осадки, мм</i>		
1) октябрь	-0,03	3,8344	6) август	0,33	0,1136
2) ноябрь	0,17	1,4620	7) сентябрь	0,67***	0,3011
3) март	0,22	1,6064	8) апрель	0,08	-0,0106
4) апрель	-0,20	2,8496	9) май	0,05	0,1470
5) май	-0,17	0,4315	10) июнь	-0,02	0,1234

Примечание: *** – значимы при $p = 0,001$.

Наблюдается отрицательная парная корреляция между зависимой переменной и температурой воздуха октября, апреля, мая и положительная корреляция в ноябре и марте. Выпадение осадков положительно влияет на урожайность, установлена максимально значимая связь между зависимой переменной и осадками сентября $r \geq 0,67$ при $p = 0,001$, это означает что за промежуток времени, равный 24 годам, урожайность озимой пшеницы сильнее всего зависела от указанного фактора – от недостатка осадков в сентябре – месяце посева этой важной продовольственной культуры. Следует отметить, что выпадение осадков в сентябре очень сильно изменялось по годам от 1 мм в 1998 г. до 142 мм в 2001 г., коэффициент вариации превышает 79%.

Невысокие и незначимые коэффициенты парной корреляции между урожайностью озимой пшеницы, температурой воздуха и осадками (за исключением сентября) вовсе не означают отсутствие связи между переменными, как может показаться на первый взгляд. При нормальном распределении признака «урожайность озимой пшеницы» количество факторов, влияющих на переменную, велико. Следуя необходимости продлить количество лет наблюдений в исследованиях до 2019 г., была построена новая модель (агрокомплекс «Колос») с количеством лет наблюдений, равным 24 (озимая пшеница и яровой ячмень) и 22 годам (подсолнечник).

В отличие от многофакторной модели, рассмотренной в главе 3, пришлось немного нарушить два правила математического анализа:

- 1) количество зависимых переменных в модели должно быть от 30 и больше;
- 2) на зависимую переменную оказывают совместное и противоположное влияние большое количество факторов, большинство из которых должны быть учтены в модели.

Вместе с тем предложенная динамическая модель должна быть значимой по p -уровню.

Чтобы выполнить второе правило из модели удалили часть независимых переменных, которые коррелируют с оставшимися независимыми переменными. Поэтому связь с отдельными месяцами выглядит незначимой.

Для определения величины совместного влияния независимых переменных на урожайность озимой пшеницы и вычисления теоретических значений урожайности была построена модель (на основе уравнения множественной регрессии):

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_{10}x_{10}, \quad (20)$$

где y – урожайность озимой пшеницы (зависимая переменная);

a_0 – свободный член в уравнении регрессии;

a_1, \dots, a_{10} – параметры (коэффициенты) уравнения регрессии, начиная с a_1 (для температуры октября) и до a_{10} (для суммы осадков за июнь);

x_1 – x_5 – температура за соответствующие месяцы;

x_6 – x_{10} – осадки за соответствующие месяцы.

Результаты множественного корреляционно-регрессионного анализа представлены в Приложении Ж. Свободный член (от англ. «intercept», a_0) в уравнении равен $-83,5151$.

Для нахождения расчётной урожайности в 2019 г. подставляли в уравнение соответствующие коэффициенты регрессии (Таблица 46) и значения температуры воздуха и суммы осадков за каждый месяц (Приложение А, Таблицы 2, 3):

$$y_{19} = -83,5151 + (3,8344) \times 10,8^\circ\text{C} + 1,4620 \times 3,6^\circ\text{C} + \dots + 0,1234 \times 23,0 \text{ мм} = 23,9.$$

Расчётная урожайность в 2019 г. составила 23,9 ц/га, фактическое значение урожайности – 18,1 ц/га, отклонение – минус 5,8 ц/га.

Временные ряды эмпирических и расчётных значений урожайности представлены на рисунке 34.

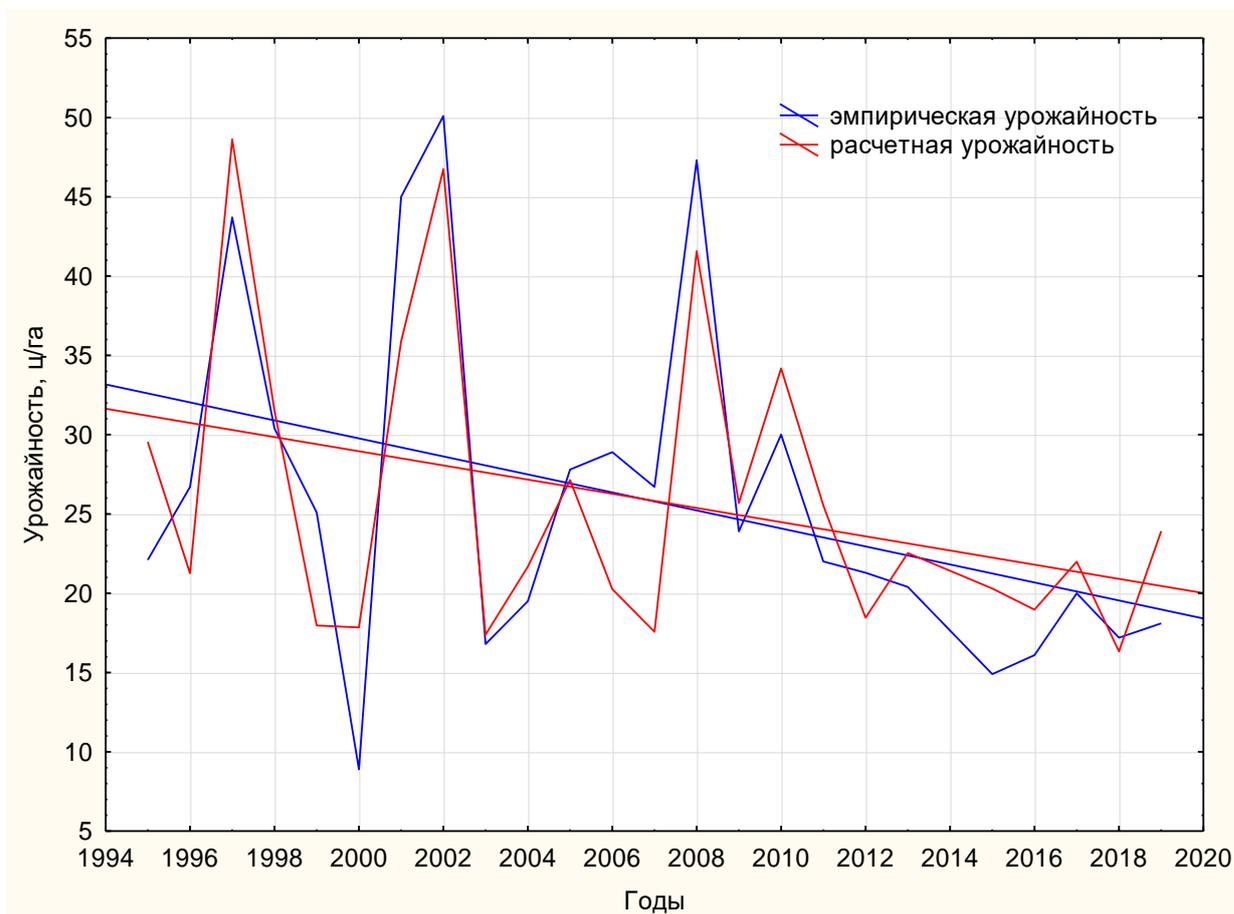


Рисунок 34 – Временные ряды эмпирических и расчётных значений урожайности озимой пшеницы (1994–2020 гг.)

Хорошее совпадение наблюдается как для особенно неурожайных, так и для рекордно урожайных лет. Наибольшее отклонение фактического значения от предсказанного в отрицательном направлении было в 2000 г. (–8,9 ц/га), в положительном – в 2007 г. (9,1 ц/га). Самая низкая фактическая урожайность отмечена в 2000 г. – 8,9 ц/га. Необходимо отметить, что в сентябре 1999 г. под урожай 2000 г. выпало только 21 мм осадков.

Максимальная урожайность озимой пшеницы отмечена в 2002 – 50,1 ц/га. В 2001 г. под урожай 2002 г. в сентябре выпало 142 мм осадков. Максимальная расчётная или предсказанная (от англ. «predicted») урожайность на основании

модели в 1997 г. составила 48,6 ц/га, минимальная – 16,3 ц/га в 2018 г. Вместе с тем наблюдается тенденция снижения урожайности тестовой культуры (линия тренда) в условиях изменения параметров внешней среды (климата) (Рисунок 34), аналогичное снижение урожайности полевых культур отмечено в главе 4.

Основная (базовая) статистика урожайности ярового ячменя представлена в таблице 47.

Таблица 47 – Основная статистика урожайности ярового ячменя

Средняя урожайность, ц/га	Размах изменчивости	Стандартное отклонение	Коэффициенты		
			вариации, %	эксцесса	асимметрии
18,0	5,6–49,5	10,48	58,2	2,3	5,6

Количество лет наблюдений – 24 года, с 1995 до 2019 г. (исключение – 2014 год). Средняя урожайность полевой культуры составила 18,0 ц/га, размах вариации (пределы изменчивости) – от 5,6 до 49,5 ц/га, изменчивость сильная по величине коэффициента вариации, который составляет 58,2%. Стандартное отклонение от многолетнего значения урожайности составляет 10,48. Данному распределению урожайности ячменя свойственна асимметрия – 5,6. Однако это не является серьёзным препятствием для проведения парного и множественного регрессионного анализа.

Для определения связи между переменными использовали парный корреляционный анализ. За независимые переменные принимали значения ежемесячной суммы осадков и среднемесячной температуры воздуха с марта по июль. Урожайность ярового ячменя была зависимой переменной.

Отмечается отрицательная парная корреляция урожайности ярового ячменя со среднемесячной температурой мая: $-0,31$, а также значимая корреляция с температурой июня ($-0,44^*$) и июля ($-0,46^*$) (значимая по первому уровню $p = 0,05$). Высокая температура в мае, июне и июле отрицательно сказывается на урожайности ячменя. С остальными независимыми переменными связь незначимая (Таблица 48).

Таблица 48 – Результаты парной корреляции и множественной регрессии урожайности ярового ячменя с температурой и осадками

Переменные (X_1-X_5)	Коэффициенты		Переменные (X_6-X_{10})	Коэффициенты	
	парной корреляции	регрессии		парной корреляции	регрессии
<i>Температура воздуха, °C</i>			<i>Осадки, мм</i>		
1) март	0,14	0,5445	6) март	0,27	0,1137
2) апрель	0,09	1,0277	7) апрель	-0,07	0,0837
3) май	-0,31	-0,6164	8) май	-0,12	-0,1674
4) июнь	-0,44*	-2,0412	9) июнь	0,15	0,0297
5) июль	-0,46*	4,6688	10) июль	0,11	0,0810

Примечание: * – значим при $p = 0,05$.

Для нахождения расчётной урожайности в 2019 г. подставляли в уравнение соответствующие коэффициенты регрессии и значения температуры воздуха и суммы осадков за каждый месяц:

$$y_{19} = -55,9450 + (0,5445) \times 4,4^{\circ}\text{C} + 1,0277 \times 10,1^{\circ}\text{C} + \dots + 0,0810 \times 96,0 \text{ мм} = 6,1.$$

Таким образом, расчётная урожайность ярового ячменя в 2019 г. составила 6,1 ц/га, фактическое значение – 9,5 ц/га, отклонение – 3,3 ц/га (Рисунок 35).

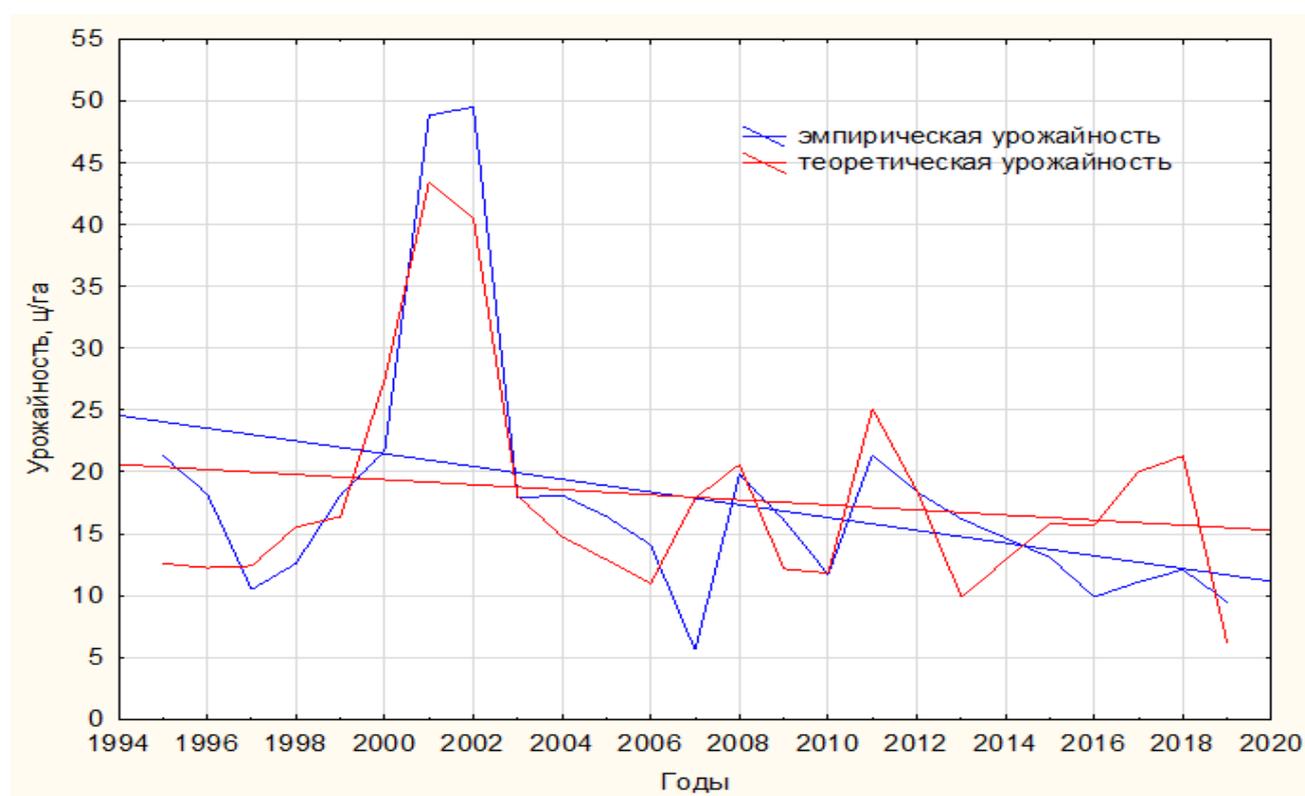


Рисунок 35 – Временные ряды эмпирических и расчетных значений урожайности ярового ячменя

Самое существенное отклонение фактического значения урожайности ярового ячменя от расчётного значения в отрицательном направлении было в 2007 г. (–12,3 ц/га), в положительном – в 2002 г. (8,9 ц/га). Самая низкая фактическая урожайность отмечена в 2007 г. – 5,6 ц/га, самая высокая – в 2001 г. – 48,8 ц/га.

Максимальная расчётная или предсказанная (от англ. «predicted») урожайность на основании экологически обоснованной модели в 2001 г. составила 43,4 ц/га, минимальная – минус 6,1 ц/га в 2019 г.

Наблюдается тенденция снижения урожайности ярового ячменя (линия тренда) в условиях изменения климата, аналогичное направление снижения урожайности полевых культур отмечено в главе 4 по озимой пшенице в агрокомплексе «Колос».

После 2017 г. семена подсолнечника в агрокомплексе «Колос» ЛГАУ не высевали. Базовая статистика урожайности подсолнечника за период 22 года представлена в таблице 50. За время наблюдений с 1995 по 2017 г. (за исключением 2014 г.) средняя урожайность подсолнечника составила 15,4 ц/га. Размах вариации – большой – от 5,5 до 30,9 ц/га, коэффициент вариации превышает 43,6% – изменчивость сильная (Таблица 49).

Таблица 49 – Основная статистика урожайности подсолнечника

Средняя урожайность, ц/га	Размах изменчивости	Стандартное отклонение	Коэффициенты		
			вариации, %	эксцесса	асимметрии
15,4	5,5–30,9	6,7	43,6	0,29	–0,35

Стандартное отклонение от многолетнего значения составляет 6,7. Отсутствие эксцесса и асимметрии указывает на соответствие распределения признака «урожайность подсолнечника» нормальному распределению, что позволяет применять математико-статистические методы исследований.

При построении модели связи урожайности подсолнечника с ежемесячным количеством осадков и температурой атмосферного воздуха столкнулись с

определёнными трудностями. Как уже говорилось, это связано с несоблюдением рекомендаций, касающихся количества лет наблюдений (рекомендуется 30 лет и более).

Первоначально были установлены высокие коэффициенты множественной корреляции и детерминации, однако модель получалась неадекватной по уровню значимости, превышающему 5% ($p > 0,05$). Одним из способов получения адекватной модели по уровню значимости является удаление из модели независимых переменных.

Другим способом является добавление известных (по результатам предыдущих исследований) переменных. Такой переменной была температура воздуха за декабрь месяц перед посевом культуры, которая положительно и значимо связана с температурой августа $r = 0,44$. В результате получили адекватную модель зависимости урожайности подсолнечника от осадков и температуры воздуха с первым уровнем значимости ($p = 0,032$).

Для проверки значимости коэффициента парной корреляции Пирсона нужно сравнить его значение с табличным значением « r », число степеней свободы определяется по формуле $K = N - 2$ (в нашем случае 22 года наблюдений минус 2), принимали первый уровень значимости, равный 0,05. Это значит, что в среднем только в 5% случаев возможна ошибка при проверке гипотезы.

Когда число степеней свободы равно 20, тогда значимыми коэффициентами парной корреляции считаются коэффициенты со значением от 0,42 и выше ($p = 0,05$), от 0,54 и выше ($p = 0,01$) и от 0,65 и выше ($p = 0,001$).

Сила связи между урожайностью тестовой культуры и температурой декабря месяца года, предшествующего посеву, составляет $r = -0,60^{**}$ – корреляция линейная отрицательная. Параметр значим по второму уровню значимости ($p = 0,01$), только в 1% случаев возможна ошибка.

Также установлена значимая положительная корреляция с температурой августа $r = 0,45^*$ ($p = 0,05$). С остальными независимыми переменными связь незначимая, что не означает отсутствия их влияния на зависимую переменную (Таблица 50).

Таблица 50 – Результаты парной корреляции и множественной регрессии урожайности подсолнечника с температурой и осадками

Переменные (x_1-x_6)	Коэффициенты		Переменные (x_7-x_{11})	Коэффициенты	
	парной корреляции	регрессии		парной корреляции	регрессии
<i>температура воздуха, °C</i>			<i>осадки, мм</i>		
1) декабрь перед посевом	-0,60**	-1,71654	7) март	0,29	0,08386
2) март	-0,18	-1,87865	8) апрель	-0,24	-0,03523
3) апрель	-0,22	0,39787	9) июнь	0,24	0,04509
4) май	-0,18	-2,52577	10) август	0,31	0,02080
5) июль	-0,24	-0,69375	11) сентябрь	-0,007	0,03453
6) август	0,45*	1,41976	–	–	–

Примечание: * – значим при $p = 0,05$; ** – значим при $p = 0,01$.

Вычисление расчётных значений урожайности подсолнечника производили по уравнению множественной регрессии в системе STATISTICA:

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_{11}x_{11}, \quad (21)$$

где y – урожайность подсолнечника (зависимая переменная);

a_0 – свободный член в уравнении регрессии равен 32,21626;

a_1-a_{10} – параметры (коэффициенты) уравнения регрессии, начиная с a_1 (для температуры декабрь предшествующего года) и до a_{11} (для суммы осадков за сентябрь);

x_1-x_5 – температура воздуха за соответствующие месяцы;

x_6-x_{10} – осадки за соответствующие месяцы (Приложение А, Таблицы 2, 3).

Для нахождения расчётной урожайности подсолнечника в 2019 г. в уравнение (21) подставляли соответствующие коэффициенты регрессии (Таблица 50) и значения температуры воздуха и суммы осадков за каждый месяц:

$$y_{19} = 32,21626 + (-1,71654) \times (-3,7^\circ\text{C}) + (-1,87865) \times 4,4^\circ\text{C} + \dots + 0,03453 \times 18 \text{ мм.}$$

Расчётная урожайность подсолнечника в 2019 г. (рассчитанная по значениям независимых переменных) составила 17,1 ц/га, фактическое значение урожайности – 14,0 ц/га, отклонение составляет минус 3,1 ц/га.

Минимальная (фактическая и расчётная) урожайность тестовой культуры наблюдалась в 2007 г. – соответственно 5,5 и 3,7 ц/га. Максимальная эмпирическая и расчётная урожайность подсолнечника отмечалась в 2003 г. – соответственно 30,9 и 26,6 ц/га (Рисунок 36).

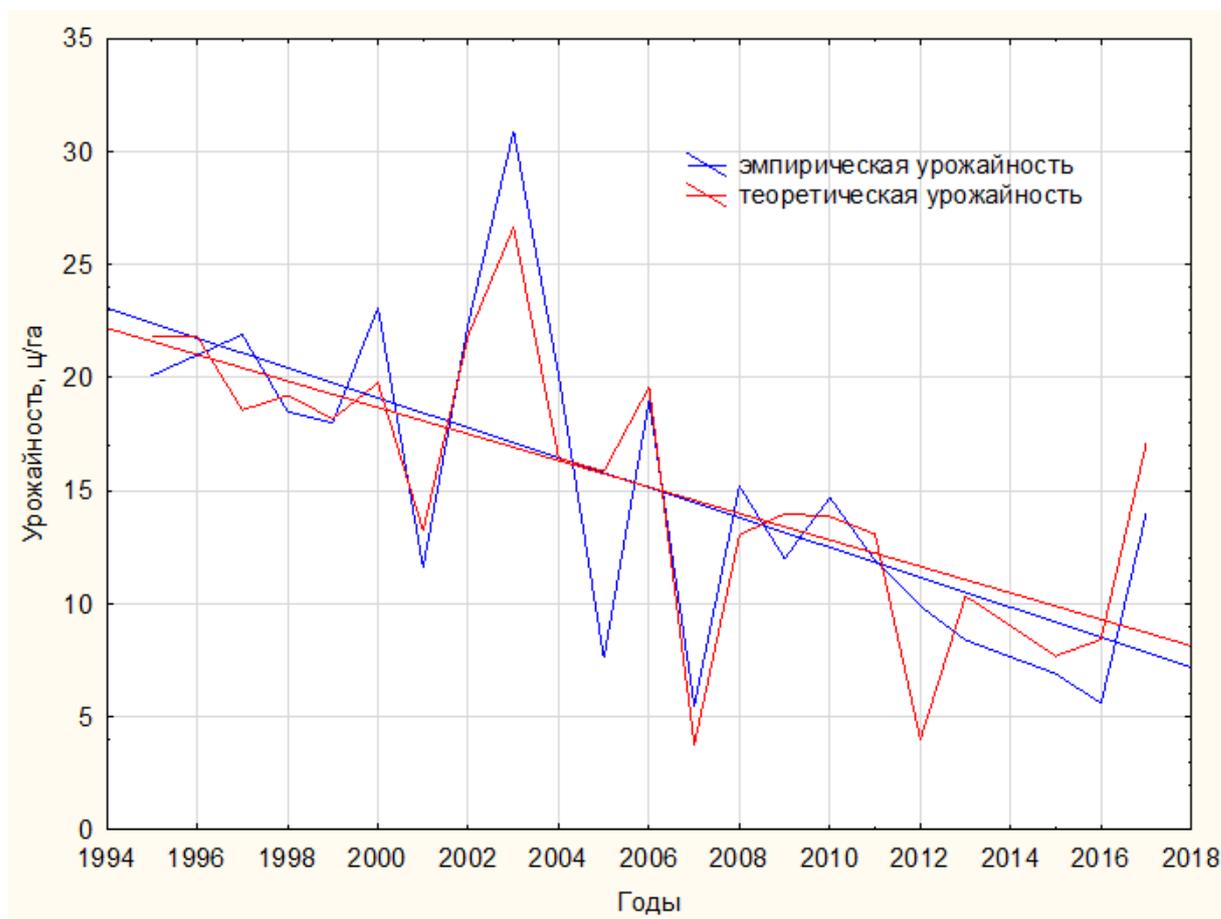


Рисунок 36 – Временные ряды эмпирических и расчётных значений урожайности подсолнечника

В отдельные годы наблюдалась очень близкая по величине фактическая и расчётная урожайность подсолнечника: в 1999 г. – соответственно 18,0 и 18,2 ц/га, в 2002 г. – 22,4 и 21,9 ц/га, в 2006 г. – 19,0 и 19,6 ц/га, в 2015 г. – 6,9 и 7,7 ц/га.

Снижение линий тренда эмпирической и расчётной урожайности тестовой культуры в УНПАК «Колос» ЛГАУ (как и по ранее рассмотренным культурам – озимой пшенице и яровому ячменю) связано с изменением условий внешней среды на обозначенном временном интервале.

В таблице 51 представлены коэффициенты множественной линейной корреляции и детерминации изменчивости продуктивности культурных растений в 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%, то есть модель адекватная. Другими словами, 78,8% изменчивости продуктивности масличной культуры зависит от соотношения гидротермических факторов (осадков и температуры).

Таблица 51 – Результаты множественного корреляционно-регрессионного анализа изменчивости продуктивности агроценозов УНПАК «Колос» ЛГАУ

Культуры	Количество, лет	Количество независимых переменных в модели	Коэффициенты множественной		Вероятность ошибки (р-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

Детерминация урожайности озимой пшеницы и ярового ячменя составляет 75,4% ($p = 0,01$) и 70,8% ($p = 0,03$), соответственно. Ежемесячное воздействие гидротермических факторов оказывают лимитирующее воздействие на формирование урожая озимой пшеницы, ярового ячменя и подсолнечника в агрокомплексе «Колос». Данные выводы хорошо согласуются с предыдущими исследованиями о влиянии климатообразующих факторов на урожайность полевых культур в северной части Донецкого края.

Выводы к главе 5

1. Установлена положительная корреляция между температурой атмосферного воздуха и температурой почвы в производственных посевах озимой пшеницы в январе на глубине до 40 см, понижение температуры воздуха сопровождается снижением температуры почвы. На глубине до 5 см установлена максимально значимая связь с температурой почвы.

2. Наблюдается достоверная связь температуры почвы на разных глубинах со среднесуточной температурой атмосферного воздуха в мае и июне на глубине до 20 см (в мае r от 0,55** до 0,91***; в июне r от 0,43* до 0,95***).

3. В посевах озимой пшеницы сорта Дриада 1 отмечалась достоверная связь между количеством выпавших осадков и запасами продуктивной влаги в почве на глубине до 50 см, коэффициенты корреляции: в слое 0–20 см – 0,86** ($p < 0,01$), в слое 0–50 см – 0,75* ($p < 0,05$).

4. В посевах озимой пшеницы сорта Одесская 267 установлена значимая связь между количеством выпавших осадков и запасами продуктивной влаги в почве на глубине до 100 см, коэффициенты корреляции: в слое 0–20 см – 0,77* ($p < 0,05$), в слое 0–50 см – 0,73* ($p < 0,05$), в слое 0–100 см – 0,68* ($p < 0,05$).

5. Выпадение атмосферных осадков в период от посева до уборки урожая оказывает положительное воздействие на урожайность озимой пшеницы, установлена максимально значимая связь между зависимой переменной и осадками сентября $r \geq 0,67$ при $p = 0,001$. На временном интервале, равном 24 годам, именно этот агроэкологический фактор является ключевым на территории Донбасса. Самая низкая фактическая урожайность пшеницы отмечена в 2000 г. – 8,9 ц/га, так как в сентябре 1999 г. под урожай 2000 г. выпало только 21 мм осадков. Максимальная урожайность озимой пшеницы отмечена в 2002 г. – 50,1 ц/га. В сентябре 2001 г. под урожай 2002 г. выпало 142 мм осадков.

6. Отмечается высоко значимая парная корреляция между среднемесячной температурой мая и урожайностью ярового ячменя: $r = -0,67$ (значимая по третьему уровню $p = 0,001$). На данном временном промежутке при небольшом количестве независимых переменных температура атмосферного воздуха оказывает большее воздействие на урожайность, чем осадки.

7. Сила связи между урожайностью подсолнечника и температурой декабря перед посевом составляет $r = -0,60$ **, корреляция линейная отрицательная. Параметр значим по второму уровню значимости ($p = 0,01$), только в 1% случаев возможна ошибка. Также установлена значимая положительная корреляция с температурой августа $r = 0,44$ * ($p = 0,05$). С остальными независимыми

переменными связь незначимая, что не означает отсутствия их влияния на зависимую переменную.

8. 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.

9. 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 УНПАК «Колос» ЛГАУ. Детерминация урожайности озимой пшеницы и ярового ячменя гидротермическими факторами составляет соответственно 75,4% ($p = 0,01$) и 70,8% ($p = 0,03$).

6 ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ПРОВЕРКА

Производственную проверку и внедрение полученных результатов исследований осуществляли в ГОУ ВО ЛНР ЛГАУ (УНПАК «Колос» ЛГАУ), «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.

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 климатопа, позволило с большей точностью прогнозировать урожайность на основании предложенной прогностической модели «Погода – урожайность».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Выявлены факторы, лимитирующие продуктивность агроценозов степи в северной части Донецкого края. Под их воздействием уровень урожайности полевых культур, возделываемых 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 сбора урожая ($r = 0,35^{**}$ для зерновых и $r = 0,37^{**}$ для подсолнечника).

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 и установлена 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 и 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% и для подсолнечника 86,6%.

6. Разработан алгоритм применения разработанной экологически обоснованной регрессионной модели «погода – урожайность» в области экстраполяции на примере озимой пшеницы, прогнозная урожайность в 2021 году составила 26,9 ц/га, что на 5,8 ц/га выше среднемноголетнего показателя.

7. Установлена положительная корреляция между температурой атмосферного воздуха и температурой почвы в производственных посевах озимой пшеницы агрокомплекса 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: $r = 0,86$ в слое 0–20 см и $r = 0,75$ в слое 0–50 см; в посевах сорта «Одесская 267» на глубине до 100 см: $r = 0,77$ в слое 0–20 см, $r = 0,73$ в слое 0–50 см и $r = 0,68$ в слое 0–100 см.

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

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВУ

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

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

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

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

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

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

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 возделывания сельскохозяйственных культур, включая подбор сортов, сроки посева и нормы высева семян, объемы и сроки применения 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 ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абашина, Е.В. Динамическая модель погода – урожай, учитывающая азотное питание растений / Е.В. Абашина, О.Д. Сиротенко, А.Г. Просвиркина // В кн.: Кругооборот и баланс азота в системе почва – растение – атмосфера. Москва: Наука, 1979. – С. 172–179.
2. Агроклиматические ежегодники за 1964–1968 годы по Ворошиловградской области. – Ворошиловград, 1972. – 569 с.
3. Агроклиматические ежегодники за 1973–1977 годы по Ворошиловградской области. – Ворошиловград, 1978. – 175 с.
4. Агроклиматический справочник по Луганской области. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1958. – 96 с.
5. Агрокліматичний довідник по Луганській області (1986–2005 рр.). – Луганськ : ТОВ «Віртуальна реальність», 2011. – 216 с.
6. Агрометеорологические ежегодники за 1969–1972 годы по Ворошиловградской области. – Ворошиловград, 1977. – 533 с.
7. Агрометеорологические прогнозы и моделирование продуктивности сельскохозяйственных культур. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1985. – 124 с.
8. Адрианова, Ю.Е. Влияние янтарной кислоты на урожай и качество сельскохозяйственных культур / Ю.Е. Адрианова // Агрехимия. – 1996. – № 8–9. – С. 117–122.
9. Акентьева, Л.И. Система удобрения полевых культур Донбасса при программировании урожайности и расширенном воспроизводстве почвенного плодородия конкретного поля / Л.И. Акентьева. – Луганск: Изд-во «Лугань», 1992. – 110 с.
10. Акентьева, Л.И. Программирование урожайности озимой пшеницы и основные положения управления ее питательным режимом и качеством зерна: учебное пособие / Л.И. Акентьева. – Луганск: Изд-во «Лугань», 1993. – 36 с.
11. Алтунин, Д.А. Биологическое земледелие – залог здоровья нации / Д.А. Алтунин, С.С. Конин // Достижения науки и техники АПК. – 2004. – № 4. – С. 4–6.
12. Антоненко, В.С. Динамическое моделирование роста, развития и

формирования продуктивности озимой пшеницы / В.С. Антоненко. – Киев: АртЕк, 2002. – 64 с.

13. Антрапцева, Н.М. Складні фосфати магнію та мікроелементів – нові біологічно активні речовини / Н.М. Антрапцева, Л.М. Щегров, І.Г. Пономарьова // Вісник аграрної науки. – 2002. – № 4. – С. 22–25.

14. Артеменко, В. Сидерати. Їм відроджувати колишню славу українських земель / В. Артеменко // Пропозиція. – 2003. – № 6 – С. 36–38.

15. Артюх, О.Д. Вплив погодних умов на якість зерна пшениці озимої після різних попередників / О.Д. Артюх // Вісник аграрної науки. – 2001. – № 3. – С. 26–28.

16. Бабиченко, В.Н. Природа Украинской ССР : Климат / В.Н. Бабиченко, М.Б. Барабаш, К.Т. Логвинов и др.; под общей ред. К. . Логвинова. – Киев: Наукова думка, 1984. – 232 с.

17. Бабіченко В.М. Клімат України / В. . Бабіченко, В.А. Дячук. – Київ: Видавництво Раєвського, 2003. – 343 с.

18. Барсукова, О.А. Агрокліматичні ресурси продуктивності ярого ячменю в Україні: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 11.00.09 / О.А. Барсукова. – Одеса, 2004. – 19 с.

19. Бацула, О. Не завжди добриво добре / О. Бацула // Сільський журнал. – 2001. – № 4. – С. 26.

20. Бейли, Н. Математика в биологии и медицине / Н. Бейли. – Москва: Мир, 1970. – 326 с.

21. Бердников, О.М. Роль сидерації в сучасному землеробстві / О.М. Бердников // Вісник аграрної науки. – 2004. – № 3. – С. 12–15.

22. Бойко, П.І. Проблеми екологічно врівноважених сівозмін / П.І. Бойко, Н.П. Коваленко // Вісник аграрної науки. – 2003. – № 8. – С. 9–12.

23. Болотских, М.В. Особенности распространения тяжелых металлов, микро- и радиоактивных элементов в ландшафтах Донбасса : монография / М.В. Болотских, М.В. Орешкин, П.В. Шелихов, В.М. Брагин. – Луганск: ОАО «ЛЮТ», 2004. – 196 с.

24. Борисенко, О.П. Периодические изменения урожайности подсолнечника

в Украине / О.П. Борисенко, Н.В. Решетняк, И.Д. Соколов // Вестник Луганского национального аграрного университета. – 1995. – С. 31.

25. Боровиков, В.П. Нейронные сети. STATISTICA Neural Networks: Методология и технологии современного анализа данных / В.П. Боровиков. – Москва : Горячая линия-Телеком, 2008. – 392 с.

26. Боровиков, В. STATISTICA. Искусство анализа данных на компьютере / В. Боровиков. – Санкт-Петербург: Питер, 2003. – 688 с.

27. Боровиков, В.П. Прогнозирование в системе STATISTICA в среде Windows: Основы теории и интенсивная практика на компьютере: учебное пособие / В.П. Боровиков, Г.И. Ивченко. – Москва : Финансы и статистика, 2006. – 368 с.

28. Боярський П.М. Грунти Донбасу і заходи підвищення їх родючості / П.М. Боярський. – Луганськ: Редакційно-видавничий відділ Луганського сільськогосподарського інституту, 1993. – 144 с.

29. Бука, А.Я. Сучасний стан та напрями подальших досліджень у довготривалих дослідах з добривами в сівоzmінах / А.Я. Бука // Вісник аграрної науки. – 1999. – № 2. – С. 17–19.

30. Булигін, С.Ю. Мікродобрива – важливий резерв підвищення урожайності сільськогосподарських культур / С.Ю. Булигін, І.А. Фатєєв, Л.Ф. Демішев та ін. // Вісник аграрної науки. – 2000. – № 11. – С. 13–15.

31. Бучинский, И.Е. Климат Украины в прошлом, настоящем и будущем / И.Е. Бучинский. – Киев: Госсельхозиздат УССР. – 1963. – 308 с.

32. Бучинский, И.Е. Районирование Украины по степени увлажнения / И.Е. Бучинский // Труды Украинского гидрометеорологического института. – 1958. – Вып. 13. – С. 14–21.

33. Вайдал, Д. Европа истощила свой потенциал увеличения урожайности зерновых / Д. Вайдал // Интернет-портал. – URL: http://journal.esco.co.ua/cities/2013_8/art52.html (дата обращения: 18.12.2019).

34. Волошин, О.С. Вплив температури повітря і опадів на урожайність озимої пшениці в сівоzmіні / О.С. Волошин, Н.М. Волошина, М.Г. Троянський // Степове землеробство. – 1995. – № 29. – С. 33–36.

35. Вольф, В.Г. Соняшник / В.Г. Вольф. – Киев: Урожай, 1972. – 227 с.
36. Гаврилюк, М.М. Основы сучасного насінництва / М.М. Гаврилюк. – Киев: Національний науковий центр «Інститут аграрної економіки», 2004. – 256 с.
37. Гмурман, В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика / В.Е. Гмурман. – Москва: Высшая школа, 1999. – 479 с.
38. Гогмачадзе, Г.Д. Влияние полевых культур на накопление органического вещества в почве / Г.Д. Гогмачадзе, Л.М. Козлова // Достижения науки и техники АПК. – 2004. – № 7. – С. 26–27.
39. Гойса, Н.И. Модель фотосинтетической продуктивности озимой пшеницы / Н.И. Гойса // Труды Украинского гидрометеорологического института. – 1979. – С. 113–122.
40. Гриб, С.И. Технология селекционного процесса и резервы селекции / С.И. Гриб // Селекция и семеноводство. – 1983. – № 7. – С. 15–17.
41. Грушка, И.Г. Об учете осенних осадков при проведении сева озимых в условиях недостаточного увлажнения / И.Г. Грушка. – Москва: Гидрометеиздат, 1970. – 77 с.
42. Грушка, Я. Монография о кукурузе / Я. Грушка. – Москва: Колос, 1965. – 751 с.
43. Губанов, Я.В. Озимая пшеница: монография / Я.В. Губанов, Н.Н. Иванов. – Москва: Агропромиздат, 1988. – 304 с.
44. Давлетов, Ф.А. Влияние погодных условий на формирование урожая и качество зерна гороха / Ф.А. Давлетов // Зерновое хозяйство. – 2005. – № 5. – С. 13–14.
45. Денисенко, А.И. Биогумус (вермикультура) – перспективы применения в земледелии Донбасса / А.И. Денисенко, Е.И. Михайлюченко // Сборник научных трудов Луганского государственного аграрного университета. – 1999. – № 5 (14). – С. 112–116.
46. Деревянко, А.Н. Погода и качество зерна озимых культур / А.Н. Деревянко. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1989. – 128 с.
47. Дмитренко, В.П. Об учете агротехники в исследованиях связи урожая

сельскохозяйственных культур с гидрометеорологическими факторами / В.П. Дмитренко // *Зерновое хозяйство*. – 2001. – № 3. – С. 7–13.

48. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). – 5-е изд., доп. и перераб. – Москва: Агропромиздат, 1985. – 351 с.

49. Драніщев, М. Підзимова сівба соняшнику / М. Драніщев, М. Решетняк, А. Овчаренко та ін. // *Пропозиція*. – 2005. – № 10. – С. 54–56.

50. Дылис, Н.В. Основы биогеоценологии: монография / Н.В. Дылис. – Москва : Изд-во МГУ, 1978. – 150 с.

51. Дылис, Н.В. Учение о биогеоценозе и его проблемы / Н.В. Дылис. – Москва : Знание, 1975. – 63 с.

52. Дьяков, А.Б. Физиологическое обоснование направлений селекции / А.Б. Дьяков // В кн. *Генетика количественных признаков сельскохозяйственных культур*. – Москва: Колос, 1978. – С. 164–170.

53. Елин, Е.Н. Принцип подобия сельскохозяйственных предприятий экологическим системам природы / Е.Н. Елин // *Достижения науки и техники АПК*. – 2002. – № 5. – С. 24–29.

54. Жученко, А.А. Адаптивное семеноводство / А.А. Жученко // *Вестник семеноводства в СНГ*. – 2000. – № 2. – С. 21–23.

55. Жученко, А.А. Роль генетической инженерии в адаптивной селекции растений / А.А. Жученко // *Сельскохозяйственная биология*. – 2003. – № 1. – С. 1–34.

56. Забалуев, В.О. Едафо-фітоценотичне обґрунтування формування та функціонування стійких агроєкосистем на рекультивованих землях степу України : автореф. дис. ... д-ра. с.-х. наук : 03.00.06 / В.О. Забалуев. – Киев, 2005. – 40 с.

57. Зайцев, О. Впровадження високопродуктивних гібридів соняшнику – один із шляхів підвищення його рентабельності / О. Зайцев, В. Ковальов // *Пропозиція*. – 2003. – № 12. – С. 52–53.

58. Зінченко, О.І. Рослинництво / О.І. Зінченко, В.Н. Салатенко, М.А. Білоножка. – Київ: Аграрна освіта, 2001. – 591 с.

59. Ибрагимов, Д.С. Высокоэффективное биоудобрение / Д.С. Ибрагимов, В.З. Шакиров, С.Ш. Нуриев // *Агрехимический вестник*. – 2002. – № 6. – С. 22–24.

60. Игонин, А. Бурый каменный уголь и сланцы – лучшие органические удобрения для выращивания суперурожаев / А. Игонин // *Международный сельскохозяйственный журнал*. – 1996. – № 6. – С. 41–44.

61. Игонин, А.М. Черви-гумус-урожай / А.М. Игонин // *Достижения науки и техники АПК*. – 2004. – № 4. – С. 2–3.

62. Игуменцев, А.Ф. Цикличность погоды и прогнозирование урожайности сельскохозяйственных культур / А.Ф. Игуменцев // *Украинский научно-исследовательский институт защиты почв от эрозии*. – 1990. – С. 5–15.

63. Кадыров, С.В. Технологии программирования урожаев в ЦЧР: справочник / С.В. Кадыров, В.А. Федотов. – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2005. – 542 с.

64. Киндрук, Н.А. Агрэкологические основы производства высококачественных семян озимой пшеницы в Украинской ССР: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.01.04 / Н.А. Киндрук. – Немчиновка, 1988. – 33 с.

65. Кирпичев, И.В. Потенциальная и реальная продуктивность колоса озимой пшеницы при разных сроках сева / И.В. Кирпичев // *Сборник научных трудов Луганского национального аграрного университета*. – 2002. – № 22 (34). – С. 23–26.

66. Кисіль, В.І. Формування екологічно безпечного виробництва в Україні / В.І. Кисіль // *Вісник аграрної науки*. – 2003. – № 2. – С. 10–12.

67. Клещенко, А.Д. Динамическая модель формирования урожая пшеницы сорта SietteCerros / А.Д. Клещенко, А.Н. Полевой. – Обнинск: Препринт, 1979. – 20 с.

68. Климов, А.А. Программирование урожая / А.А. Климов, Г.Е. Листопад, Г.П. Устенко. – Волгоград: Труды Волгоградского сельскохозяйственного института, 1971. – 21 с.

69. Конин, С.С. Вермикультура и бизнес / С.С. Конин // *Достижения науки и техники АПК*. – 2004. – № 4. – С. 21–23.

70. Конопля, Н.И. Климат Луганской области / Н.И. Конопля. – Луганск: Русь, 1998. – 128 с.
71. Коровин, А.И. Растения и экстремальные температуры / А.И. Коровин. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1984. – 271 с.
72. Краевский, А.Н. Агротехника и сорняки / А.Н. Краевский // Сборник научных трудов Луганского национального аграрного университета. – 1999. – № 5 (14). – С. 141–145.
73. Круть, В.М. До питання підвищення урожайності пшениці озимої / В.М. Круть // Вісник аграрної науки. – 2002. – № 3. – С. 16–19.
74. Кузьмич, М.А. Лимитирующие факторы в технологиях применения удобрений / М.А. Кузьмич, Л.С. Кузьмич // Агротехнический вестник. – 2002. – № 6. – С. 10–12.
75. Кулик, М.С. Моделирование процесса формирования урожая озимой пшеницы / М.С. Кулик, А.Н. Полевой, И.Е. Вольвач // Метеорология и гидрология. – 1979. – № 9. – С. 98–106.
76. Кульбіда, М.І. Оцінка фотосинтетическої продуктивності озимої пшениці за різноманітними сценаріями зміни клімату: рослинництво / М.І. Кульбіда // Хранение и переработка зерна. – 2002. – № 4. – С. 18–23.
77. Лакин, Г.Ф. Биометрия / Г.Ф. Лакин. – Москва: Высшая школа, 1990. – 352 с.
78. Лархер, В. Экология растений. Перевод с нем. Д.П. Викторова; под ред. Т.А. Работнова / В. Лархер. – Москва: Мир, 1978. – 384 с.
79. Лифенко, С.П. Досягнення в селекції пшениці озимої м'якої / С.П. Лифенко, М.А. Литвиненко // Вісник аграрної науки. – 2000. – № 12. – С. 15–16.
80. Лихочвор, В. Озима пшениця: урожайність та якість зерна різних сортів / В. Лихочвор, А. Демчишин // Пропозиція. – 2003. – № 3. – С. 31–33.
81. Лихочвор, В. Удобрения соломой / В. Лихочвор // Пропозиція. – 2005. – № 6. – С. 12–14.
82. Лихочвор, В. Як одержати високий урожай якісного зерна на зріджених, ослаблених внаслідок екстремальних умов перезимівлі, посівах озимої пшениці /

В. Ліхочвор, Р. Проць, Ю. Гук та ін. // Пропозиція. – 2003. – № 12. – С. 52–53.

83. Ліхочвор, В.В. Рослинництво. Технології вирощування сільськогосподарських культур / В.В. Ліхочвор. – Київ: Центр навчальної літератури, 2004. – 808 с.

84. Лукин, С.В. Влияние удобрений и погодных условий на урожайность озимой пшеницы / С.В. Лукин // Зерновое хозяйство. – 2004. – № 3. – С. 2–4.

85. Лысенко, В. Птицефабрика как поставщик органических удобрений / В. Лысенко, А. Семенов // Птицеводство. – 2002. – № 6. – С. 32–34.

86. Лысенко, В.П. Из птичьего помета можно получить высококачественное удобрение / В.П. Лысенко, А.Ю. Семенов // Земледелие. – 2002. – № 5. – С. 29–31.

87. Льгов, Г.К. Орошаемое земледелие / Г.К. Льгов. – Москва: Колос, 1979. – 191 с.

88. Макашова, Р.Х. Горох / Р.Х. Макашова. – Ленинград: Колос, 1973. – 312 с.

89. Маркин, Б.К. Моделирование урожайности зерновых / Б.К. Маркин // Зерновые культуры. – 1997. – № 4. – С. 6–9.

90. Марчук, І. Добрива – основа підвищення врожайності й родючості ґрунту / І. Марчук // Пропозиція. – 2000. – № 3. – С. 45–48.

91. Мельник, И.А. Вермикультура – новое мощное средство оздоровления окружающей среды и получения чистой сельхозпродукции / И.А. Мельник // Зерновые культуры. – 1997. – № 4. – С. 9–11.

92. Мельник, И.А. Вермикультура: организация хозяйства, технология разведения червей и производства биогумуса / И.А. Мельник, И.Г. Карпец // Зерновые культуры. – 1998. – № 1. – С. 6–8.

93. Мерзлая, Г.Е. Агрэкологічныя прэгнозы выкарыстання птучыяго помета / Г.Е. Мерзлая, В.П. Лысенко // Агрэхімічны вестнік. – 2002. – № 6. – С. 23–25.

94. Михайленко, Л.П. Біологічна реакція рослин гороху на строки сівби в роки з різним сполученням погодних факторів / Л.П. Михайленко // Хранение и переработка зерна. – 2002. – № 11. – С. 20–22.

95. Наумов, С.Ю. Применение компьютерной техники в биологии / С.Ю. Наумов, И.Д. Соколов, И.В. Миняева // Вісник Луганського державного педагогічного університету. – 2001. – № 6 (38). – С. 105–107.

96. Никифоров, О.С. Минеральные удобрения и экологически безопасное земледелие / О.С. Никифоров // Агрехимический вестник. – 1999. – № 1. – С. 8–10.

97. Никонов, А.А. Мелиорация экономически оправданная, экологически чистая, социально необходимая / А.А. Никонов // Наука и жизнь. – 1989. – № 8. – С. 2–9.

98. Ничипорович, А.А. Фотосинтетическая деятельность растений в посевах / А.А. Ничипорович, Л.Е. Строганова, С.Н. Чмора, М.П. Власова. – Москва: Изд-во АН СССР, 1961. – 136 с.

99. Нідзельський, В.А. Урожайність фенологічно різних сортів гороху залежно від добрив / В.А. Нідзельський // Вісник аграрної науки. – 2001. – № 5. – С. 80–81.

100. Носко, Б.С. Роль добрив у підвищенні ефективності землеробства у посушливих умовах / Б.С. Носко, В.В. Медведєв, О.П. Непочатов та ін. // Вісник аграрної науки. – 2000. – № 5. – С. 11–15.

101. Носко, Б.С. Сучасний стан та перспективні напрями досліджень в агрохімії / Б.С. Носко // Вісник аграрної науки. – 2002. – № 9. – С. 9–12.

102. Оверченко, Б. Горох – культура вдячна / Б. Оверченко // Пропозиція. – 2003. – № 3. – С. 36–37.

103. Оверченко, Б.П. Вплив мінеральних добрив на врожайність та якість зерна пшениці озимої / Б.П. Оверченко // Вісник аграрної науки. – 2003. – № 6. – С. 29–30.

104. Олійник, О.В. Тенденції та фактори економічної динаміки в аграрному / О.В. Олійник // Вісник Харківського національного аграрного університету. – 2003. – № 4. – С. 21–32.

105. Олійник, О.В. Циклічність у динаміці урожайності сільськогосподарських культур / О.В. Олійник // Економіка АПК. – 2003. – № 3. – С. 52–57.

106. Пабат, І.А. Попередники, добрива і обробіток ґрунту під ячмінь ярий у

стефу / І.А. Пабат, А.Г. Горобець, А.І. Горбатенко // Вісник аграрної науки. – 2002. – № 4. – С. 17–21.

107. Павлова М.Д. Практикум по метеорологии / М.Д. Павлова. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1984. – 751 с.

108. Павлова, М.Д. Повторяемость осадков в Луганской области / М.Д. Павлова // Научные записки Луганского сельскохозяйственного института. – 1960. – Т. 7. – С. 165–173.

109. Павлова, М.Д. Гидротермические условия Ворошиловградской области и их значение для сельскохозяйственного производства / М.Д. Павлова // Труды Харьковского сельскохозяйственного института. – 1972. – С.120–128.

110. Павлова, М.Д. Климат Луганской области / М.Д. Павлова. – Луганск, 1958. – 15 с.

111. Петриченко, В.Ф. Статистичні методи планування експериментів та обробки їхніх результатів у рослинництві / В.Ф. Петриченко, С.Г. Радченко, П.М. Бабіч та ін. // Вісник аграрної науки. – 2006. – С. 25–29.

112. Плохинский, Н.А. Алгоритмы биометрии / Н.А. Плохинский. – Москва: Изд-во Московского государственного университета, 1980. – 150 с.

113. Плохинский, Н.А. Биометрия / Н.А. Плохинский. – Москва: Изд-во Московского государственного университета, 1970. – 367 с.

114. Подопригора, В.С. Подсолнечник в районах недостаточного увлажнения / В.С. Подопригора. – Днепропетровск: Промінь, 1977. – 122 с.

115. Полевой, А.Н. Прикладное моделирование и прогнозирование продуктивности посевов / А.Н. Полевой. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1988. – 319 с.

116. Полевой, А.Н. Динамико-статистические методы прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур / А.Н. Полевой // Метеорология и гидрология. – 1981. – № 2. – С. 92–102.

117. Полевой, А.Н. Динамическая модель формирования урожая озимой пшеницы / А.Н. Полевой, И.Е. Вольвач // Метеорология. – 1978. – Вып. 1 (51). – С. 28–35.

118. Полевой, А.Н. Методические указания по составлению прогнозов средне-областной урожайности сельскохозяйственных культур на основе динамико-статистических моделей продуктивности (озимая пшеница, яровой ячмень, горох, кукуруза и сахарная свекла) / А.Н. Полевой. – Одесса: Одесский гидрометеорологический институт, 1998. – 35 с.

119. Полевой, А.Н. Об определении некоторых параметров динамической модели формирования урожая / А.Н. Полевой // Труды института экспериментальной метеорологии. – 1979. – № 13 (91). – С. 120–130.

120. Полевой, А.Н. Сельскохозяйственная метеорология / А.Н. Полевой. – Санкт-Петербург: Гидрометеиздат, 1992. – 424 с.

121. Полевой, А.Н. Теория и расчет продуктивности сельскохозяйственных культур / А.Н. Полевой. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1983. – 175 с.

122. Попов, П.Д. Компостирование навоза и помета посредством дождевых червей – эффективный метод получения экологически чистого удобрения / П.Д. Попов // Достижения науки и техники АПК. – 2004. – № 4. – С. 9–10.

123. Попов, П.Д. Органические удобрения / П.Д. Попов, В.А. Деревягин. – Москва: Агропромиздат, 1988. – 208 с.

124. Попытченко, Л.М. Влияние агрометеорологических условий на элементы технологии выращивания озимой пшеницы / Л.М. Попытченко // Збірник наукових праць Луганського державного аграрного університету. – 1999. – № 5(14). – С. 160–165.

125. Приседський, Ю.Г. Статистична обробка результатів біологічних експериментів / Ю.Г. Приседський. – Донецьк: Кассіопея, 1999. – 210 с.

126. Просунко, В. Наслідки перезимівлі озимини і прогноз її врожаю: Агрометеорологічні умови озимої пшениці / В. Просунко // Пропозиція. – 2003. – № 5. – С. 38–41.

127. Просунко, В. Прогноз агрометеорологических условий осенней вегетации озимых культур / В. Просунко // Агроперспектива. – 2003. – № 9. – С. 21.

128. Просунко, В. Агрометеорологические условия вегетации полевых культур летом 2003 г. / В. Просунко // Агроперспектива. – 2003. – № 7 (43). – С. 34.

129. Просунко, В. Агрометеорологические условия вегетации озимой пшеницы в весенне-летний период 2003 г. / В. Просунко // Агроперспектива. – 2003. – № 5 (41). – С. 23.

130. Просунко, В. Наслідки глобального потепління клімату в землеробстві / В. Просунко // Наука і суспільство. – 2003. – № 3. – С. 34–37.

131. Просунко, В.М. Прогнозування агрометеорологічних умов вегетації польових культур / В.М. Просунко, Р.В. Сайдак, О.Г. Лісовий // Меліорація і водне господарство. – 2010. – № 98. – С. 382–392.

132. Пруцков, Ф.Н. Озимая пшеница / Ф.Н. Пруцков. – Москва: Агропромиздат, 1976. – 350 с.

133. Решетняк, Н.В. Актуальные проблемы возделывания подсолнечника в нынешних условиях / Н.В. Решетняк, Н.И. Дранищев, И.И. Малыхин // Збірник наукових праць Луганського державного аграрного університету. – 1999. – № 5 (14). – С. 165–171.

134. Річний звіт про стан навколишнього природного середовища в Луганській області у 2000 році / За ред. В.М. Кошеля. – Донецьк: ООО «Украинский научный центр технической экологии», 2001. – 124 с.

135. Рокицкий, П.Ф. Биометрическая статистика / П.Ф. Рокицкий. – Минск : Высшая школа, 1973. – 320 с.

136. Русакова, И.Н. солома – важный фактор биологизации земледелия / И.Н. Русакова, Н.А. Кулинский, А.А. Мосалева // Земледелие. – 2003. – № 1. – С. – 9.

137. Сайко, В.Ф. Землеробство ХХІ століття – проблеми та шляхи вирішення / В.Ф. Сайко // Збірник наукових праць інституту землеробства УААН. – 1999. – № 12. – С. 3–17.

138. Селезнев, К.Г. Погодные факторы урожая (осадки и температура) в ХХ столетии на юге Украины / К.Г. Селезнев // Вісник аграрної науки. – 1995. – № 1. – С. 64–73.

139. Селянинов, Г.Т. Агроклиматическая карта мира / Г.Т. Селянинов. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1966. – 12 с.

140. Селянинов, Г.Т. Методика сельскохозяйственной характеристики климата / Г.Т. Селянинов. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1937. – С. 5–7.

141. Семенов, В.М. Трансформация азота почвы и растительных остатков сообществом микроорганизмов и микроскопических животных / В.М. Семенов // Агрохимия. – 2002. – № 1. – С. 5–10.

142. Сильченко, З.Т. Влияние погодных условий на урожай и качество семян подсолнечника / З.Т. Сильченко // Агротехника масличных культур. – 1968. – С. 146–155.

143. Симоненко, В.Д. Фізико – географічне районування Донбасу для сільського господарства / В.Д. Симоненко // Донбас. – 1972. – С. 5–30.

144. Сирота, М.М. Прогрессивный способ производства семян / М.М. Сирота. – Киев: Урожай, 1976. – 131 с.

145. Сиротенко, О.Д. Математическое моделирование водно-теплового режима и продуктивности агроэкосистем / О.Д. Сиротенко. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1981. – 167 с.

146. Сиротенко, О.Д. Математическое моделирование водно-теплового режима и продуктивности / О.Д. Сиротенко. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1981. – 167 с.

147. Сказкин, Ф.Д. Критический период у растений по отношению к недостатку воды в почве / Ф.Д. Сказкин. – Ленинград: Наука, 1971. – 107 с.

148. Смаглий, О.Ф. Агроєкологія: навчальний посібник / О.Ф. Смаглий, П.В. Кардашов, П.В. Литвак та ін. – Київ: Вища освіта, 2006. – 671 с.

149. Собко, А.А. Программирование урожаев – в основу прогрессивных технологий / А.А. Собко. – Київ: Урожай, 1984. – 148 с.

150. Соколов, І.Д. Періодичність урожаїв зернових / І.Д. Соколов, І.Ф. Тарапатов // Степове землеробство. – 1995. – № 29. – С. 29–32.

151. Соколов, И.Д. Анализ динамики изменения температуры воздуха в техногенном регионе / И.Д. Соколов, Е.Н. Пашутина, Е.И. Сыч, Т.И. Соколова // Збірник наукових праць Луганського національного аграрного університету. – 2003. – № 39(51). – С. 104–111.

152. Соколов, И.Д. Изменение климата востока Украины и его прогнозирование. Оптимистическое руководство / И.Д. Соколов, Е.Д. Долгих, Е.И. Соколова. – Луганск: Издательско-полиграфический центр «Элтон-2», 2010. – 133 с.

153. Соколов, И.Д. Многолетняя динамика осадков в Донбассе / И.Д. Соколов, Е.Н. Пашутина, Е.Д. Долгих и др. // Збірник наукових праць Луганського національного аграрного університету. – 2005. – № 52 (75). – С. 98–104.

154. Соколов, И.Д. Многолетняя динамика температуры воздуха в Луганской области / И.Д. Соколов, Е.Н. Пашутина, Е.И. Сыч и др. // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. – 2005. – № 3 – С. 47–53.

155. Соколов, И.Д. Моделирование динамики урожаев озимой пшеницы на юго-востоке Украины / И.Д. Соколов, О.П. Борисенко // Актуальные вопросы стабилизации агроэкосистем: матер. Международной научно-практической конференции (ЛНР, Луганск, 28–29 мая 2019 г.) – Луганск: Луганский сельскохозяйственный институт, 1996. – С. 31–32.

156. Соколов, И.Д. Связь экологического фактора «количество осадков» с урожайностью озимой пшеницы на юго-востоке Украины / И.Д. Соколов, Е.Н. Пашутина, О.А. Мостовой и др. // Збірник наукових праць Луганського національного аграрного університету. – 2005. – № 48 (71). – С. 89–95.

157. Соколов, И.Д. Факторы роста урожайности озимой пшеницы на юго-востоке Украины / И.Д. Соколов, Е.А. Фирсов, С.Ю. Наумов // Достижения науки и техники АПК. – 1991. – № 4. – С. 14–16.

158. Соколов, И.Д. Динамика изменений площадей угодий, и проблема охраны растительного мира / И.Д. Соколов, П.О. Милехин, В.Е. Харченко // Збірник наукових праць Луганського національного аграрного університету. – 2004. – № 39(51). – С. 115–117.

159. Соколов, И.Д. Моделирование динамики урожайности озимой пшеницы в Луганской области / И.Д. Соколов, С.Ю. Наумов, Н.В. Ковтун // Збірник наукових праць Луганського національного аграрного університету. – 1999. – № 5 (14). – С. 104–111.

160. Соколов, И.Д. Потребность в импорте зерна на Украине / И.Д. Соколов, Е.А. Фирсов, И.Ф. Тарапатов // Достижения науки и техники АПК. – 1992. – № 5. – С. 8–10.

161. Соколов, И.Д. Связь температуры атмосферного воздуха с урожайностью озимой пшеницы на юго-востоке Украины / И.Д. Соколов, Г.А. Стародворов, О.А. Мостовой // Збірник наукових праць Луганського національного аграрного університету. – 2006. – № 57 (80). – С. 104–107.

162. Соколов, И.Д. Климатические показатели экологических факторов Луганской гидрометеостанции с 1838–2015 годы: в помощь дипломникам / И.Д. Соколов, Е.Д. Долгих, Е.И. Соколова. – Луганск: Луганский национальный аграрный университет, 2016. – 24 с.

163. Соколов, И.Д. Компьютеризация агрономических и биологических расчетов / И.Д. Соколов, П.В. Шелихов, С.Ю. Наумов, Е.И. Сыч. – Луганск: Элтон-2, 2001. – 133 с.

164. Соколов, И.Д. Динамика врожаїв зернових та їх прогноз / И.Д. Соколов, И.Ф. Тарапатов, О.П. Борисенко // Вісник аграрної науки. – 1996. – № 9. – С. 41–43.

165. Сотнева, Н. И. Динамика климатических условий второй половины XX века района Джаныбекского стационара Северного Прикаспия / Н. И. Сотнева // Известия Российской академии наук. – 2004 – № 5. – С. 74–83.

166. Стадник, Б.Г. Вермикультивирование – многоцелевое рентабельное производство / Б.Г. Стадник // Агротехнический вестник. – 1997. – № 5. – С. 39–40.

167. Стародворов Г.А. Влияние температуры атмосферного воздуха на тепловой режим почвы в Луганской области // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова. – 2016. – № 4(45). – С. 139–143.

168. Стародворов, Г.О. Вплив температури повітря й опадів на врожайність гороху / Г.О. Стародворов, И.Д. Соколов // Вісник Білоцерківського державного аграрного університету. – 2006. – № 37. – С. 59–64.

169. 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 : матеріали III наук.-практ. конференції. – Дніпропетровськ, 2006. – С. 54–56.

170. Стародворов, Г.А. Влияние температуры воздуха и осадков на урожайность зерновых в целом / Г.А. Стародворов // Збірник наукових праць Луганського національного аграрного університету. – 2006. – № 66 (89). – С. 143–147.

171. 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.

172. 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.

173. Стародворов, Г.А. Связь продуктивности гороха с элементами климатопа на востоке Украины / Г.А. Стародворов // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. – 2013. – № 6. – С. 35–37.

174. Стародворов, Г.А. Связь урожайности кукурузы на зерно с температурой воздуха и осадками / Г.А. Стародворов // Научные труды Южного филиала Крымского агротехнологического университета Национального аграрного университета. – Симферополь, 2006. – № 96. – С. 146–150.

175. Стародворов, Г.О. Залежність мінливості врожайності озимої пшениці від температури повітря та опадів / Г.О. Стародворов, І.Д. Соколов, О.А. Мостовий // Вісник Дніпропетровського університету. – 2006. – № 3. – С. 164–169.

176. 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.

177. Ступенко, О.В. Вплив внесення соломи і сидератів на баланс азоту мінеральних добрив і продуктивність культур / О.В. Ступенко // Вісник аграрної науки. – 2005. – № 4. – С. 23–26.

178. Сукачѳв, В.Н. О соотношении понятий «географический ландшафт» и «биогеоценоз» / В.Н. Сукачѳв // Вопросы географии. – 1964. – Вып. 16. – С. 45–60.

179. Сыч, Е.И. Моделирование распределений выборочных средних и использование t -критерия Стъюдента в биологических и экологических исследованиях / Е.И. Сыч, Т.И. Соколова, И.Д. Соколов // Збїрник наукових праць Луганського національного аграрного університету. – 2005. – № 48 (71). – С. 61–65.

180. Таракан, М.І. Класифікація прогнозів урожайності та її моделювання / М.І. Таракан, М.А. Боровицька, В.В. Волкодав // Вісник аграрної науки. – 2001. – № 2. – С. 15–19.

181. Таракан, М.І. Потенціал продуктивності ярого ячменю в Україні / М.І. Таракан, В.П. Сорока, В.В. Волкодав // Вісник аграрної науки. – 1995. – № 4. – С. 101–106.

182. Тарапатов, И.Ф. Об отсутствии связи солнечной активности и урожайности озимой пшеницы на юго-востоке Украины / И.Ф. Тарапатов, И.Д. Соколов. – Деп. в ВИНТИ РАН, 1991. – № 734 – 7 с.

183. Теннант-Смит, Д. Бейсик для статистиков / Д. Теннант-Смит; пер. с англ. – Москва: Мир, 1988. – 208 с.

184. Терещук, С.М. Тенденції та особливості функціонування світового ринку зерна кукурудзи / С.М. Терещук // Економіка АПК. – 2004. – № 11. – С. 141–148.

185. Токаренко, В.Н. Оценка осеннего развития и продуктивность озимой пшеницы предельно поздних (октябрьских) сроков сева в условиях Луганской области / В.Н. Токаренко, А.В. Барановский, О.В. Еременко // Збїрник наукових праць Луганського національного аграрного університету. – 2004. – № 36 (48). – С. 122–128.

186. Уваров, Г.И. Как снизить отрицательное действие погодных факторов на озимую пшеницу / Г.И. Уваров // Зерновое хозяйство. – 2005. – № 3. – С. 21–22.

187. Уманець, Н.О. Вплив посухи і дефіциту азоту на інтенсивність фотосинтезу, ріст та продуктивність гібридів кукурузи: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.09 / Н.О. Уманець. – Київ, 1998. – 16 с.

188. Уманова, Е.С. Методы статистического анализа в агрометеорологии / Е.С. Уманова, О.Д. Сиротенко. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1968. – 198 с.
189. Урбах, В.Ю. Биометрические методы / В.Ю. Урбах. – Москва: Наука, 1964. – 416 с.
190. Урбах, В.Ю. Статистический анализ в биологических и медицинских исследованиях / В.Ю. Урбах. – Москва: Медицина, 1975. – 295 с.
191. Усатенко, Ю.И. Влияние технологических особенностей на предупреждение кризисных ситуаций в земледелии (в условиях бассейна реки Северский Донец): научное издание / Ю.И. Усатенко, М.В. Орешкин, М.В. Болотских и др. – Луганск: Глобус, 2005. – 194 с.
192. Хренов, Л.С. Народные приметы и календарь / Л.С. Хренов. – Москва: Агропромиздат, 1991. – 64 с.
193. Царенко, О.М. Комп'ютерні методи в сільському господарстві та біології / О.М. Царенко, Ю.А. Злобін, В.Г. Скляр, С.М. Панченко. – Суми: Видавництво «Університетська книга», 2000. – 203 с.
194. Цупенко, Н.Ф. Справочник агронома по метеорологии / Н.Ф. Цупенко. – Киев: Урожай, 1990. – 238 с.
195. Чайка, В.М. Екологічне обґрунтування прогнозу розповсюдження основних шкідників полевих культур в агроценозах України: автореф. дис. ... д-ра с.-г. наук: 03.00.16 / В.М. Чайка. – Київ, 2004. – 44 с.
196. Чапланова, Т.И. Схема перехода на выращивание экологически безопасной сельхозпродукции / Т.И. Чапланова // Агрехимический вестник. – 2002. – № 3. – С. 6–7.
197. Черемисов, А.А. Обзор расчетных методов определения суммарного испарения орошаемых сельскохозяйственных полей / А.А. Черемисов, А.Ю. Черемисов // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2016. – № 1 (21). – С. 113–133.
198. Четыркин, Е.М. Статистические методы прогнозирования / Е.М. Четыркин // Статистика. – 1977. – С. 15–18.
199. Чирков, Ю.И. Основы агрометеорологии. / Ю.И. Чирков. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1982. – 245 с.

200. Чубко, О. Від чого залежить урожайність кукурудзи / О. Чубко // Агросектор. – 2005. – № 1 (4). – С. 23–27.

201. Шапоринська, Н.М. Урожайність та якість зерна і насіння сортів озимої м'якої і твердої пшениці залежно від умов вирощування на півдні України: автореф. дис. ... канд. с.-г. наук: 06.01.09 / Н.М. Шапоринська. – Херсон, 2005. – 16 с.

202. Шевченко, А.М. Напрями вдосконалення селекції гороху / А.М. Шевченко, П.М. Чекригін // Вісник аграрної науки. – 2000. – № 12. – С. 31–32.

203. Шевченко, М.С. Екологічна доцільність застосування гербицидів при вирощуванні пшениці озимої і кукурудзи / М.С. Шевченко, В.С. Рибка, В.О. Жарій // Вісник аграрної науки. – 2002. – № 2. – С. 66–69.

204. Шевченко, О.О. Продуктивність озимої пшениці залежно від попередників, добрив та обробітку ґрунту в степу України: автореф. дис. ... канд. с.-г. наук: 06.01.01 / О.О. Шевченко – Дніпропетровськ, 2002. – 17 с.

205. Шелихов, П.В. Экология и охрана природы Донбасса / П.В. Шелихов, И.Д. Соколов, Е.И. Сыч, Т.И. Соколова. – Луганск: Изд-во ЛНАУ, 2003. – 282 с.

206. Шерстобоева, О.В. Вплив попередників на врожайність пшениці озимої та інтродукцію діазотрофів / О.В. Шерстобоева, Я.В. Чабанюк, В.В. Гармашов // Вісник аграрної науки. – 2003. – № 11. – С. 33–35.

207. Шмараев, Г.Е. Кукуруза (филогения, классификация, селекция) / Г.Е. Шмараев. – Москва: Колос, 1975. – 303 с.

208. Шмараев, Г.Е. Культурная флора СССР: Кукуруза / Г.Е. Шмараев, Т.А. Ярчук, Л.И. Орел. – Москва: Колос, 1982. – Т. 4. – 295 с.

209. Шульга, М.С. Горох / М.С. Шульга. – Киев: Урожай, 1971. – 140 с.

210. Эзрохин, Л.М. Влияние климата и потепления на урожайность озимой пшеницы в регионе / Л.М. Эзрохин, А.И. Зезюкин, Т.Д. Черемисова // Зерновое хозяйство. – 2002. – № 8. – С. 18–19.

211. Югенхеймер, Р.У. Кукуруза: улучшение сортов, производство семян, использование / Р.У. Югенхеймер. – Москва: Колос, 1979. – 519 с.

212. Allen, J. Space Biospheres / J. Allen, M. Nelson // Synergetic Pr. – 1989. – P. 26–27.

213. Baier, W. Note on the terminology of crop-weather models / W. Baier // Agriculture and food security. – 1979. – Vol. 2 – P. 137–145.
214. Begon, M. Ecology. Individuals, Populations and Communities / M. Begon, I. Harper, C. Townsend // Blackwell Scientific Publications. – 1985. – P. 543–546.
215. Bretshneider, B. Air pollution control technology / B. Bretshneider, J. Kurffurst // Elsevier Science. – 1987. – P. 56–58.
216. Carlos, A. Neyra. Biochemical basis of plant breeding / A. Neyra Carlos // CRC Press. – 1986. – Vol. 2. – P. 138–140.
217. Curry, R. Dynamic simulation of plant growth. Part 1. Development of a model / R. Curry // Journal of Biogeography. – No. 5. – 1975. – P. 946–959.
218. Curry, R. Dynamic simulation of plant growth. Part 2. Incorporation of actual daily weather and partitioning of net photosynthate / R. Curry, L. Chen // Journal of Biogeography. – 1971. – Vol. 14. No. 6. – P. 1170–1174.
219. Duffus, C.M. Carbohydrate metabolism in plants / C.M. Duffus, I.H. Duffus // Longman, London and New York. – 1984. – P. 14–21.
220. Gentry O. Catalog of Biospheres / O. Gentry // Arizona. – 1985. – P. 108–109.
221. Höfling, H. Alarm im Jahre 2000. Zeitbomben auf unserem Planeten / H. Höfling // Reutlingen. – 1981. – S. 29–31.
222. Hesketh, J. Simulation of growth and yield in cotton / J. Hesketh, D. Baker, W. Duncan // Crop Science. – 1972. – Vol. 12. – P. 436–439.
223. Hesketh, J. Some comments on computer simulators for plant growth / J. Hesketh, J. Jons // Ecol. Modelling. – 1976. – Vol. 2. – P. 235–247.
224. Hodges, T. Modelling dalfy dry matter production of winter wheat / T. Hodges, E. Kanemasu // Argon. – 1977. – Vol. 6, No. 6. – P. 974–978.
225. Horie T. Simulation of sunflower growth. 1. Formulation and parametrization of dry matter production / T. Horie // Bull Natl Inst Agric Sci. – 1977. – P. 45–70.
226. Loomis R. Explanatory models in crop physiology / R. Loomis, R. Rabbing // Annu Rev Plant Physiol. – 1979. – Vol. 30. – P. 339–367.
227. Miles, G. The development and use of physiologically based crop models / G. Miles, R. Peart, D. Holt. – ASAE Paper, 1973. – No. 73–4547. – 12 p.

228. Miles, G.E. Simulation of alfalfa growth / Miles G.E. et al. // ASAE Paper. – 1973. – No. 73. – P. 14–16.
229. Paul S. Giller. Community Structure and the Niche / Paul S. Giller. – London–New York : Chapman and Hall, 1985. – 178 p.
230. Rickman, R. Modelling dry matter accumulation in dryland winter wheat / R. Rickman, R. Ramig, R. Allmaras // Agron. J. – 1975. – Vol. 67, No. 3. – P. 283–289.
231. Ruhinder, A. Effect of plant density and water supply on wheat production / A. Ruhinder, M. Matsuda // Neth. J. Agric. Sci. – 1975. – Vol. 26, No. 3. – P. 283–289.
232. Shawcroft, R.W. The soil – plant – atmosphere model and some of its predictions / R.W. Shawcroft, E.R. Lemon // Agric. Met. – 1974. – Vol. 14, No. 12. – P. 287–307.
233. Straškraba, M. Freshwater ecosystems. Modelling and simulation / M. Straškraba, A.H. // Gnauk. – Amsterdam, 1985. – P. 87–91.
234. Takeda, G. Ecological studies on the photosynthesis of winter cereals. 4. Model simulation of dry matter growth of six–rowed barley / G. Takeda, H. Iwaki, S. Takayanagi // Jap. J. Crop. Sci. – 1977. – Vol. 46, No. 2. – P. 178–192.
235. Weber, E. Grundriss der biologischen Statistik / E. Weber. – Iena Springer Verlag, 1957. – 287 s.
236. Witde, C. Tetal. Simulation of assimilation, respiration and transpiration of crops / C. Witde. – Wageningen: Pudoc, 1978. – 141 p.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А. Исходные данные для построения модели
«Погода – урожайность», 1945–2013 гг. (Таблицы 1–3)

Таблица 1 – Урожайность основных сельскохозяйственных культур, ц/га

Годы	Зерновые	Озимая пшеница	Кукуруза	Ячмень яровой	Горох	Подсолнечник
1	2	3	4	5	6	7
1945	6,1	8,1	6,2	-	-	2,5
1946	2,6	5,0	1,6	-	-	1,6
1947	8,8	10,3	8,7	-	-	4,7
1948	9,1	14,7	6,9	-	-	6,7
1949	7,5	8,0	10,9	-	-	7,2
1950	8,0	6,9	15,4	-	-	8,9
1951	9,0	10,0	10,0	-	-	7,4
1952	12,1	12,6	14,1	-	-	8,9
1953	8,4	9,6	8,2	-	-	8,2
1954	4,8	8,1	1,5	-	-	3,0
1955	17,2	18,3	15,5	-	-	13,6
1956	7,7	6,0	13,0	-	-	11,7
1957	15,9	18,9	8,5	-	-	9,1
1958	18,3	17,9	19,3	-	-	17,6
1959	16,0	19,2	11,7	-	-	9,5
1960	12,8	13,3	14,9	-	-	10,4
1961	19,9	24,9	19,4	-	-	11,6
1962	15,4	19,6	14,3	-	-	11,0
1963	8,5	6,9	10,8	-	-	8,6
1964	23,0	23,8	31,4	-	-	16,8
1965	13,4	12,6	15,2	-	-	10,6
1966	18,7	22,7	21,4	-	-	15,0
1967	16,2	18,0	27,1	-	-	17,9
1968	15,3	17,6	22,6	-	-	16,0
1969	22,3	18,1	29,5	-	-	18,8
1970	20,8	24,5	20,6	-	-	13,6
1971	19,2	18,9	23,6	-	-	13,9
1972	12,8	14,9	14,0	-	-	12,7
1973	28,3	29,2	32,0	-	-	19,6
1974	22,6	28,2	17,5	-	-	14,7
1975	15,3	20,1	17,8	11,1	4,2	13,5
1976	23,6	26,6	23,8	22,2	19,1	14,9
1977	21,5	24,8	26,8	16,4	22,8	15,1
1978	28,3	34,5	26,3	21,9	20,5	12,8
1979	11,7	16,8	15,1	9,2	4,1	14,5
1980	22,9	24,7	25,6	23,1	23,5	12,2
1981	18,0	21,5	19,5	12,4	8,8	14,1
1982	20,6	20,2	30,4	16,8	18,1	15,6
1983	19,5	26,8	21,8	19,6	15,4	13,3
1984	15,1	17,6	21,3	13,2	9,7	12,0
1985	26,0	27,2	28,3	27,9	25,6	11,0

1	2	3	4	5	6	7
1986	18,9	23,2	17,6	21,3	9,2	13,3
1987	27,8	29,9	32,1	25,6	24,1	18,6
1988	26,8	31,7	31,4	19,7	19,1	17,7
1989	34,1	39,6	41,3	27,2	25,5	20,6
1990	30,9	37,2	37,4	27,8	21,4	16,5
1991	25,4	32,3	28,5	21,6	10,7	14,9
1992	29,4	34,8	25,4	29,1	26,0	15,2
1993	24,9	31,1	22,8	23,9	19,3	10,8
1994	21,9	26,2	16,1	24,0	18,3	9,2
1995	16,9	21,0	27,7	14,5	6,7	16,1
1996	14,7	20,2	14,8	9,5	7,6	8,9
1997	18,8	23,9	21,8	12,9	8,4	11,6
1998	12,2	15,3	20,7	7,7	6,3	9,4
1999	11,7	12,6	16,5	11,1	7,2	9,6
2000	11,8	9,4	18,2	9,6	13,6	10,4
2001	22,3	33,8	13,2	19,4	18,8	7,9
2002	21,3	26,9	16,4	17,8	12,4	10,0
2003	16,3	16,3	28,2	14,7	12,0	9,7
2004	22,2	27,2	28,7	19,2	20,3	8,5
2005	25,4	31,8	35,3	15,4	11,8	11,5
2006	17,1	18,3	25,1	14,6	15,5	13,1
2007	18,5	22,5	25,4	9,9	6,5	15,0
2008	32,6	39,6	26,6	23,1	19,5	14,8
2009	21,2	24,4	21,7	14,2	13,2	12,3
2010	19,6	23,5	17,4	12,5	13,7	10,5
2011	24,7	25,3	33,6	20,8	10,2	16,4
2012	26,1	27,8	29,5	20,1	17,0	16,4
2013	24,8	24,1	15,6	15,6	10,8	18,4

Таблица 2 – Среднемесячные температуры по Луганской метеостанции, °С

Годы	Месяцы											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	11	13
1943	-12,8	-5,4	-0,4	11,7	16,6	20,7	21,8	21,7	15,2	9,4	2,8	-3,1
1944	-2,1	-2,0	2,4	8,8	15,3	19	21,5	18,6	17,0	8,9	3,6	-5,9
1945	-6,9	-8,7	-1,2	6,4	12,9	18,2	21	19,8	14,2	7,0	-0,8	-8,3
1946	-5,7	-0,6	1,3	8,9	16,9	23,6	21,5	23,1	17,2	3,7	0,4	-6,2
1947	-11,2	-4,4	3,1	9,2	14,5	20,7	23,5	20,3	14,1	5,0	3,3	2,1
1948	0,2	-3,4	-3,2	8,3	17,9	23,0	21,4	21,5	12,9	7,7	0,8	-6,9
1949	-4,2	-8,1	-0,3	7,4	18,6	19,9	22	21,1	15,4	6,2	3,8	-2
1950	-16,1	-4,6	0,7	14,3	17,9	18,9	19,9	18,9	16,9	7,6	2,8	-0,7
1951	-6,8	-9,6	1,7	13,6	15,8	21,7	23,7	22,6	14,4	3,9	1,4	-1,2
1952	-1,5	-2,1	-4,6	7,7	15,2	19,4	21,6	22,0	17,0	11,6	3,1	-3
1953	-4,0	-6,4	-1,8	8,0	16,3	22,4	24	23,3	14,7	6,8	-4,2	-5,6
1954	-14,4	-18,2	-2,5	7,2	17,8	23,9	25,3	23,9	17,3	8,4	3,6	-1,4
1955	-1,6	0,6	0,7	6,6	16,4	19,3	23,3	20,3	16,1	12,6	-0,4	-4,6
1956	-5,3	-15,4	-3,8	8,5	14,2	22,4	20,2	22,2	12,5	8,9	-2,9	-3,4
1957	-6,4	0	-1,3	12,0	18,8	21,8	22,8	23,0	17,9	6,5	2,0	-0,5
1958	-3,7	-1,2	-0,1	7,4	17,3	18,4	20,6	20,5	11,4	6,6	0,6	-0,9
1959	-1,5	-5,7	-1,8	9,6	16,9	20,3	24,7	21,4	12,0	4,1	-2,6	-6,2
1960	-1,7	-3,8	-2,3	8,2	15,2	22,0	24,2	20,1	13,2	9,9	2,0	3,0
1961	-4,4	-1,6	2,7	9,4	14,4	21,4	21,8	21,1	13,5	8,1	1,6	-1,8
1962	-3,2	-3,1	2,9	11,2	16,7	20,0	22,7	20,6	16,2	10,0	3,8	-3,0
1963	-10,8	-3,0	-3,5	8,4	18,8	19,0	23,7	21,7	17,1	8,6	4,0	-7,0
1964	-8,4	-7,4	-2,7	8,9	14,5	21,5	21,3	18,7	14,6	8,6	1,5	-0,2
1965	-6,5	-8,4	0,7	5,9	15,0	20,1	22,3	21,5	15,2	5,3	2,0	2,2
1966	-0,8	0,2	3,9	12,7	16,7	18,3	24,1	22,7	14,3	10	4,1	-3,0
1967	-6,6	-9,5	-0,1	10,8	19,4	19,1	21,2	21,3	14,6	10,6	3,6	-3,6
1968	-7,1	-4,4	1,5	10,8	18,3	20,7	21,2	20,3	17,1	7,3	1,8	-2
1969	-11,4	-9,3	-1,3	8,8	15,6	20,2	20,2	21,4	13,6	6,4	5,2	-4,3
1970	-6,4	-1,6	1,9	12,6	16,3	18,5	24,2	19,6	14,6	8,4	3,5	-4,6
1971	-1,4	-6,8	-0,6	7,8	16,0	19,5	23,1	21,9	16,7	6,9	5,2	-0,6
1972	-14,5	-7,8	-0,4	12,3	17,0	23,6	24	24,8	15,5	8,6	3,9	-0,9
1973	-9,6	1,0	1,6	12,1	16,5	18,8	20,9	18,1	11,6	7,8	1,4	-1,0
1974	-8,7	-2,7	1,2	6,7	14,5	18,9	20,8	19,8	16,5	12,7	3,3	0,1
1975	-1,6	-4,8	2,5	15,0	19,8	24,3	22,9	20,6	16,4	6,6	-1,4	-2,3
1976	-5,1	-11,0	-1,5	11,5	14,4	18,3	18,8	18,9	14,5	3,0	1,5	-0,7
1977	-10,7	-0,5	3	10,8	16,4	18,8	20,9	19,2	12,7	5,5	5,3	-7,2
1978	-6,8	-4,2	5,1	9,4	13,5	17,3	20,5	18,9	15,2	7,8	3,5	-5,2
1979	-5,4	-4,6	2,6	8,6	20,5	21,4	20,6	23,0	16,1	5,8	2,3	-0,2
1980	-9,3	-5,8	-3,6	8,2	14,1	19,4	21,8	18,1	13,8	7,7	3,4	2,3
1981	-1,8	-1,3	0,1	6,8	15,4	22,6	23,6	21,2	15,8	10,5	2,7	1,7
1982	-3,9	-9,1	-0,3	9,8	14,9	17,6	19,9	19,9	15,3	7,4	1,5	1,3
1983	-2,5	-0,3	2,0	13,1	17,9	19,1	21,7	18,8	15,2	8,7	0,7	-2,1
1984	-0,6	-7,0	1,7	9,7	18,9	19,9	21,7	19,2	16,5	8,9	1,0	-7,2
1985	-5,0	-11,4	-4,8	9,7	18,5	19	19,6	23,5	14,1	7,4	1,3	-3,5
1986	-0,8	-9,2	1,2	13,2	15,4	21,3	21,3	22,6	15,7	7,8	-1,4	-4,1
1987	-11,9	-5,6	-6,3	3,3	16	20	21,4	18,3	13,3	6,6	0,9	-3,5
1988	-7,0	-5,7	2,7	9,2	15,3	20,6	23	20,5	15,1	7,5	-2,3	-3,5
1989	-1,5	1,0	5,1	10,9	14,3	21	20,5	21,6	15,4	8,9	2,0	-0,9
1990	-2,8	0,7	5,6	11,3	14,2	18,0	22,0	19,3	14,5	8,5	5,9	-0,7
1991	-2,9	-6,9	-0,2	10,6	14,9	21,8	24,4	21,1	14,9	11,3	2,2	-3,5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	11	13
1992	-2,4	-4,3	4,0	8,7	13,9	19,7	19,7	21,0	13,5	7,4	2,9	-4,5
1993	-0,5	-0,3	1,0	8,1	15,5	17,9	19,8	19,7	12,0	7,6	-6,6	-1,7
1994	0,1	-8,9	-0,7	11,7	14,6	17,9	21,3	20,4	19,7	10,3	0,4	-6,6
1995	-3,3	2,1	4,1	12,0	16,4	22,7	21,7	20,5	16,0	7,9	3,0	-4,2
1996	-10,1	-5,3	-2,9	9,3	19,4	19,9	24,3	20,6	13,0	7,7	5,9	-3,7
1997	-7,7	-3,8	1,2	7,5	17,1	20,8	20,8	19,3	11,7	8,2	2,0	-4,9
1998	-4,7	-3,6	1,9	11,5	16,3	22,7	24,1	21,2	15,8	9,5	-0,8	-3,3
1999	-0,9	-0,2	5,4	12,0	13,0	22,8	25,2	22,0	15,5	9,5	-2,3	1,7
2000	-5,2	-0,1	2,2	13,8	13,7	19,3	23,0	21,5	14,3	7,8	0,7	1,4
2001	-0,1	-2,0	3,8	11,6	14,7	18,4	26,3	21,9	15,5	7,7	3,5	-7,6
2002	-3,4	3,6	5,2	9,0	15,4	19,8	25,8	20,4	17,2	8,4	4,0	-9,2
2003	-3,7	-8,6	-1,5	7,8	18,9	18,1	21,3	21,0	14,7	8,8	3,0	-1,0
2004	0,2	-1,4	5,2	9,6	15,0	18,2	20,5	21,7	15,6	8,7	3,3	-0,6
2005	0,3	-6	-1,2	11,3	18,5	19,5	21,2	21,8	16,9	9,8	4,2	0,5
2006	-10,5	-8,1	1,8	10,0	16,1	21,4	20,4	24,5	16,4	10,6	3,9	1,1
2007	2,6	-2,5	4,2	8,6	18,7	21,4	23,9	24,8	17,0	10,5	0,8	-1,8
2008	-7,0	-1,5	6,2	11,9	14,5	19,6	22,7	23,5	14,8	10,5	3,6	-2,6
2009	-4,7	-0,7	3,0	8,3	15,1	23,3	24,4	19,8	16,8	9,8	4,1	0,1
2010	-7,5	-2,9	2,0	10,0	17,7	23,7	25,9	25,9	17,4	6,7	8,7	1,2
2011	-6,3	-8,4	-0,3	8,7	17,3	21,0	24,7	21,1	15,4	8,4	-0,2	2,2
2012	-4,8	-10,5	-0,4	14,3	19,3	22,5	24,9	23,3	17,1	12,4	4,3	-3,9
2013	-1,5	-0,1	1,9	11,7	20,4	22,4	22,8	22,2	13,4	8,4	5,6	-1,2
2014	-5,4	-2,1	4,5	9,6	18,9	19,5	22,2	22,1	15,5	8,6	0,7	-1,7
2015	-2,9	-1,2	3,6	9,3	15,9	22,0	22,8	22,1	19,6	5,6	4,6	1,2
2016	-5,1	3,1	4,9	12,5	16,0	21,3	23,3	24,2	14,0	6,6	2,0	-4,5
2017	-3,9	-3,6	5,4	9,2	15,0	19,9	22,4	23,8	17,4	8,6	3,0	3,3
2018	-2,8	-3,1	-1,2	11,9	18,5	21,6	23,7	22,5	18,0	10,6	-0,3	-1,6
2019	-3,7	-0,9	4,4	10,1	17,6	23,3	21,2	20,3	14,7	10,8	3,6	1,8

Таблица 3 – Месячные суммы осадков по Луганской метеостанции, мм

Годы	Месяцы											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	11	13
1944	24	18	41	40	41	27	46	34	17	3	41	31
1945	16	3	20	48	27	87	35	95	46	52	46	15
1946	14	24	31	24	16	4	58	32	20	78	65	9
1947	13	30	28	17	34	41	39	54	44	55	90	52
1948	16	54	8	3	100	24	24	45	17	32	23	2
1949	23	3	33	22	16	74	55	0	11	8	24	14
1950	14	21	20	23	6	28	71	2	19	68	26	8
1951	21	10	19	14	28	25	30	72	39	8	33	7
1952	20	18	41	9	34	44	42	43	37	55	17	59
1953	22	36	32	6	28	50	52	2	27	7	13	5
1954	33	3	2	27	56	1	59	79	17	43	27	14
1955	28	76	12	40	23	49	41	75	0	44	25	27
1956	74	17	16	21	42	27	39	14	33	48	40	9
1957	15	11	26	3	69	0	46	15	9	22	17	48
1958	22	33	25	57	34	166	74	37	2	20	10	37
1959	74	22	33	19	59	11	29	4	82	21	9	24
1960	21	32	11	44	21	38	40	85	7	92	53	32
1961	30	43	42	25	83	76	30	12	41	37	50	24
1962	19	3	63	16	28	87	21	23	1	12	12	69
1963	47	9	34	28	50	42	17	27	86	28	32	61
1964	10	37	19	36	82	24	130	28	11	9	26	9
1965	7	47	11	46	43	13	3	9	6	10	83	41
1966	84	44	67	39	35	69	22	73	7	36	49	91
1967	80	16	10	29	43	88	14	102	17	21	22	97
1968	58	40	24	13	8	40	57	76	39	77	19	14
1969	21	7	15	28	9	162	66	8	38	31	38	45
1970	78	41	37	54	71	38	8	38	24	34	45	24
1971	7	18	33	3	75	80	16	49	50	29	48	41
1972	1	10	20	46	47	43	99	23	41	37	79	6
1973	26	31	26	60	55	76	40	76	9	73	59	23
1974	10	7	37	60	82	66	46	6	50	69	41	65
1975	16	23	39	39	25	5	61	19	27	16	40	21
1976	41	5	17	73	13	65	62	47	59	4	31	79
1977	12	55	34	67	37	98	110	95	46	17	71	33
1978	43	16	12	46	43	54	28	26	41	12	5	67
1979	38	74	19	41	3	5	41	28	11	22	26	23
1980	30	9	23	121	55	40	89	60	56	14	64	63
1981	31	70	30	60	14	12	16	60	8	41	90	51
1982	53	23	44	45	62	54	65	83	15	19	17	22
1984	31	12	19	12	46	24	50	60	4	62	23	26
1985	45	58	15	17	37	85	43	34	53	4	50	34
1986	95	16	2	15	49	76	24	2	11	10	23	52
1987	63	36	41	44	39	101	43	36	53	1	29	18
1988	12	37	21	31	28	107	94	19	51	12	70	48
1989	12	37	21	43	54	122	93	1	74	23	41	38
1990	46	7	29	12	31	36	5	25	39	24	30	42
1991	40	32	14	19	87	45	35	45	30	31	30	28
1992	22	58	28	22	119	65	234	36	122	27	46	19
1993	20	27	23	43	52	68	105	62	41	18	3	80

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	11	13
1994	33	16	50	19	25	42	1	30	14	21	32	19
1995	47	41	19	35	25	115	59	48	58	46	55	63
1996	12	58	24	48	60	70	7	103	123	53	8	33
1997	30	20	44	48	32	84	120	70	65	90	42	57
1998	16	24	46	24	49	27	33	54	1	33	55	48
1999	27	47	27	21	79	11	31	15	21	71	56	58
2000	39	19	52	15	39	48	79	42	66	24	17	22
2001	15	32	36	64	57	86	83	33	142	22	62	43
2002	13	37	73	25	19	48	64	52	62	60	38	22
2003	43	49	22	23	2	83	116	21	6	37	46	11
2004	80	84	26	17	37	125	84	42	48	65	44	49
2005	72,4	36,3	31,8	23,6	33,7	83,2	94,5	21,8	8,6	58	58,5	48,8
2006	13,1	50,9	51,2	63,4	26,4	106,5	53,2	10,6	16,3	37,7	54,9	17,7
2007	40,8	11,4	22,9	26,3	9,9	66,1	13,5	11	63,7	20,9	38	19,4
2008	14,8	9,4	39,4	70	71,9	23,7	61,1	4,6	60,7	17,8	9,4	15,3
2009	19,1	52,4	58,1	2,2	57,3	9,8	41,3	18,9	33,1	58	42,6	112,2
2010	58,5	32,2	22	35,5	90,9	20,4	47,9	4,9	52,4	39,6	33,5	59,2
2011	25,8	20,9	30,3	24,9	28,8	151,1	66,2	21	26	47,2	16,7	40,8
2012	40	54	22	55	53	34	28	21	5	9	13	77
2013	77	14	35	17	20	3	31	60	71	70	12	15
2014	47	14	24	44	67	43	61	44	50	6	17	65
2015	27	16	10	118	37	52	26	16	25	28	48	23
2016	55	36	25	41	80	26	87	43	58	22	20	34
2017	33	29	26	64	49	57	87	12	15	52	49	22
2018	46	31	85	14	42	86	51	9	33	25	27	58
2019	91	2	40	99	75	23	96	0	18	41	27	14

**Приложение Б. Результаты множественного
корреляционно-регрессионного анализа (Таблицы 4–11)**

Таблица 4 – Основная статистика признака «урожайность озимой пшеницы»

Descriptive Statistics (Озимая пшеница август-июль)											
	Valid N	Mean	Minimum	Maximum	Std.Dev.	Coef.Var.	Standard Error	Skewness	Std.Err. Skewness	Kurtosis	Std.Err. Kurtosis
Оз. пш.	69	21,12319	5,000000	39,60000	8,495918	40,22081	1,022788	0,063134	0,288737	-0,527801	0,570095

Таблица 5 – Коэффициенты парной корреляции температуры воздуха и атмосферных осадков по месяцам (1945–2013 гг.)

Месяцы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0,26*											
2	-0,12	0,25*										
3	-0,05	0,12	0,28*									
4	0,15	-0,13	0,07	-0,08								
5	0,178941	0,08	-0,12	-0,19	-0,26							
6	-0,14	0,07	-0,14	-0,23	0,09	-0,40***						
7	-0,05	0,02	0,20	-0,12	0,16	-0,31**	-0,31**					
8	0,09	0,06	-0,08	-0,23	0,04	-0,13	-0,17	-0,31**				
9	-0,08	-0,08	0,16	-0,25*	-0,14	-0,29*	-0,21	-0,28*	-0,21			
10	0,06	0,12	0,15	0,03	0,13	0,008	-0,12	-0,01	-0,20	0,19		
11	0,02	0,009	0,14	0,14	0,06	0,03	-0,07	0,08	0,17	0,11	0,14	
12	-0,03	0,07	-0,09	0,12	-0,001	-0,05	0,03	-0,12	-0,25*	0,11	0,18	0,15

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

Таблица 6 – Результаты пошагового регрессионного анализа (озимая пшеница)

Multiple Regression Results (Step 3)

Dependent: Оз. пш. Multiple R = ,71702341 F = 10,93403
 R² = ,51412257 df = 6,62
 No. of cases: 69 adjusted R² = ,46710217 p = ,000000
 Standard error of estimate: 6,202007870
 Intercept: 7,868858761 Std. Error: 2,566951 t(62) = 3,0654 p = ,0032
 т янв сбор b* = ,250 т март сбор b* = ,258 ос. сент. сбo b* = ,260
 ос. апр. сбор b* = ,294 ос. май сбор b* = ,349 ос. июнь сбор b* = ,292

Таблица 7 – Результаты множественного корреляционно-регрессионного анализа (озимая пшеница)

Multiple Regression Results
 Dependent: Оз. пш. Multiple R = ,93040639 F = 2,684825
 R² = ,86565604 df = 48,20
 No. of cases: 69 adjusted R² = ,54323055 p = ,009286
 Standard error of estimate: 5,741942808
 Intercept: 34,746501841 Std. Error: 41,78479 t(20) = ,83156 p = ,4155
 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17
 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32
 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47
 48 49 50

Таблица 8 – Результаты множественного корреляционно-регрессионного анализа (озимая пшеница) УНПАК «Колос» ЛГАУ, 1995–2019 гг.

Multiple Regression Results
 Dependent: Var2 Multiple R = ,86855113 F = 3,992752
 R² = ,75438106 df = 10,13
 No. of cases: 24 adjusted R² = ,56544342 p = ,011159
 Standard error of estimate: 7,093215672
 Intercept: -83,51509333 Std. Error: 34,57084 t(13) = -2,416 p = ,0312
 Var3 b* = ,574 Var4 b* = ,333 Var5 b* = ,383
 Var6 b* = ,489 Var7 b* = ,079 Var8 b* = ,246
 Var9 b* = ,982 Var10 b* = -,03 Var11 b* = ,319
 Var12 b* = ,457

Таблица 9 – Параметры (коэффициенты) уравнения регрессии («b») (озимая пшеница)

Regression Summary for Dependent Variable: Оз. пш. (Озимая пшеница август-июль) R= ,93040639 R ² = ,86565604 Adjusted R ² = ,54323055 F(48,20)=2,6848 p						
Независимые переменные	b*	Std. Err. - of b*	Коэффициенты множественной регрессии	Std. Err. - of b	t(20)	p-value
Независимый член (Intercept)			34,74650	41,78479	0,83156	0,415476
t август	-0,160132	0,163256	-0,79541	0,81093	-0,98087	0,338376
t сентябрь	0,100701	0,187070	0,50747	0,94272	0,53831	0,596307
t октябрь	-0,117556	0,193085	-0,51073	0,83887	-0,60883	0,549492
t ноябрь	-0,088098	0,143606	-0,29639	0,48314	-0,61347	0,546479
t декабрь	0,438471	0,196828	1,27693	0,57321	2,22768	0,037544
t январь	-0,170864	0,135868	-0,36350	0,28905	-1,25758	0,223031
t февраль	0,120099	0,191992	0,24453	0,39091	0,62554	0,538688
t март	0,367831	0,177206	1,11458	0,53696	2,07572	0,051031
t апрель	-0,182833	0,145674	-0,67950	0,54140	-1,25508	0,223916
t май	0,336172	0,162361	1,55893	0,75292	2,07052	0,051561
t июнь	0,045195	0,195623	0,21273	0,92077	0,23103	0,819638
t июль	-0,359616	0,181070	-1,70933	0,86067	-1,98606	0,060905
t август	-0,042816	0,151000	-0,21032	0,74174	-0,28355	0,779669
t сентябрь	0,224157	0,189216	1,11864	0,94427	1,18466	0,250039
t октябрь	0,206914	0,185938	0,87157	0,78322	1,11281	0,278988
t ноябрь	-0,445970	0,219045	-1,49243	0,73303	-2,03597	0,055216
t декабрь	0,377870	0,188409	1,09882	0,54788	2,00558	0,058620
t январь	-0,160908	0,225654	-0,34170	0,47919	-0,71307	0,484038
t февраль	0,180476	0,225507	0,36540	0,45657	0,80031	0,432933
t март	0,274337	0,165921	0,83235	0,50341	1,65342	0,113857
t апрель	-0,065472	0,165709	-0,24251	0,61379	-0,39510	0,696950
t май	0,116994	0,144813	0,52482	0,64961	0,80790	0,428656
t июнь	-0,169280	0,195079	-0,79307	0,91393	-0,86775	0,395823
t июль	-0,058823	0,170951	-0,27988	0,81338	-0,34410	0,734366
осадки август	-0,222002	0,153585	-0,06787	0,04695	-1,44547	0,163814
осадки сентябрь	0,478686	0,194490	0,13743	0,05584	2,46124	0,023061
осадки октябрь	0,058337	0,192762	0,02168	0,07164	0,30263	0,765293
осадки ноябрь	-0,202517	0,213222	-0,08382	0,08825	-0,94979	0,353554
осадки январь	0,393694	0,174623	0,15238	0,06759	2,25454	0,035531
осадки февраль	-0,157267	0,164400	-0,06845	0,07156	-0,95661	0,350184
осадки март	-0,123594	0,150494	-0,07227	0,08799	-0,82126	0,421183
осадки апрель	0,112119	0,146345	0,04541	0,05927	0,76613	0,452547
осадки май	0,291257	0,197069	0,10073	0,06816	1,47795	0,154997
осадки июнь	0,195834	0,157584	0,04322	0,03478	1,24273	0,228341
осадки июль	-0,229088	0,212904	-0,05059	0,04701	-1,07601	0,294731
осадки август	0,030057	0,138657	0,00925	0,04266	0,21678	0,830579
осадки сентябрь	0,627901	0,176512	0,17889	0,05029	3,55727	0,001975
осадки октябрь	-0,052211	0,155717	-0,01951	0,05819	-0,33530	0,740893
осадки ноябрь	0,146628	0,168665	0,06041	0,06949	0,86935	0,394971
осадки декабрь	-0,240607	0,148176	-0,08455	0,05207	-1,62380	0,120076
осадки январь	0,301374	0,178604	0,11346	0,06724	1,68739	0,107064
осадки февраль	0,122714	0,163464	0,05330	0,07099	0,75071	0,461569
осадки март	-0,302544	0,235073	-0,17758	0,13798	-1,28702	0,212785
осадки апрель	-0,009047	0,140931	-0,00365	0,05687	-0,06419	0,949453
осадки май	0,278690	0,164085	0,09577	0,05639	1,69844	0,104929
осадки июнь	0,137654	0,153120	0,03008	0,03346	0,89900	0,379351
осадки июль	0,115812	0,154949	0,02551	0,03414	0,74742	0,463509

Таблица 10 – Фактические (Observed) и расчётные (Predicted) значения урожайности озимой пшеницы

Predicted & Residual Values (Озимая пшеница август-июль) Dependent variable: Оз. пшеница					
Годы	Фактическая урожайность	Расчётная урожайность	Разность	Standard - Pred. v.	Standard - Residual
1	2	3	4	5	6
1945	8,10000	9,84315	-1,74315	-1,42701	-0,30358
1946	5,00000	6,82584	-1,82584	-1,80872	-0,31798
1947	10,30000	5,76882	4,53118	-1,94245	0,78914
1948	14,70000	15,74448	-1,04448	-0,68045	-0,18190
1949	8,00000	12,68504	-4,68504	-1,06749	-0,81593
1950	6,90000	7,45429	-0,55429	-1,72922	-0,09653
1951	10,00000	15,29860	-5,29861	-0,73685	-0,92279
1952	12,60000	12,41903	0,18097	-1,10114	0,03152
1953	9,60000	3,40655	6,19345	-2,24129	1,07863
1954	8,10000	9,90151	-1,80152	-1,41963	-0,31375
1955	18,30000	22,47753	-4,17753	0,17133	-0,72755
1956	6,00000	8,60427	-2,60427	-1,58374	-0,45355
1957	18,90000	16,09200	2,80800	-0,63648	0,48903
1958	17,90000	21,68575	-3,78575	0,07117	-0,65932
1959	19,20000	20,84334	-1,64334	-0,03540	-0,28620
1960	13,30000	16,22749	-2,92749	-0,61934	-0,50984
1961	24,90000	22,19718	2,70282	0,13587	0,47072
1962	19,60000	17,56536	2,03464	-0,45009	0,35435
1963	6,90000	11,46356	-4,56356	-1,22202	-0,79478
1964	23,80000	23,31377	0,48623	0,27712	0,08468
1965	12,60000	13,72827	-1,12827	-0,93551	-0,19650
1966	22,70000	23,08785	-0,38785	0,24855	-0,06755
1967	18,00000	22,06079	-4,06079	0,11861	-0,70722
1968	17,60000	18,06295	-0,46295	-0,38714	-0,08063
1969	18,10000	17,68574	0,41426	-0,43486	0,07215
1970	24,50000	24,77448	-0,27448	0,46192	-0,04780
1971	18,90000	18,48213	0,41787	-0,33411	0,07278
1972	14,90000	10,45857	4,44142	-1,34916	0,77351
1973	29,20000	28,51079	0,68921	0,93459	0,12003
1974	28,20000	24,31901	3,88099	0,40430	0,67590
1975	20,10000	20,41101	-0,31100	-0,09010	-0,05416
1976	26,60000	24,59347	2,00654	0,43902	0,34945
1977	24,80000	29,24735	-4,44735	1,02777	-0,77454
1978	34,50000	29,89922	4,60078	1,11024	0,80126
1979	16,80000	13,89720	2,90280	-0,91414	0,50554
1980	24,70000	23,51387	1,18613	0,30244	0,20657
1981	21,50000	20,67484	0,82516	-0,05672	0,14371
1982	20,20000	23,65267	-3,45267	0,32000	-0,60131
1984	17,60000	18,38337	-0,78337	-0,34661	-0,13643
1985	27,20000	18,33321	8,86679	-0,35295	1,54421

1	2	3	4	5	6
1986	23,20000	23,73439	-0,53439	0,33034	-0,09307
1987	29,90000	26,44951	3,45049	0,67382	0,60093
1988	31,70000	28,48963	3,21037	0,93191	0,55911
1989	39,60000	35,92020	3,67980	1,87194	0,64086
1990	37,20000	37,74171	-0,54171	2,10237	-0,09434
1991	32,30000	31,96440	0,33560	1,37150	0,05845
1992	34,80000	37,72543	-2,92543	2,10031	-0,50948
1993	31,10000	32,51725	-1,41725	1,44144	-0,24682
1994	26,20000	24,49872	1,70128	0,42703	0,29629
1995	21,00000	26,12557	-5,12557	0,63284	-0,89265
1996	20,20000	24,41212	-4,21212	0,41608	-0,73357
1997	23,90000	25,19236	-1,29236	0,51478	-0,22507
1998	15,30000	21,24660	-5,94660	0,01561	-1,03564
1999	12,60000	14,56977	-1,96977	-0,82906	-0,34305
2000	9,40000	12,25419	-2,85419	-1,12200	-0,49708
2001	33,80000	27,73258	6,06742	0,83614	1,05668
2002	26,90000	27,28271	-0,38271	0,77923	-0,06665
2003	16,30000	15,23457	1,06543	-0,74496	0,18555
2004	27,20000	26,54432	0,65568	0,68582	0,11419
2005	31,80000	32,26729	-0,46729	1,40982	-0,08138
2006	18,30000	20,31028	-2,01028	-0,10284	-0,35010
2007	22,50000	21,90035	0,59965	0,09832	0,10443
2008	39,60000	39,63749	-0,03749	2,34220	-0,00653
2009	24,40000	25,14410	-0,74410	0,50868	-0,12959
2010	23,50000	20,65767	2,84233	-0,05889	0,49501
2011	25,30000	24,69898	0,60102	0,45236	0,10467
2012	27,80000	27,11627	0,68373	0,75817	0,11908
2013	24,10000	16,91013	7,18987	-0,53298	1,25217
Minimum	5,00000	3,40655	-5,94660	-2,24129	-1,03564
Maximum	39,60000	39,63749	8,86679	2,34220	1,54421
Mean	21,12319	21,12319	-0,00000	-0,00000	-0,00000
Median	21,00000	21,90035	-0,31100	0,09832	-0,05416

Таблица 11 – Гидротермический коэффициент (ГТК) по Луганской области

Годы	Гидротермический коэффициент						
	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	теплый (вегетационный) период)
1	2	3	4	5	6	7	8
1945	2,5	0,68	1,59	0,54	1,55	1,08	1,32
1946	0,9	0,31	0,06	0,87	0,45	0,39	0,5
1947	0,62	0,76	0,66	0,54	0,86	1,04	0,75
1948	0,12	1,8	0,35	0,36	0,68	0,44	0,63
1949	0,99	0,28	1,24	0,81	0	0,24	0,59
1950	0,54	0,11	0,49	1,15	0,03	0,37	0,45
1951	0,34	0,54	0,38	0,41	1,03	0,9	0,6
1952	0,39	0,72	0,76	0,63	0,63	0,73	0,64
1953	0,25	0,55	0,74	0,7	0,03	0,63	0,48
1954	1,25	1,01	0,01	0,75	1,07	0,33	0,74
1955	2,02	0,45	0,85	0,57	1,19	0	0,85
1956	0,82	0,95	0,4	0,62	0,2	0,88	0,65
1957	0,08	1,18	0	0,65	0,21	0,17	0,38
1958	2,57	0,63	3,01	1,16	0,58	0,06	1,34
1959	0,66	1,13	0,2	0,38	0,06	2,28	0,79
1960	1,79	0,45	0,58	0,53	1,36	0,18	0,82
1961	0,89	1,86	1,18	0,44	0,18	1,01	0,93
1962	0,48	0,54	1,45	0,3	0,36	0,02	0,52
1963	1,11	0,86	0,74	0,23	0,4	1,68	0,84
1964	1,35	1,82	0,37	1,97	0,48	0,25	1,04
1965	2,6	0,92	0,22	0,04	0,14	0,13	0,68
1966	1,02	0,68	1,26	0,29	1,04	0,16	0,74
1967	0,9	0,71	1,54	0,21	1,54	0,39	0,88
1968	0,4	0,14	0,64	0,87	1,21	0,76	0,67
1969	1,06	0,19	2,67	1,05	0,12	0,93	1,0
1970	1,43	1,41	0,68	0,11	0,63	0,55	0,8
1971	0,13	1,51	1,37	0,22	0,72	1,0	0,83
1972	1,25	0,89	0,61	1,33	0,3	0,88	0,88
1973	1,65	1,08	1,35	0,62	1,35	0,26	1,05
1974	2,99	1,82	1,16	0,71	0,1	1,01	1,3
1975	0,87	0,41	0,07	0,86	0,3	0,55	0,51
1976	2,12	0,29	1,18	1,06	0,8	1,36	1,14
1977	2,07	0,73	1,74	1,7	1,58	1,21	1,51
1978	1,63	1,03	1,04	0,44	0,44	0,9	0,91
1979	1,59	0,05	0,08	0,64	0,39	0,23	0,5
1980	4,92	1,26	0,69	1,32	1,07	1,35	1,77
1981	2,94	0,29	0,18	0,22	0,91	0,17	0,79
1982	1,53	1,34	1,02	1,06	1,35	0,33	1,11
1983	0,43	0,97	0,87	1,99	0,43	0,04	0,79
1984	0,41	0,79	0,4	0,74	1,01	0,08	0,57
1985	0,58	0,65	1,49	0,71	0,47	1,25	0,86
1986	0,38	1,03	1,19	0,36	0,03	0,23	0,54
1987	4,44	0,79	1,68	0,65	0,63	1,33	1,59

1	2	3	4	5	6	7	8
1989	1,31	1,22	1,94	1,46	0,01	1,6	1,26
1990	0,35	0,7	0,67	0,07	0,42	0,9	0,52
1991	0,6	1,88	0,69	0,46	0,69	0,67	0,83
1992	0,84	2,76	1,1	3,83	0,55	3,01	2,02
1993	1,77	1,08	1,27	1,71	1,02	1,14	1,33
1994	0,54	0,55	0,78	0,02	0,47	0,24	0,43
1995	0,97	0,49	1,69	0,88	0,76	1,21	1
1996	1,72	1	1,17	0,09	1,61	3,15	1,46
1997	2,13	0,6	1,35	1,86	1,17	1,85	1,49
1998	0,7	0,97	0,4	0,44	0,82	0,02	0,56
1999	0,58	1,96	0,16	0,4	0,22	0,45	0,63
2000	0,36	0,92	0,83	1,11	0,63	1,54	0,9
2001	1,84	1,25	1,56	1,02	0,49	3,05	1,54
2002	0,93	0,4	0,81	0,8	0,82	1,2	0,83
2003	0,98	0,03	1,53	1,76	0,32	0,14	0,79
2004	0,59	0,8	2,29	1,32	0,62	1,03	1,11
2005	0,71	0,59	1,42	1,44	0,32	0,18	0,18
2006	2,1	0,54	1,65	0,84	0,15	0,32	0,32
2007	1,01	0,17	1,03	0,19	0,14	1,25	1,25
2008	1,96	1,59	0,41	0,87	0,07	1,37	1,37
2009	0,08	1,22	0,14	0,54	0,31	0,65	0,49
2010	1,2	1,66	0,28	0,6	0,06	1	0,68
2011	0,96	0,54	2,4	0,86	0,32	0,56	0,96
2012	1,2	1,66	0,28	0,6	0,06	1	0,68
2013	0,96	0,54	2,4	0,86	0,32	0,56	0,96

Приложение В. Результаты прогнозирования урожайности
озимой пшеницы различными способами (Таблицы 12–13)

Таблица 12 – Экспоненциальное сглаживание временного ряда урожайности озимой пшеницы. Добавление сезона 7 лет

№	Годы	Фактическая урожайность	Сглаженный ряд	№	Годы	Фактическая урожайность	Сглаженный ряд
1	1945	8,10000	11,94687	43	1987	29,90000	30,15620
2	1946	5,00000	8,01378	44	1988	31,70000	26,63702
3	1947	10,30000	7,39672	45	1989	39,60000	27,21418
4	1948	14,70000	10,97469	46	1990	37,20000	32,18350
5	1949	8,00000	7,12211	47	1991	32,30000	27,97987
6	1950	6,90000	9,58928	48	1992	34,80000	33,16059
7	1951	10,00000	6,67570	49	1993	31,10000	29,19319
8	1952	12,60000	13,76908	50	1994	26,20000	36,74528
9	1953	9,60000	10,21833	51	1995	21,00000	32,87379
10	1954	8,10000	10,43689	52	1996	20,20000	32,44482
11	1955	18,30000	13,57596	53	1997	23,90000	34,07003
12	1956	6,00000	9,58812	54	1998	15,30000	27,91540
13	1957	18,90000	11,26411	55	1999	12,60000	30,62227
14	1958	17,90000	10,00399	56	2000	9,40000	23,97712
15	1959	19,20000	17,27556	57	2001	33,80000	27,85964
16	1960	13,30000	14,24011	58	2002	26,90000	24,78152
17	1961	24,90000	14,42497	59	2003	16,30000	25,12267
18	1962	19,60000	19,76199	60	2004	27,20000	26,71534
19	1963	6,90000	14,76986	61	2005	31,80000	20,95116
20	1964	23,80000	17,21743	62	2006	18,30000	25,29754
21	1965	12,60000	16,05445	63	2007	22,50000	19,95487
22	1966	22,70000	21,71909	64	2008	39,60000	27,45737
23	1967	18,00000	18,38760	65	2009	24,40000	24,77870
24	1968	17,60000	19,71672	66	2010	23,50000	23,98365
25	1969	18,10000	22,77296	67	2011	25,30000	27,42950
26	1970	24,50000	16,52664	69	2013	24,10000	24,77832
27	1971	18,90000	21,90831	70	2014	36,30000	21,08967
28	1972	14,90000	18,83605	71	2015	26,70000	31,01236
29	1973	29,20000	24,80004	72	2016	35,80000	25,68663
30	1974	28,20000	21,66980	73	2017	38,80000	26,16163
31	1975	20,10000	23,58678	74	2018	29,30000	31,13305
32	1976	26,60000	26,31395	75	2019	36,20000	27,25916
33	1977	24,80000	21,78928	76	2020		29,77067
34	1978	34,50000	25,72429	77	2021		28,93663
35	1979	16,80000	23,90273				
36	1980	24,70000	30,42443				
37	1981	21,50000	26,49636				
38	1982	20,20000	26,26678				
39	1983	26,80000	28,95732				
40	1984	17,60000	24,29093				
41	1985	27,20000	27,53499				
42	1986	23,20000	23,04257				

Таблица 13 – Экспоненциальное сглаживание Затухающий тренд, сезон 7 лет

№	Годы	Фактическая урожайность	Сглаженный ряд	№	Годы	Фактическая урожайность	Сглаженный ряд
1	1945	8,10000	2,08973	32	1976	26,60000	24,07061
2	1946	5,00000	-0,49978	33	1977	24,80000	19,45913
3	1947	10,30000	0,04931	34	1978	34,50000	23,49530
4	1948	14,70000	5,12015	35	1979	16,80000	22,30731
5	1949	8,00000	2,51130	36	1980	24,70000	28,39280
6	1950	6,90000	5,67971	37	1981	21,50000	23,68310
7	1951	10,00000	2,99318	38	1982	20,20000	22,95837
8	1952	12,60000	11,66468	39	1983	26,80000	25,22972
9	1953	9,60000	7,99473	40	1984	17,60000	20,65209
10	1954	8,10000	8,14226	41	1985	27,20000	23,46726
11	1955	18,30000	11,09553	42	1986	23,20000	19,47890
12	1956	6,00000	7,66946	43	1987	29,90000	27,54893
13	1957	18,90000	9,05705	44	1988	31,70000	24,17870
14	1958	17,90000	8,55625	45	1989	39,60000	25,35514
15	1959	19,20000	17,21122	46	1990	37,20000	31,38815
16	1960	13,30000	13,80935	47	1991	32,30000	27,30246
17	1961	24,90000	13,40188	48	1992	34,80000	32,28318
18	1962	19,60000	19,24823	49	1993	31,10000	28,05934
19	1963	6,90000	13,74417	50	1994	26,20000	35,88196
20	1964	23,80000	15,02360	51	1995	21,00000	30,52320
21	1965	12,60000	14,26332	52	1996	20,20000	28,82325
22	1966	22,70000	20,11948	53	1997	23,90000	29,58131
23	1967	18,00000	16,62244	54	1998	15,30000	23,10633
24	1968	17,60000	17,56443	55	1999	12,60000	25,31137
25	1969	18,10000	20,21725	56	2000	9,40000	18,07013
26	1970	24,50000	13,62524	57	2001	33,80000	22,50341
27	1971	18,90000	19,71012	58	2002	26,90000	21,33984
28	1972	14,90000	16,20428	59	2003	16,30000	22,74910
29	1973	29,20000	22,46815	60	2004	27,20000	24,19733
30	1974	28,20000	19,70351	61	2005	31,80000	19,29090
31	1975	20,10000	21,96469	62	2006	18,30000	25,17080
63	2007	22,50000	19,44623	70	2014	36,30000	21,90993
64	2008	39,60000	27,84956	71	2015	26,70000	33,28928
65	2009	24,40000	26,32463	72	2016	35,80000	27,00050
66	2010	23,50000	25,26588	73	2017	38,80000	28,08227
67	2011	25,30000	28,40904	74	2018	29,30000	33,62236
68	2012	27,80000	23,05424	75	2019	36,20000	28,67452
69	2013	24,10000	25,80598	76	2020		31,45974
				77	2021		30,59951

УТВЕРЖДАЮ

Директор Луганского института
селекции и технологий

доктор сельскохозяйственных наук

А.Н. Краевский

г. Луганск 20 марта 2010 г.



**Акт внедрения рекомендаций по использованию прогностических
уравнений для прогноза урожайности озимой пшеницы**

Комиссия в составе директора ЛИСТ Краевского А.Н., зам. директора ЛИСТ Брауна П.В., а также представителей Луганского национального аграрного университета к.б.н., доцента Шелихова П.В., к.с.х.н., доцента Савкина Н.Л. и ст. преподавателя Стародворова Г.А. составили настоящий акт о том, что представители Луганского национального университета передали представителям ЛИСТ рекомендации по использованию разработанной Стародворовым Г.А. модели зависимости урожайности озимой пшеницы в Луганской области от структурных элементов климатопа, для прогноза урожайности озимой пшеницы.

Разработанная в Луганском национальном аграрном университете модель позволяет на основании прогностического уравнения прогнозировать урожайность этой важной сельскохозяйственной культуры с вероятностью

95%. Для построения модели с целью прогноза необходимо иметь многолетние данные о месячных суммах осадков и среднемесячных значениях температуры атмосферного воздуха с ближайшей агрометеостанции.

В некоторые годы отмечается нестандартное сочетание экологических факторов (критические значения температуры воздуха, отсутствие осадков перед и после посева полевых культур). Прогноз урожайности в такие годы не будет достаточно точным.

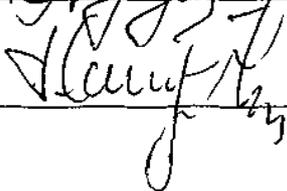
Разработанные рекомендации позволяют использовать модель для прогноза, а также результаты, полученные при построении модели, для выведения и доведения сортов озимой пшеницы устойчивых к воздействиям абиотических факторов среды, максимально использующих потенциал данного климатопа.

Председатель комиссии  Краевский А.Н.

Члены комиссии  Браун П.В.

 Шелихов П.В.

 Савкин Н.Л.

 Стародворов Г.А.

УТВЕРЖДАЮ

Директор Луганского института
агропромышленного производства
Украинской академии аграрных наук


А.И. Дубовый

г. Луганск 24 мая 2010 г.

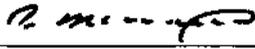
**Акт внедрения рекомендаций по использованию прогностических
уравнений для прогноза урожайности подсолнечника**

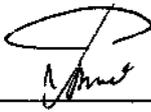
Комиссия в составе заведующего лабораторией первичного и элитного семеноводства ЛИАПП Тимошина С.Н., а также представителей Луганского национального аграрного университета к.б.н., доцента Шелихова П.В., к.с.х.н., доцента Савкина Н.Л. и ст. преподавателя Стародворова Г.А. составили настоящий акт о том, что представители Луганского национального университета передали представителям ЛИАПП рекомендации по использованию разработанной Стародворовым Г.А. модели зависимости урожайности технических культур в Луганской области от структурных элементов климата, для прогноза урожайности подсолнечника.

Разработанная в Луганском национальном аграрном университете модель позволяет на основании прогностического уравнения прогнозировать урожайность подсолнечника с вероятностью 95%. Для построения модели с целью прогноза необходимо иметь многолетние данные о месячных суммах осадков и среднемесячных значениях температуры атмосферного воздуха с ближайшей агрометеостанции.

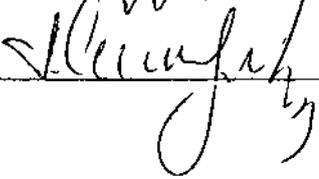
Использование в качестве прогностических моделей зависимости урожайности подсолнечника от ключевых природных экологических факторов позволяет более научно подходить к выращиванию этой ценной сельскохозяйственной культуры.

Разработанные рекомендации позволяют использовать модель для прогноза, а также результаты, полученные при построении модели, для выведения сортов и гибридов подсолнечника устойчивых к воздействиям абиотических факторов среды, максимально использующих потенциал данного климатопа.

Председатель комиссии  Тимошин С.Н.

Члены комиссии  Шелихов П.В.

 Савкин Н.Л.

 Стародворов Г.А.



УКРАЇНА
 МІНІСТЕРСТВО АГРАРНОЇ ПОЛІТИКИ ТА ПРОДОВОЛЬСТВА
 УКРАЇНИ
 ЛУГАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

91008, м. Луганськ, Луганський національний аграрний університет
 Тел.: (0642) 96-60-40. Факс: (0642) 57-71-13, e-mail: rector@lnau.lg.ua, http: www.lnau.lg.ua

СЧ. 05 2013/г. № 16/45

ДОВІДКА

Про використання в навчальному процесі результатів науково-дослідної роботи старшого викладача кафедри загальної та прикладної екології Стародворова Геннадія Олександровича

При проведенні семінарських занять зі студентами агрономічного факультету з дисциплін „Основи екології”, „Біометрія“ використовувалися результати науково-дослідної роботи старшого викладача кафедри загальної та прикладної екології Стародворова Геннадія Олександровича, опубліковані в наукових працях:

1. Стародворов Г.А. Связь урожайности кукурузы на зерно с температурой воздуха и осадками / Г.О. Стародворов // Научн. труды Южного филиала КАТУ НАУ. С.х. науки. – Симферополь. – 2006. – №96. – С. 146–150.
2. Стародворов Г.А. Математическая модель зависимости урожайности озимой пшеницы от некоторых климатических факторов / Г.О. Стародворов // Серия: С.-г. науки – Луганськ: Вид-во ЛНАУ – 2007. – №77(100). – С. 100–104.
3. Стародворов Г.О. Зв'язок природних агроекологічних чинників з урожайністю основних сільськогосподарських культур / Г.О. Стародворов // Збірник наук. праць Уманського ДАУ – 2007. – № 64. – С.44 – 48.

Довідка складена для подання в спеціалізовану вчену раду по захисту кандидатських дисертацій.

Проректор з наукової роботи



М.В. Брагінець

АКТ
внедрения в производство научно-технических разработок и передового
опыта

- 1. Наименование внедренной разработки:**
 «Рекомендации по использованию прогностической модели зависимости урожайности озимой пшеницы от климатообразующих факторов»
 - 2. Разработка внедрена при выполнении НИР**
 «Оценка уровня и пути повышения адаптированности организмов в условиях сложившейся антропоэкологической ситуации региона»
 - 3. Каким научным учреждением мероприятие предложено к внедрению**
 ГОУ ВО ЛНР Луганский ГАУ, кафедра экологии и природопользования
 - 4. Наименование хозяйства (организации), его адрес**
 ООО «Керамик-Лимитед», ЛНР, Лутугинский район, с. Веселая-Тарасовка
 - 5. Календарные сроки внедрения (начало-окончание)**
 29 мая 2020 г. – 13 августа 2020 г.
 - 6. Объем внедрения мероприятий (по плану и фактический)**
 Фактический объем внедрения 250 га
 - 7. ФИО и должность работников, ответственных за внедрение научной разработки от университета и хозяйства**
 Кандидат с.-х. наук, доцент Решетняк Н.В., ст. преподаватель Стародворов Г.А., директор ООО «Керамик-Лимитед» Величко В.И. гл. бухгалтер ООО «Керамик-Лимитед» Величко Н.В.
- Председатель комиссии:**
 Директор ООО «Керамик-Лимитед» _____ Величко В.И.
- Ответственные за внедрение:**
- _____ Величко Н.В.
 _____ Решетняк Н.В.
 _____ Стародворов Г.А.

