

чек пространства к множеству районов осуществляется путем построения интерполяционной карты и решения регрессионного уравнения функции $X_{\text{сн.}}(t_i)$ по выборке $Z = (X_{\text{сн. } 1}, t_1, \dots, X_{\text{сн. } n}, t_n)$. Задача решается в последовательности:

- построение карты в изолиниях;
- предварительное установление границ районов на основе выбранного шага количественных различий снегозапасов в пределах характерных районов;
- уточнение границ районов с учетом физико-географических особенностей формирования снеговых нагрузок при объединении гидрометеорологических характеристик в пространственно-временные поля с учетом синхронности их колебания;
- аналитическая интерпретация границ районов с использованием типизированных аппроксимирующих функций в контексте прогнозирования снеговых нагрузок;
- проверка точности карты статистическими методами.

Оценка точности районирования агроклиматических характеристик может осуществляться статистическими методами. При выделении однородных районов, близких по физико-географической природе и статистической изменчивости, выполняется анализ меры расхождения исходных данных в опорных пунктах (i) и (j) районов. В качестве критерия при многомерном статистическом анализе можно использовать расстояние Махаланобиса [599]

$$d_{ij} = \frac{(X_{\text{сн.}i} - X_{\text{сн.}j})}{\sqrt{D_i + D_j - 2\rho_{ij}\sqrt{D_i D_j}}}, \quad (5.24)$$

где $X_{\text{сн. } i}$, $X_{\text{сн. } j}$ – значения агроклиматических характеристик в пунктах (i) и (j); D_i , D_j – дисперсии ошибок исходных данных в соответствующих пунктах; ρ_{ij} – коэффициент пространственной корреляции ошибок между соответствующими пунктами.

В случае равенства значений ($X_{\text{сн. } i}$) и ($X_{\text{сн. } j}$) статистика (d_{ij}) укладывается в нормальный закон распределения вероятностей с нулевым средним и единичной дисперсией. Показатель (d_{ij}) выявляет опорные пункты, в которых различия находятся в пределах точности определения агроклиматической характеристики. Анализ всевозможных значений (d_{ij}) при $i, j = 1, \dots, n$ для заданного уровня значимости позволяет выделить территории, в границах которых различия между исходными данными пунктов наблюдений за исследуемыми характеристиками можно считать несущественными.

По представленным в настоящем разделе методикам построены все карты, приведенные в книге 1 «Белорусское Полесье» монографии «Природообустройство Полесья».

5.2. Моделирование урожайности сельскохозяйственных культур (на примере территории Брестской области)

5.2.1. Актуальность и необходимость учета естественных и антропогенных факторов, определяющих урожайность сельскохозяйственных культур

Агроклиматические ресурсы территории Брестской области являются наиболее благоприятными для производства растениеводческой продукции и решения проблемы обеспечения продовольственной безопасности страны. Вопросы устойчивого развития региона приобрели особую актуальность в современных условиях, когда климатические, агроклиматические и водные ресурсы начали испытывать значительные антропогенные трансформации различных временных и пространственных масштабов. В ряде случаев эти изменения превышают их естественную изменчивость, что влияет на устойчивость экосистем, обостряет проблему адаптации экосистем к изменяющимся условиям. Сельское хозяйство, особенно земледелие, в значительной степени подвержено влиянию неблагоприятных погодно-климатических условий, снижающих продуктивность агроценозов. Учитывая важность проблемы и необходимость предотвращения и смягчения влияния негативных процессов на различные отрасли хозяйственной деятельности, Указом Президента Республики Беларусь от 10 апреля 2000 г. № 117 была подписана Рамочная конвенция Организации Объединенных Наций об изменении климата, а в 2001 г. подписана Конвенция ООН по борьбе с опустыниванием. Для оценки происходящих в регионе климатических изменений и принятия конкретных решений необходимы серьезные систематические исследования, объективная и достаточная информация в области изучения колебаний климата и влияния их на хозяйственную деятельность.

Оценка влияния климата на урожайность основных сельскохозяйственных культур области весьма актуальна в связи с наблюдающимся увеличением с начала 1990-х годов вероятности возникновения неблагоприятных погодных явлений, их интенсивности и продолжительности. Климатические аномалии оказывают существенное воздействие на продуктивность культур. Ведение земледе-

лия в области предполагает не только повышение уровня агротехники (улучшение сортовых характеристик культур, способов обработки почвы, оптимальный подбор доз удобрений и т. д.), но и учет агроклиматических ресурсов территории.

Анализ данных наблюдений гидрометеорологических станций в Брестской области выявил разнопериодные и разномасштабные изменения показателей климата, и в первую очередь температуры воздуха и скорости ветра. В достаточно больших масштабах происходят локальные и региональные климатические изменения, связанные с антропогенными факторами и, в частности, с широкомасштабными мелиорациями. В условиях изменяющегося климата назрела необходимость разработки соответствующих стратегий реагирования сельскохозяйственного производства на эти изменения. Наиболее серьезные потрясения сельское хозяйство переживает в годы с аномальными климатическими условиями, которые очень сильно проявились в последнее время и оказали заметное влияние на урожайность сельскохозяйственных культур.

Анализ рядов урожайности основных культур на территории Брестской области показывает, что потери урожайности от неблагоприятных погодных условий в отдельные годы в разрезе районов могут достигать 20–25 %. Это происходит и на мелиорированных землях, несмотря на применение удобрений, средств защиты растений, совершенствование агротехнологий, введение новых сортов и др. Однако, несмотря на рост культуры земледелия, колебания урожайности в зависимости от погодных условий являются объективной реальностью для земледелия всего мира. Поэтому правильный учет агроклиматических факторов и всестороннее использование агроклиматических ресурсов необходимы при принятии оптимальных решений в сельском хозяйстве, что может обеспечить значительную экономию финансовых и материальных средств, и это особенно важно в связи с обострением продовольственной проблемы.

Актуальность проблемы определяется не только исключительной чувствительностью сельского хозяйства к гидрометеорологическим условиям, но и необходимостью заблаговременной адаптации к ним этой весьма инерционной системы. О том, что это проблема не только будущего, но и настоящего, свидетельствуют существенные изменения агроклиматических условий области за последние десятилетия – увеличение повторяемости теплых зим, резкое изменение значений климатических экстремумов, изменение агроклиматических показателей вегетационного периода. Решение проблемы адаптации агроценозов к изменениям климата требует изучения динамики основных его показателей в месяцы вегетационного периода, а также пространственное и временное распределение не только этих характеристик, но и неблагоприятных погодно-климатических условий – засух, заморозков, засушливых и избыточно увлажненных периодов. Последние крайне важны для оценки агроклиматических ресурсов в условиях изменяющегося климата.

Большое значение имеет определение роли климата и агротехнического фактора в варьировании урожайности сельскохозяйственных культур. Необходимо выявить региональные особенности устойчивости урожайности различных культур к воздействию климата, сопоставить распределение по годам наиболее крупных снижений (недоборов) урожайности и неблагоприятных метеорологических условий. Подобные исследования выступают фактографической основой для разработки мероприятий по оптимизации размещения посевов сельскохозяйственных культур, основанных на учете агроклиматических особенностей территории, по обеспечению устойчивой урожайности в различных областях Беларуси за счет минимизации влияния неблагоприятных погодных условий.

Разнообразие физико-географических условий области, изменчивость ряда агроклиматических показателей от года к году, прогнозируемый рост температуры воздуха и изменения других климатических характеристик требуют всестороннего учета возможных воздействий этих изменений на продуктивность сельскохозяйственных культур. Надо отметить, что при изучении изменения климата вполне обоснованно большое внимание уделяется таким показателям, как температура воздуха и осадки, реже – режиму влажности воздуха и влажности почв, исследованию изменений других климатических показателей уделяется гораздо меньше времени.

Важное значение имеет проведение анализа и изучение оценок изменения межгодовых колебаний урожайности сельскохозяйственных культур в зависимости от погодных условий вегетационного периода и наметившихся тенденций изменений климата, оценка неблагоприятных типов погоды, оказывающих наибольшее влияние на снижение урожайности культур; получение количественных значений величин снижения урожайности в зависимости от неблагоприятных погодных условий; определение вклада климатической составляющей и уровня культуры земледелия в общую изменчивость урожайности основных культур. Комплексный анализ колебаний урожайности сельскохозяйственных культур и климатических факторов позволил разработать методику прогнозирования урожайности основных сельскохозяйственных культур с заблаговременностью в 1 год.

Проведенные исследования имеют важное теоретическое и практическое значение. Практическая значимость результатов исследования определяется разработанными для каждого района рекомендациями по рациональному размещению посевов различных культур, основанному на учете региональных особенностей влияния климата и почвенно-агротехнических условий на урожайность культур и направленному на минимизацию потерь урожаев из-за неблагоприятных метеорологических условий.

В настоящее время исследованиям климатообусловленной изменчивости урожайности сельскохозяйственных культур посвящено много работ в разных странах, тем не менее поставленная задача решена далеко не полностью из-за сложности механизмов формирования урожая. Рост и развитие культурных растений зависят от технологических и климатических факторов. Неблагоприятные погодно-климатические условия нередко вызывают потери сельскохозяйственных культур. В связи с этим оценка климатических ресурсов как одного из факторов, определяющих урожайность сельскохозяйственных культур, получает широкое развитие. Основные исследования взаимосвязи урожайности культур и климатических характеристик начали проводиться со второй половины XX в.

На территории Беларуси работа о взаимосвязи урожайности сельскохозяйственных культур и природно-климатических факторов проводится в Республиканском гидрометеорологическом центре, Научно-исследовательском институте почвоведения и агрохимии, Институте природопользования, Белорусском государственном университете, этой проблемой занимаются Т. Н. Кулаковская, И. М. Богдевич, В. В. Лапа, А. Н. Витченко, В. Ф. Логинов, В. И. Мельник, Г. И. Сачок, П. А. Ковриго и др.

Результаты исследований глобальных изменений климата, их воздействий на различные отрасли народного хозяйства, в первую очередь на сельское хозяйство, представлены в докладах Межправительственной группы экспертов по изменению климата, в трудах российских, американских и английских ученых [49, 137, 139, 239, 249, 264, 442, 551, 552]. В. Ф. Логиновым разработан прогноз возможных изменений климата в региональном масштабе (на примере Беларуси); проведен анализ климатических процессов, исследованы экстремальные погодно-климатические явления, оценены агроклиматические ресурсы территории страны [236–238, 240]. На примере ярового ячменя исследованы климатические характеристики, соответствующие фазам развития растений в различные по уровню урожайности годы; введено понятие фенофазных температурно-влажностных индексов, которые могут применяться для прогнозирования урожая культуры.

Работа по установлению территориальной и межгодичной неоднородности рядов климатических показателей, стихийных метеорологических явлений, рядов урожайности основных для Беларуси культур, а также обеспеченности их минеральными и органическими удобрениями выполнена Г. И. Сачком, Г. А. Камышенко [542, 544, 545]. Их работы также посвящены изучению колебаний климата в Северном полушарии и их цикличности, анализу временных рядов климатических показателей, пространственно-временной сопряженности аномалий климата и моделированию природных процессов на территории Беларуси [543].

Для территории Беларуси даты перехода средней суточной температуры воздуха весной и осенью через 5 °С определялись А. Х. Шклярком в 1960–1970-е годы [615], на современном этапе этими вопросами занимался В. И. Мельник. Им определено изменение в самый теплый временной отрезок XX в. (1989–1999 гг.) следующих агроклиматических показателей: дат перехода температуры воздуха через 0, 5, 10 и 15 °С, продолжительности периодов и сумм температур в пределах данных значений. Помимо этого, выявлено смещение границ агроклиматических областей Беларуси, выделенных А. Х. Шклярком.

В. А. Жуков, А. Н. Полевой, А. Н. Витченко, С. А. Даниелов предложили динамико-статистическую модель для оценки агроклиматических ресурсов, основой которой послужила сформулированная Х. Г. Тоомингом концепция эталонных урожаев [258]. С использованием данной модели А. Н. Витченко оценен агроэкологический потенциал Беларуси на уровне родов ландшафтов [71, 72]. Для основных возделываемых в республике хозяйственных культур автором рассчитаны потенциальная и действительно возможная урожайность; исследовано действие лимитирующих факторов (влажности почв, температуры воздуха, условий перезимовки для зерновых культур). Определены степень неблагоприятности климатических условий (величина потери урожайности из-за погодных условий вегетационного периода), коэффициент использования агроклиматических ресурсов и коэффициент реализации агроэкологического потенциала территории. Рассмотрена пространственная дифференциация показателей в пределах Беларуси. На основе динамической модели формирования урожая А. Н. Полевого выполнена оценка воздействия возможных изменений климата на продуктивность культур в Беларуси [258].

В Республике Беларусь вопросы влияния погодных условий на урожайность культур изучены Т. Н. Кулаковской, И. М. Богдевичем, Р. В. Шаталовой [205, 606]. Ими разработана регрессионная модель индекса погоды, позволяющего оценить влияние среднесуточной температуры воздуха и осадков по периодам вегетации (посев-кущение, кущение-колошение, колошение-восковая спелость) на продуктивность зерновых (ячменя). А. П. Лихацевичем, В. Н. Карнауховым [231] предложена эмпирико-статистическая модель влияния факторов окружающей среды (солнечной активности, удобрений) на урожай сельскохозяйственных культур. М. Г. Голченко выполнено гидролого-климатическое районирование минеральных почв Беларуси, рассчитано влияние условий их естественного увлажнения и теплообеспеченности (осадков, ГТК, влагозапасов и т. д.) на продуктивность культур; проведена оценка уровней и прибавок урожая от орошения сельскохозяйственных угодий с учетом агрофона, бонитета почв [95].

Несмотря на широкий круг вопросов, изученных в отношении влияния климата на продуктивность агроценозов, нерешенными или недостаточно разработанными, в частности для Беларуси, остаются вопросы:

- определение роли климатической и агротехнической составляющих во временной изменчивости урожайности продовольственных, кормовых и других культур в различных регионах страны;
- дифференциация территории Беларуси по устойчивости урожаев основных культур к климатическим изменениям и уровню агротехники;
- анализ динамики и причин недоборов урожаев за длительный отрезок времен; оценка снижения урожайности сельхозкультур вследствие неблагоприятных погодно-климатических условий;
- выявление факторов пространственной изменчивости урожайности культур на территории Беларуси; классификация районов по продуктивности агроценозов.

5.2.2. Научно-методические основы исследований пространственно-временных колебаний урожайности сельскохозяйственных культур

Источники исходной информации

Основу исследований составили многолетние ряды наблюдений за урожайностью озимой ржи и многолетних трав за период с 1954 по 2005 год и картофеля с 1960 по 2005 год. Использованы данные Министерства статистики и анализа Республики Беларусь об урожайности культур, опубликованные и фондовые материалы стационарной гидрометеорологической сети Республиканского гидрометеороцентра Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь о среднемесячных количествах осадков, среднемесячных температурах воздуха и запасах почвенной влаги 50 см слоя почвы и других климатических характеристиках по 16 районам Брестской области за период инструментальных наблюдений.

Основы исследований пространственно-временных колебаний урожайности сельскохозяйственных культур

Для описания связи между значениями урожайности в различных точках использованы пространственные корреляционные функции (ПКФ), которые в нашем случае имели вид

$$R(\rho) = R(0) - \alpha \cdot \rho, \quad (5.25)$$

где $R(\rho)$ – значение эмпирической ПКФ; $R(0)$ – экстраполированное значение эмпирической ПКФ до значения $\rho = 0$; ρ – расстояние между центрами районов; $\alpha = dR(\rho)/d\rho$ – градиент поля, т. е. показатель величины изменения ПКФ на единицу расстояния.

В рамках поставленной задачи нами исследовалась асинхронность урожайности основных сельскохозяйственных культур.

Для количественной оценки асинхронности колебаний погодной составляющей урожайности использовались функции пространственной асинхронности (ФПА)

$$K_{ac}(P) = f(\rho, P), \quad (5.26)$$

где $K_{ac}(P)$ – коэффициент пространственной асинхронности расчетной обеспеченности $P\%$.

Коэффициенты асинхронности определялись по соотношению

$$K_{ac}(P) = \frac{\left(\sum_{j=1}^K \Delta Y_j(P) \right)_{XP}}{\left(\sum_{j=1}^K \Delta Y_j(P) \right)_{PO}}, \quad (5.27)$$