Федеральная служба по гидрометеорологии
и мониторингу окружающей среды
(РОСГИДРОМЕТ)

В. М. Лебедева, А. И. Страшная

ОСНОВЫ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ МЕТЕОРОЛОГИИ

Том II

МЕТОДЫ РАСЧЕТОВ И ПРОГНОЗОВ В АГРОМЕТЕОРОЛОГИИ

Книга 2

ОПЕРАТИВНОЕ АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ

Допущено
Учебно-методическим объединением по образованию в области гидрометеорологии в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению «Гидрометеорология» и специальностям «Метеорология» и «Агрономия»

Под редакцией
доктора географических наук, профессора,
заслуженного метеоролога Российской Федерации
А. Д. Клещенко
и доктора биологических наук, профессора,
заслуженного метеоролога Российской Федерации
И. Г. Грингофа

Обнинск
2012

УДК 630:551.5.001.18

В.М. Лебедева, А.И. Страшная. Основы сельскохозяйственной метеорологии. Том II. Методы расчетов и прогнозов в агрометеорологии. Книга 2. Оперативное агрометеорологическое прогнозирование. **Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2012. – 216 с.**

ISBN 978 – 5 – 901579 – 33 – 6 (Обнинск, ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД»)
ISBN 978 – 5 – 8493 – 0198 – 3 (том II, книга 2)

Рецензенты:

профессор кафедры земледелия и агрометеорологии Российского государственного аграрного университета – Московской сельскохозяйственной академии им. К.А. Тимирязева, доктор сельскохозяйственных наук А.И. Белолюбцев;

профессор кафедры метеорологии и климатологии географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, доктор биологических наук И.Г. Шульгин.

Учебное пособие состоит из пяти глав.

В первой главе «Научно-методологические основы составления агрометеорологических оценок и прогнозов» определена роль количественных оценок и прогнозов в системе оперативного агрометеорологического обеспечения аграрного сектора страны, дано краткое описание статистических, динамико-статистических и синоптико-статистических методов оценок и прогнозов, изложены методы оценки оправдываемости оперативных, а также новых и усовершенствованных методов прогнозов урожайности сельскохозяйственных культур

Во второй главе «Статистические методы агрометеорологических оценок и прогнозов» рассмотрены основные статистические методы агрометеорологических прогнозов, используемых в оперативном агрометеорологическом обслуживании сельскохозяйственных производителей: прогнозов оптимальных сроков сева и состояния озимых культур осенью, долгосрочных прогнозов перезимовки и состояния озимых зерновых культур весной, прогнозов запасов продуктивной влаги в почве весной, прогнозов теплообеспеченности вегетационного периода, прогнозов сроков наступления основных фаз развития и созревания зерновых культур, прогнозов урожайности сельскохозяйственных культур, прогнозов агрометеорологических условий уборки зерновых культур, прогнозов оптимальных режимов орошения, прогнозов оптимальных доз азотных удобрений под зерновые культуры.

В третьей главе «Динамико-статистические методы оценки условий вегетации и прогноза урожайности сельскохозяйственных культур» дано описание динамической модели продукционного процесса растений, описывающей процессы фотосинтеза, дыхания и роста растений. Изложен динамико-статистический метод прогноза урожайности и валового сбора основных сельскохозяйственных культур на основе двух прогнозов: прогноза тенденции урожайности с помощью метода гармонических весов и оценки случайных отклонений от нее , рассчитанной с помощью динамической модели.

В четвертой главе «Синоптико-статистические методы агрометеорологических прогнозов» изложены основы синоптико-статистического метода оценки урожайности зерновых культур до их сева, направленные на увеличение заблаговременности и эффективности прогнозов. Показаны различные подходы в использовании параметров циркуляции атмосферы и теплового состояния океанов в осенне-зимний период в качестве предикторов в агрометеорологических прогнозах.

В пятой главе «Реализация методов оценок и прогнозов на основе современных компьютерных технологий» приводится описание информационно-прогностической системы (ИПС), позволяющей в автоматизированном режиме осуществлять подготовку оперативной агрометеорологической продукции с целью обеспечения АПК* России. Показаны основные функции ИПС: обработка агрометеорологических телеграмм, формирование информационных таблиц с метеорологической, агрометеорологической, статистической информацией и составление в оперативном режиме прогнозов урожайности основных сельскохозяйственных культур по субъектам Российской Федерации с различной заблаговременностью (от 1 до 3 месяцев).

Учебное пособие рассчитано на студентов географических факультетов университетов и сельскохозяйственных вузов, а также на учащихся гидрометеорологических техникумов Росгидромета по специальности «Гидрометеорология» и «Агрономия». Учебное пособие может быть полезно специалистам сельскохозяйственного профиля и экологам.

* АПК – агропромышленный комплекс.

© В.М. Лебедева, А.И. Страшная, 2012.

УДК 630:551.5.001.18

The educational aid consists of five chapters.

In the first chapter named «Scientific and methodological basis of compiling of agrometeorological parameter estimates and forecasts,» the role of quantitative estimates and forecasts in the system of operational agrometeorological support of the agricultural sector of the country is defined, a brief description of the statistical, dynamical-statistical and synoptic-statistical methods of estimation and forecasting are given, methods for assessing the accuracy of the operational as well as new and improved methods of yield forecasting of crops are expound.

In the second chapter, «Statistical methods for agrometeorological estimates and forecasts,» the basic statistical methods of agro-meteorological forecasts used in the operational agrometeorological service of agricultural producers are discussed: forecasts of optimal sowing dates state of winter crops in autumn, long-term forecasts overwintering and state of winter crops in spring, forecasts of stocks of productive moisture in soil in spring, forecast of heat supply of growing season, forecasts of the main phases of development and maturation of crops, crop productivity forecast of crops, forecast of agrometeorological conditions of harvesting of cereal crops, forecast of optimal irrigation schedules, forecasting of optimal dose of nitrogen fertilizer for crops.

In the third chapter, «Dynamic-statistical methods for assessing vegetation conditions and crop yield forecast of main crops»,a description of the dynamic model of the production process of plants, which describes the processes of photosynthesis, respiration and plant growth, is given. The dynamic-statistical method for forecasting productivity and total yield of main crops is recounted, which is based on two predictions: productivity tendency forecast by the method of harmonic balance and estimate of random variations of it, calculated using a dynamic model.

In the fourth chapter, «Synoptical and statistical methods agrometeorological forecasts,» the fundamentals of synoptic-statistical method for productivity estimating of grain crops before planting to increase the timeliness and efficiency of forecasts. The different approaches in the use of the parameters of atmospheric circulation and the thermal state of the oceans in the autumn-winter period as predictors in the agrometeorological forecasts are shown.

The fifth chapter, «Implementation of methods for assessment and forecasts based on modern computer technology», describes information and prediction system (IPS) that allows to prepare in the automated mode the operational agrometeorological production to ensure Russian agriculture. The basic functions of IPS are: processing agro-meteorological telegrams, forming information tables with meteorological, agrometeorological, and statistical information and making in real time main crop yield forecasts on the subjects of the Russian Federation with different earliness (from 1 to 3 months) are shown.

The manual is designed for students of geography departments of universities and agricultural colleges, as well as students of Hydromet hydrometeorological technical secondary schools trained on a speciality of «Agricultural Meteorology» and «Agronomy». The teaching aid can be useful to specialists of the agricultural profile and environmentalists.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарны редакторам – доктору географических наук, профессору **А.Д. Клещенко** и доктору биологических наук, профессору **И.Г. Грингофу** и рецензентам – доктору биологических наук, профессору **А.И. Белолюбцеву** (Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева) и доктору биологических наук, профессору **И.Г. Шульгину** (МГУ им. М.В. Ломоносова) за их замечания и предложения, направленные на улучшение содержания учебного пособия.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Основные растениеводческие регионы Российской Федерации расположены в зоне неустойчивого земледелия, что связано с влиянием неблагоприятных погодных и климатических условий. Такие условия в разных регионах проявляются периодически, в различные годы и сезоны в переувлажнении, засухах различной интенсивности и продолжительности, в суховеях, пыльных бурях, сильных морозах или длительных бесснежных периодах и в других неблагоприятных явлениях погоды, приносящих значительный ущерб посевам сельскохозяйственных культур.

Вопросы влияния опасных и неблагоприятных условий погоды на состояние и формирование продуктивности возделываемых культур были рассмотрены в «Основах сельскохозяйственной метеорологии», том I (2011 г.).

В течение круглого года подразделения Росгидромета выполняют большой объем работ по оперативному гидрометеорологическому обеспечению аграрного сектора страны. Среди широкого комплекса гидрометеорологической информации, необходимой для различных отраслей экономики, особое место принадлежит агрометеорологическому обеспечению сельскохозяйственного производства.

Одним из основных видов агрометеорологического обеспечения являются агрометеорологические оценки и прогнозы состояния озимых культур осенью, перезимовки озимых зерновых культур и многолетних трав, запасов влаги в почве на начало весны, фенологического состояния посевов и т.п. Но самое главное место занимают различной заблаговременности прогнозы урожайности сельскохозяйственных культур – конечного результата труда земледельцев.

В учебном пособии помещены статистические, динамико-статистические и синоптико-статистические методы агрометеорологических оценок и прогнозов, разработанные в последние десятилетия.

В советский период были установлены количественные характеристики потребности основных сельскохозяйственных культур растений в тепле, влаге и т.п., ориентированные на возделываемые в те годы сорта. В целом, характер выявленных ранее закономерностей в настоящее время остается таким же, но конкретные количественные оценки коэффициентов регрессии в статистических уравнениях при использовании в современных условиях требуют проведения соответствующей коррекции применительно к новым возделываемым сортам. Следует отметить, что для некоторых методов в настоящее время уже проведено уточнение ранее разработанных методик (например, прогноза оптимальных сроков

сева озимых, долгосрочного прогноза перезимовки озимых культур весной и др.).

Поскольку в постсоветские годы в силу объективных причин практически завершился этап экспериментальной агрометеорологии, в настоящее время при исследованиях влияния агрометеорологических условий на рост, развитие и продуктивность посевов сельскохозяйственных культур используются численные эксперименты.

В учебном пособии также дано описание новых современных методологических подходов и автоматизированных технологий, позволяющих существенно сократить затраты труда и рабочего времени оперативных работников на составление прогнозов и передачу их потребителям различных уровней.

Книга 2 «Оперативное агрометеорологическое прогнозирование» тома II учебного пособия «Основы сельскохозяйственной метеорологии» подготовлена зав. отделом агрометеорологических информационно-прогностических систем обслуживания народного хозяйства, к.г.н. В.М. Лебедевой (ФГБУ «ВНИИСХМ») и зав. отделом агрометеорологических прогнозов, к.г.н. А.И. Страшной (ФГБУ « Гидрометцентр России».

Учебное пособие рассчитано на студентов географических факультетов университетов и сельскохозяйственных вузов, обучающихся по направлению «Гидрометеорология» и специальностям «Метеорология» и «Агрономия». Пособие может быть также полезным преподавателям и учащимся средних специальных учебных заведений гидрометеорологического и сельскохозяйственного профилей.

Научные редакторы

ГЛАВА 1
НАУЧНО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СОСТАВЛЕНИЯ АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ОЦЕНОК И ПРОГНОЗОВ

1.1. Роль количественных оценок и прогнозов в системе оперативного агрометеорологического обеспечения аграрного сектора страны

Агрометеорологическое обеспечение – это система оперативного предоставления потребителю оперативной и режимной агрометеорологической (агроклиматической) информации, включая анализ сложившихся и прогноз ожидаемых агрометеорологических условий и их влияния на состояние, рост, развитие и формирование урожайности сельскохозяйственных культур, на проведение основных агротехнических и хозяйственных мероприятий в растениеводстве.

Агрометеорологическое обеспечение сельского хозяйства вследствие большой зависимости его от погодных условий является одной из основных задач Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации. Деятельность системы агрометеорологического обеспечения направлено на содействие устойчивому развитию основных отраслей сельского хозяйства, увеличению производства сельскохозяйственной продукции для обеспечения населения, а также потребностей животноводства и перерабатывающей промышленности. Агрометеорологическое обеспечение осуществляется научно-оперативными и сетевыми подразделениями Росгидромета в соответствии с установленным регламентом предоставления информации по различным каналам связи ежедневно, еженедельно, ежедекадно и т.д. Оно основывается на широком использовании данных наблюдений государственной сети гидрометеорологических станций и постов, визуальных и инструментальных обследований посевов, проводимых периодически на больших площадях, привлекается также спутниковая информация. Анализ и обобщение данных наблюдений позволяет не только информировать заинтересованные организации о сложившихся в любой период времени агрометеорологических условиях, но и предоставить расчетные количественные оценки сложившихся условий и их влияния на конечную продуктивность сельскохозяйственных культур. В настоящее время количественные агрометеорологические оценки и прогнозы являются основным видом оперативного агрометеорологического обеспечения сельского хозяйства. Устойчивое развитие общества обеспечивается многими факторами, среди которых

стабильное обеспечение человека продовольствием является одним из самых важных. Однако производство продовольствия в нашей стране, как и во всем мире, чрезвычайно уязвимо к колебаниям погоды и климата. В нашей стране агроклиматические условия возделывания сельскохозяйственных культур характеризуются большим разнообразием по территории. Основные районы плодородных черноземных почв расположены в зонах недостаточного и неустойчивого увлажнения. В районах оптимального увлажнения нередко наблюдается недостаток тепла и ранние заморозки. Несмотря на интенсификацию сельского хозяйства, урожайность и валовые сборы сельскохозяйственных культур в Российской Федерации колеблются год от года (рис. 1.1). Так даже за последние 15 лет максимальный валовой сбор (108,3 млн т в 2008 г.) более чем в два раза превышал минимальный валовой сбор (47,9 млн т в 1998 г.). В условиях столь значительных колебаний валовых сборов сельскохозяйственных культур необходимы постоянный оперативный мониторинг состояния посевов по территории России и оперативный прогноз урожайности и валового сбора сельскохозяйственных культур.

Прогнозы урожайности и валового сбора составляются по всем основным зерновым и техническим культурам. Средняя оправдываемость большинства агрометеорологических прогнозов составляет в основном от 85 до 97 %, однако в отдельные годы и по отдельным культурам она бывает существенно ниже.

В этой связи задача совершенствования (обновления) методов прогнозов урожайности по большинству сельскохозяйственных культур остается весьма актуальной. Пути ее решения на данном этапе связаны с необходимостью более полного учета потребностей новых сортов и гибридов в

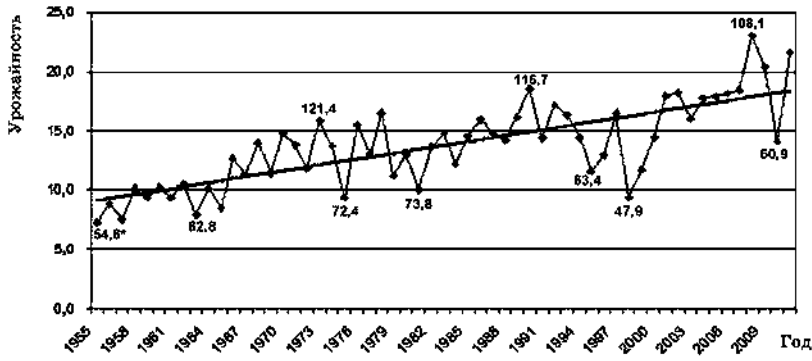


Рис. 1.1. Динамика урожайности зерновых и зернобобовых культур по Российской Федерации за период с 1955 по 2011 г.: 54,6* и др. – валовой сбор (млн т)

агрометеорологических условиях, в агротехнике возделывания сельскохозяйственных культур, а также в разработке компьютерной технологии составления прогнозов урожайности на основе информационно-прогностической системы (ИПС), разработка которой с 2000 г. ведется в ФГБУ «ВНИИСХМ». Применение ИПС в качестве инструмента для составления прогнозов позволяет использовать стандартную декадную агрометеорологическую информацию (осадки и температура воздуха), поступающую в прогностические подразделения по коду КН-21, и составлять прогнозы урожайности по территории всех субъектов земледельческой зоны страны в единые сроки (подробнее в гл. 5) (Развитие сельскохозяйственной метеорологии в России, 2009).

Для принятия хозяйственных решений агрометеорологические оценки и прогнозы должны содержать конкретные количественные характеристики ожидаемых величин. Количественная информация о состоянии культур, сроках их созревания и ожидаемой урожайности используется при планировании и процессе управления сельскохозяйственным производством, при принятии хозяйственных решений, связанных с получением и распределением сельскохозяйственной продукции, при организации мероприятий в случае недостаточного или избыточного производства продовольствия и для заключения хозяйственных и международных договоров на поставки продовольствия. Потребителями этой информации являются руководители и специалисты сельскохозяйственного производства и планирующих органов. Эффект от прогнозов проявляется в области планирования производства зерна, прогнозирования цен на зерно. Потребность в подобной информации во всем мире достаточно велика, поскольку она используется при решении многих вопросов, имеющих отношение к политике, экономике, торговле. По оценкам экспертов Европейской комиссии развития повышение точности прогноза на 1 % практически оправдывает все вложенные средства на получение такого прогноза.

1.2. Научные основы методов агрометеорологических оценок и прогнозов

В настоящее время условно агрометеорологические прогнозы подразделяют на пять основных групп.

1. *Фенологические прогнозы*: прогнозы сроков наступления основных фаз развития сельскохозяйственных культур, трав (сеяных, луговых, пойменных, естественных пастбищ), плодовых культур, оптимальных сроков начала весенних полевых работ и сева ранних яровых и поздних теплолюбивых культур, а также сева озимых зерновых культур.

2. *Прогнозы агрометеорологических условий*: прогноз запасов продуктивной влаги в почве к началу весны, долгосрочный прогноз теплообеспеченности вегетационного периода, прогнозы агрометеорологических

условий, состояния, роста сельскохозяйственных культур и пастбищной растительности, прогноз и оценка условий уборки зерновых культур, оптимальных режимов орошения, сроков и норм полива, внесения удобрений и др.

3. *Прогнозы урожайности и валового сбора* основных сельскохозяйственных культур и пастбищной растительности, прогнозы качества урожая, вредителей и болезней растений.

4. *Прогнозы состояния озимых зерновых культур и многолетних трав* к началу весны.

5. *Зоометеорологические прогнозы* состояния и продуктивности сельскохозяйственных животных и сроков появления и распространения вредителей и болезней животных.

Агрометеорологические прогнозы – это прикладная область агрометеорологии, изучающая закономерности распределения и изменения во времени и пространстве агрометеорологических условий, влияющих на объект и процессы сельскохозяйственного производства, и методы прогнозирования этих условий.

Научной базой агрометеорологического прогнозирования урожайности являются физиологические основы жизнедеятельности растений, проявляющиеся в росте, развитии и формировании продуктивности, в их взаимосвязи с агрометеорологическими факторами.

Агрометеорологический прогноз – это научно обоснованное предположение о влиянии на состояние и продуктивность сельскохозяйственных растений ожидаемых агрометеорологических условий или научно обоснованное предвидение, или вероятностное суждение (заданной заблаговременности) о будущем состоянии или продуктивности сельскохозяйственных культур, ожидаемых агрометеорологических условий

Агрометеорологический прогноз основан на знании количественных связей сложившихся агрометеорологических условий предшествующего периода и жизнедеятельности растений, вероятности ожидаемых агрометеорологических условий, агроклиматических и почвенных условий конкретных территорий, а также биологических и хозяйственных особенностей самих растений (Толковый словарь по сельскохозяйственной метеорологии, 2002).

Промежуток времени (в днях, месяцах) между составлением прогноза и началом (или концом) прогнозируемого агрометеорологического явления, состояния называется ***заблаговременностью***. Заблаговременность агрометеорологических прогнозов составляет от 1 до 3 месяцев; долгосрочные агрометеорологические прогнозы имеют заблаговременность от 3 до 6 месяцев.

Агрометеорологическая оценка – это качественная и количественная оценка, составляемая с помощью системы научно-методических

приемов и позволяющая оценить влияние сложившихся и ожидаемых агрометеорологических условий на состояние, рост, развитие и формирование продуктивности растений на основе знания биологических особенностей растений, их потребности в условиях освещенности, увлажнения, теплового режима почвы и минерального питания.

Агрометеорологическое прогнозирование в ряде случаев является предвидением будущего состояния сельскохозяйственных культур без использования прогнозов погоды, т.к. оно учитывает фактические прошлые и текущие метеорологические условия (а не их экстраполяции на будущее). Большинство агрометеорологических прогнозов имеют достаточно высокую оправдываемость, т.к. значительный вклад при прогнозировании имеет фактическое состояние посевов и почвы на момент составления прогноза, которое во многом определяет их будущее состояние независимо от некоторых изменений погоды. В случае наступления непредвиденных экстремально неблагоприятных явлений погоды (развитие интенсивной засухи, суховеев, выпадение града, высокие температуры воздуха и почвы и т.п.) агрометеорологические прогнозы имеют значительные ошибки.

Методы агрометеорологических прогнозов основаны на вскрытии в процессе исследований сложных связей между исходным и конечным состоянием явления или процесса в системе «почва – растение – атмосфера», обусловленных влиянием множества факторов. Для оценки исходного состояния системы (сложившиеся агрометеорологические условия), предопределяющего развитие процесса, и факторов, влияющих на его конечное состояние, выбираются наиболее значимые и лимитирующие факторы из всего комплекса агрометеорологических условий на данной территории и в различные периоды вегетации растений. Согласно закону Ю. Либиха (1840) (***закону минимума, закону лимитирующего фактора***), *состояние растений, их конечная продуктивность определяются фактором, находящимся в минимуме при оптимальных прочих условиях*. Эти факторы используются в качестве основных параметров прогностических схем и играют роль основных предикторов (предсказателей), влияющих на предсказываемую переменную величину. Методы агрометеорологических прогнозов основаны на количественных зависимостях прогнозируемой переменной от состояния предикторов на дату прогноза и их изменений в будущем. От точности исходной информации в значительной мере зависит качество прогноза, его оправдываемость.

Наиболее значимыми факторами являются те из них, которые изменяются медленно, но во многом определяют будущие условия формирования продуктивной части урожая растений (так называемые *инерционные факторы*). ***Инерционность*** *– свойство живого организма или состояния среды сохранять определенную инерцию, медленно реагировать на изменения окружающих условий*. Запасы продуктивной влаги к началу

весны, сумма активных температур, количество стеблей и растений в посеве на единице площади, площадь листовой поверхности, высота растений, число растений, сохранившихся после перезимовки – примеры параметров, во многом определяющих будущее состояние и продуктивность растений. Ослабить или исключить влияние инерционных факторов могут только экстремальные, внезапно наступившие явления (поздний весенний заморозок, интенсивный и длительный суховей, продолжительное затопление посевов в половодье и т.д.). В засушливых районах России наиболее важным инерционным фактором для формирования урожая сельскохозяйственных культур являются запасы продуктивной влаги в критические периоды жизни растений, а в зоне достаточного увлажнения – температура воздуха и почвы (Грингоф И.Г., Пасечнюк А.Д., 2005).

Для составления любого агрометеорологического прогноза нужна информация о предикторах, включенных в прогностическую схему. Основными источниками этой информации являются материалы наблюдений гидрометеорологических станций, данные маршрутных обследований и т.п. Такая информация, поступившая по каналам связи, обрабатывается, обобщается и используется для составления прогноза. Прогноз составляется по пунктам (по данным гидрометеорологических станций) или в среднем по субъекту Российской Федерации.

1.3. Статистические, динамико-статистические и синоптико-статистические методы оценок и прогнозов

В практике оперативного агрометеорологического обеспечения сельскохозяйственного производства используется большое количество прогнозов (состояния, условий роста и развития, формирования урожайности возделываемых культур). Они отличаются друг от друга методической основой, набором исходной информации, масштабом территории и технологией составления прогноза. Сложность решения проблемы прогнозирования вызвала развитие нескольких направлений в методологии агрометеорологического прогнозирования: от поиска статистических связей до описания внутренних закономерностей формирования продуктивности растений.

Количественное (математическое) описание эмпирических и полуэмпирических (или теоретических) зависимостей между агрометеорологическими условиями (факторами) и ростом, развитием и формированием продуктивности сельскохозяйственных культур называется ***математическим моделированием***. В зависимости от типа используемого математического аппарата, с помощью которого строится прогностическая модель, и вида закладываемой в эту модель входной информации сформировались следующие направления в области агрометеорологического прогнозирования: статистическое, динамико-статистическое и синоптико-статистическое.

Остановимся подробнее на каждом из этих направлений.

Статистические методы прогнозов. В рамках этого направления осуществляется поиск количественных связей между прогнозируемой величиной и осредненными за выбранные интервалы времени значениями агрометеорологических элементов, показателями, характеризующими состояние посевов в определенный момент времени и показателями, отражающими уровень культуры земледелия. Для выявления и анализа подобных зависимостей используется корреляционный и регрессионный анализы, которые решают следующие основные задачи: выбор модели регрессии, оценку параметров модели методом наименьших квадратов; проверку статистических гипотез о регрессии. Степень связи определяется коэффициентами корреляции, а сама связь представлена различного типа уравнениями регрессии. Уравнения корреляционной связи могут быть линейными и нелинейными. Прогнозируемая величина может быть функцией как одной, так и нескольких переменных. Переменные (или предикторы), предложенные в существующих прогностических зависимостях, многочисленны и разнообразны, но их можно объединить в три основные группы:

– метеорологические и агрометеорологические показатели, характеризующие условия произрастания культуры, связанные с погодой;

– фитометрические показатели, отражающие состояние культуры;

– агротехнические показатели, характеризующие уровень культуры земледелия.

Метеорологические и агрометеорологические показатели в прогностических схемах представлены условиями тепло- и влагообеспеченности, светового режима и характеристиками, отражающими аномальные условия погоды. Наиболее распространенным показателем термического режима в существующих регрессионных моделях является средняя температура воздуха за тот или иной межфазный период, за декаду или месяц, за период массового сева, а также данные об отклонениях средней декадной температуры воздуха от нормы, о максимальных и минимальных ее значениях. В качестве предикторов теплообеспеченности используются суммы температур воздуха за различные межфазные промежутки развития растений, число суток с определенным температурным режимом, температурой критического периода в жизни растений.

В качестве показателя влагообеспеченности растений широко используются запасы продуктивной влаги в почве на определенную фазу, на начало вегетационного периода, в критические периоды, средние по межфазным периодам. Данные об осадках в статистических моделях также представлены как средние за межфазные периоды, декады и месяцы или суммой зимних (сезонных) осадков. Относительно часто используются данные о дефиците влажности воздуха и относительной влажности воздуха и некоторые комплексные показатели среды обитания растений.

Наиболее часто используется гидротермический коэффициент (ГТК Селянинова), учитывающий условия как теплообеспеченности, так и влагообеспеченности растений.

Данные о радиационном режиме в статистических моделях представляются в основном величинами суммарной солнечной радиации или продолжительностью солнечного сияния.

Влияние аномальных условий погоды на урожайность зерновых культур в отдельных методах характеризуется стрессовой температурой воздуха, количеством суток с запасами продуктивной влаги менее 10 мм в пахотном слое почвы, или продолжительностью отдельных периодов в жизни растений, как суммарным показателем агрометеорологических условий вегетации. В некоторых исследованиях используются поправки на аномальные условия погоды в зависимости от различных сочетаний запасов продуктивной влаги в почве с отклонениями средней декадной температуры воздуха от нормы.

Фитометрические показатели представлены различными характеристиками состояния растений к моменту составления прогноза: числом стеблей или растений на единице площади (густотой), высотой растений, числом колосоносных стеблей, числом колосков в колосе, индексом листовой поверхности ($м^2/м^2$), величиной надземной растительной массы ($г/м^2$, $кг/м^2$, ц/га, т/га) и др. Состояние растений после перезимовки чаще всего учитывается количественной характеристикой изреженности посевов на единицу площади (количество живых, поврежденных и погибших растений).

Сложнее учитывать влияние *агротехнических факторов* на урожайность сельскохозяйственных культур. Влияние агротехники при разработке методов прогнозов учитывается через характеристики, в той или иной степени отражающие уровень культуры земледелия. В ряде методов прогностические зависимости приведены раздельно для конкретных сортов и их предшественников, таким образом, учитывались изменения в продуктивности сельскохозяйственной культуры, происходящие за счет сортообновления. Уровень агротехники отражается и через количество внесенных удобрений, процент площадей, засеянных по черному пару, по характеристике бонитета (сравнительной характеристике) почвы. Однако подобный подход к учету влияния культуры земледелия на продуктивность растений является односторонним, т.к. отражает влияние лишь одного из элементов агротехники. Поэтому в большинстве методик используются опосредованные показатели, с помощью которых делаются попытки отразить уровень культуры земледелия в целом. Это следующие показатели: урожайность предшествующего года, средняя урожайность за предыдущие три года, разность урожаев соседних лет, средняя многолетняя урожайность, использование года-аналога, отношение прогнозируемой

урожайности к урожайности предыдущего года или к максимальной. В ряде методов тенденция урожайности или уравнение тренда рассчитывается с использованием порядкового номера года (после выбора конкретного года, принимаемого за начало отсчета, N = 1), используется также средняя межгодовая «скользящая» величина урожайности по десятилетиям (пятилетиям). Во многих статистических методиках в качестве предикторов используются показатели как одной, так и двух-трех групп.

Разработанные агрометеорологические прогнозы в рамках статистического направления позволяют оценивать будущие условия и урожай в отдельных хозяйствах в среднем по району или субъекту Российской Федерации. Большинство статистических моделей получено с использованием инерционных (интегрально-инерционных) агрометеорологических факторов. К интегрально-инерционным факторам в первую очередь относятся увлажнение пахотного и метрового слоев почвы, число стеблей на 1 м^2, число продуктивных стеблей, высота растений, число колосков (или зерен) в колосе и т.д. Теория использования интегрально-инерционных показателей является в агрометеорологии надежной основой прогностических зависимостей, которые имеют свои характерные особенности в каждой почвенно-климатической зоне. Заблаговременность прогнозов составляет от 1 до 3 месяцев.

Синоптико-статистические методы прогнозов. Развитие синоптико-статистического направления в агрометеорологическом прогнозировании связано, в первую очередь, с задачей раннего прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур в сроки до сева яровых культур. Очевидно, что при составлении прогнозов в данном случае использовать традиционную информацию нельзя, т.к. к моменту составления прогноза ее еще не существует. Решение этой задачи потребовало применения нового подхода.

Синоптико-статистические модели – это математические модели, основанные на результатах исследований особенностей циркуляции атмосферы в различные периоды календарного года (по картам барической топографии в масштабе полушария) и установлении количественных связей между характеристиками циркуляционного режима и продуктивностью возделываемых культур.

Базовым положением в синоптико-статистических методах прогнозов является гипотеза о том, что существует определенная связь между общей циркуляцией атмосферы в осенне-зимний период и будущими метеорологическими условиями вегетационного периода, а следовательно, и урожайностью сельскохозяйственных культур. Поэтому в основу этого метода прогноза были положены количественные характеристики связи урожайности с циркуляционным режимом над Северным полушарием. Синоптико-статистический метод позволяет составлять прогноз

урожайности яровых культур до их сева, т.е. в марте, что значительно увеличивает заблаговременность прогноза (до 5–6 месяцев).

Методика прогноза строится на количественной оценке Атлантического и Тихоокеанского синоптических гребней, а также циркумполярного вихря и его ложбины с декабря по февраль. Их количественная оценка производится по эмпирическим формулам.

В качестве предикторов в прогностических уравнениях могут быть также использованы данные о тепловом состоянии поверхности воды океанов, параметры центров действия атмосферы, индексы атмосферной циркуляции (по Е.Н. Блиновой) в Северном полушарии, индексы зональной, меридиональной и общей циркуляции атмосферы (по А.А. Кацу) и т.п. Преимущество этого направления в прогнозировании урожайности – большая заблаговременность прогнозов и удовлетворительная оправдываемость.

Динамико-статистические методы прогнозов. При построении статистических моделей одна из главных трудностей заключается в выборе основных параметров, которые в наибольшей мере влияют на предсказываемую величину, т.к. этим выбором, по существу, исчерпывается вся априорная информация, закладываемая в такую модель. Основное направление совершенствования математических моделей «погода–урожай» – увеличение объема охватываемой априорной информации, в качестве которой могут выступать любые объективные данные о биологических и физических процессах в растениях и окружающей их среде. Эта задача решается в рамках математического моделирования. Работы, выполненные по математическому описанию процессов, характеризующих изменения энергии и массы в системе «почва–растение–атмосфера», позволили перейти к созданию динамико-статистических моделей, описывающих агрофитоценоз.

Динамико-статистические модели – это математические модели биологических систем, в которых сформулированы причинно-следственные связи развивающихся во времени процессов энерго- и массообмена растения с окружающей средой. Эти модели обычно формулируются в виде дифференциальных уравнений или их разностных аналогов, с помощью которых производится расчет всех характеристик и параметров системы «погода–почва–продуктивность» во временном разрезе. Различают: короткопериодные модели, описывающие суточный ход динамики продуктивности или их составляющие; длиннопериодные модели, описывающие продукционный процесс растений во всех аспектах в течение вегетационного периода с суточным шагом по времени.

Продукционный процесс растений – это гармоничная совокупность отдельных взаимосвязанных процессов, из которых фундаментальными являются фотосинтез, дыхание и рост, в ходе которых происходит

формирование урожая (Толковый словарь по сельскохозяйственной метеорологии, 2002).

В настоящее время разработано большое количество динамических моделей продуктивности сельскохозяйственных культур. В немногих из этих моделей ставится, а тем более решается задача использования модели для целей агрометеорологического прогнозирования.

Развитие прикладного моделирования и прогнозирования продуктивности посевов связано с успехами в создании количественной теории фотосинтеза и изучении динамики урожаев сельскохозяйственных культур. Методология динамико-статистического прогнозирования базируется на моделировании влияния агрометеорологических условий на фотосинтетическую продуктивность посевов и исследовании закономерностей временных рядов урожаев, синтезе статистического и динамического подходов (Сиротенко О.Д., 1981, Полевой А.Н., 1983).

Теоретические исследования в рамках этого направления включают три основных этапа: моделирование влияния агрометеорологических условий на продукционный процесс растений; исследование влияния погодных условий на этот процесс; разработку теоретических основ прогнозирования. Ключевым моментом является создание теоретических моделей продуктивности для построения комплексной модели формирования количества и качества урожая. Структура моделей определяется их целевым назначением, уровнем знаний о воздействии факторов внешней среды на основные физиологические процессы, а также возможностью их формализации. Не менее важным является возможность определения параметров моделей.

Динамико-статистические модели продуктивности, адекватно описывающие влияние агрометеорологических условий на формирование количества и качества урожая, позволили подойти к разработке теоретических основ прогнозирования.

Основу динамико-статистических моделей продукционного процесса составляет математическое описание механизмов биофизических процессов, происходящих в течение определенного временного интервала в системе «почва – растение – атмосфера». В этих моделях оценка агрометеорологических условий основывается на учете влияния факторов среды на важнейшие физиологические процессы: фотосинтез, дыхание и рост. Определен круг задач, решаемых с помощью моделей продукционного процесса в агрометеорологических прогнозах: оценка агрометеорологических условий произрастания и прогнозирование продуктивности сельскохозяйственных культур. Их решение требует создания базовой модели формирования урожая, разработки методов определения параметров моделей, основанных на общих закономерностях биологических процессов и применении доступной агрометеорологической информации. Описание

модели, используемой для целей прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур, приводится в третьей главе.

Методология динамико-статистического прогнозирования урожайности опирается, с одной стороны, на использование методов прогнозирования по одному временному ряду, с другой – на методы оценки условий формирования урожая с помощью моделей продукционного процесса.

Применение методов прогнозирования по одному временному ряду предусматривает проведение исследований по выбору наиболее приемлемого подхода к экстраполяции тенденции урожайности.

Использование методов диагностики агрометеорологических условий произрастания сельскохозяйственных культур для оценки отклонений от тенденции урожайности, обусловленных влиянием погодных условий конкретных лет, позволяет решить две проблемы. Первая из них – это обычно возникающая при прогнозировании урожайности проблема комплексной оценки сложившихся агрометеорологических условий и исходного состояния посевов ко времени составления прогноза. Вторая проблема – это решение согласования в единой схеме различных прогностических данных. Эти основные положения делают возможным развитие более общих подходов к прогнозированию урожайности, позволяют после оценки географической изменчивости параметров моделей перейти к динамико-статистическому прогнозированию урожайности в различных почвенно-климатических зонах страны.

1.4. Изменчивость урожаев сельскохозяйственных культур

Изменения урожайности сельскохозяйственных культур от года к году, в первую очередь, обусловлены погодными условиями. Влияние метеорологических факторов и их комплексов на формирование продуктивности сельскохозяйственных культур изучены достаточно полно. Значительный вклад в изучение изменчивости урожаев зерновых культур в связи с особенностями климата основных сельскохозяйственных районов страны внес В.М. Пасов (1986).

Получение высоких и стабильных урожаев сельскохозяйственных культур – основная задача земледельцев. Однако на различных этапах развития сельскохозяйственного производства в понятие «высокий урожай» вкладывалось разное содержание. В XVIII в. – в первой половине XIX в. в среднем по Европейской части России урожайность зерновых культур была на уровне 0,4 – 0,5 т/га, в то время урожайность 0,6 – 0,7 т/га считалась высокой. В конце XIX в. такая урожайность зерновых была характерна для обычных лет и как высокая уже не рассматривалась. Аналогичная картина была характерна для Франции, Англии, Германии и США.

Подъем урожайности зерновых во всем мире начался приблизительно с середины XX в. Этому способствовали успехи в химизации сельского

хозяйства, селекционном деле, технологии возделывания культур и т.п. В 70-е годы прошлого столетия урожайность зерновых в среднем по Европейской части СССР при погоде, близкой к обычной, превысила 2,0 т/га, а урожайность неблагоприятного 1975 г., равная 1,4 т/га, была отнесена к разряду очень низкой урожайности.

Из сказанного следует, что урожайность зерновых культур в основных зернопроизводящих регионах Северного полушария имеет тенденцию (тренд) к росту во времени, однако темпы этого роста в разных странах и на разных исторических этапах различны. Наличие тренда в динамике урожайности приводит к тому, что понятие «высокий урожай» (также как «средний» и «низкий») становится понятием относительным, а его конкретная величина определяется тем, к какой стране и какому историческому периоду оно относится. На фоне общей тенденции роста урожайности происходят ее колебания во времени, т.е. наряду с обычными средними годами имеют место годы с высокими и низкими урожаями.

Причиной, обусловливающей рост урожайности сельскохозяйственных культур во времени, является повышение общей культуры земледелия. Уровень культуры земледелия зависит от целого ряда факторов и может быть оценен величиной урожайности, которую удается достичь в рамках определенных почвенно-климатических условий. В тех районах земного шара, где природные ресурсы выше, достичь желаемого уровня урожайности легче, и сделать это удается с меньшими затратами, чем в районах с менее благоприятными условиями.

Комплекс факторов, от которых зависит уровень культуры земледелия, достаточно многообразен. В него входят особенности применяемой системы земледелия, способы обработки почвы, степень использования удобрений, способы борьбы с болезнями и вредителями посевов, биологические возможности сорта и соответствие возделываемых сортов агроклиматическим ресурсам территории, энерговооруженность сельскохозяйственного производства и др. Перечисленные факторы определяют общий уровень урожайности, обусловливают ее постепенный рост во времени, т.е. формируют тренд. Что же касается ежегодных колебаний урожайности сельскохозяйственных культур вокруг тренда в каком-либо конкретном регионе, то они в основном обусловлены погодой и связаны с климатическими особенностями территории. Изменчивость погоды вегетационного периода разных лет вносит свой вклад в колебания урожайности сельскохозяйственных культур, в результате чего суммарная изменчивость урожайности возрастает.

Таким образом, все многообразие факторов, влияющих на урожайность сельскохозяйственных культур, можно разделить на две большие группы: в первую войдут факторы, обусловливающие уровень культуры земледелия, во вторую – метеорологические факторы.

Уровень культуры земледелия оказывает решающее влияние на урожайность и в значительной степени определяет ее величину. Оценить его можно статистическим путем, допустив, что колебания урожайности вокруг тренда связаны только с вариациями агрометеорологических условий конкретных лет (иногда они обусловлены также биологическими факторами – сортовыми особенностями, массовым развитием вредителей и болезней сельскохозяйственных культур и др.). При этом предполагается, что влияние факторов, связанных с ростом культуры земледелия, приводит к главному изменению урожайности и что эти изменения происходят по определенному закону. Эти допущения позволяют по имеющимся эмпирическим данным аппроксимировать изменения урожайности во времени той или иной формой зависимости (прямой, параболой и т.д.).

Закономерности изменения метеорологической составляющей во времени находятся в тесной связи с изменением метеорологических условий вегетационного периода в течение последовательного ряда лет и, как правило, не известны нам даже в первом приближении. Поэтому отклонения урожайности от тренда приходится рассматривать как случайную величину.

Таким образом, динамику урожайности той или иной культуры можно рассматривать как следствие изменения уровня культуры земледелия, на фоне которого происходят случайные колебания, связанные с особенностями погоды разных лет. Общая дисперсия урожайности σ^2 рассматривается как сумма двух слагаемых, одно из которых характеризует вклад, вносимый динамикой культуры земледелия σ_a^2, а другое – изменчивостью погоды σ_m^2. Тогда

$$\sigma^2 = \sigma_a^2 + \sigma_m^2; \tag{1.1}$$

$$\sigma_m^2 = \sigma^2 + \sigma_a^2. \tag{1.2}$$

Величина σ_m более устойчива во времени, чем σ, так как в состав последней входит существенно меняющийся σ_a. Расчет σ_m можно произвести по формулам:

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n}(y_i - \bar{y})^2}{n-1}, \tag{1.3}$$

$$\sigma_a^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n}(\hat{y}_i - \bar{y})^2}{n-1}, \tag{1.4}$$

$$\sigma_m^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n}(y_i - \bar{y})^2 - \sum_{i=1}^{n}(\hat{y}_i - \bar{y})^2}{n-1}, \tag{1.5}$$

где y_i – урожайность конкретного года; $\bar{y}$ – средняя многолетняя урожайность; $\hat{y}_i$ – динамическая средняя величина (урожайность по тренду в конкретном году); i = 1, 2, 3, 4,…, n; n – количество исследованных лет.

Для того, чтобы правильно оценить изменчивость урожайности, кроме дисперсии необходимо учитывать и сам уровень урожайности. Почвенно-климатические ресурсы различных регионов Российской Федерации не одинаковы, кроме того, районы различаются уровнем применяемой агротехники и продуктивностью районированных сортов. В результате этого урожайность одной и той же культуры в разных климатических зонах обычно существенно различается.

Для оценки изменчивости урожайности используется коэффициент вариации C_v:

$$C_v = \frac{\sigma}{\bar{y}}. \tag{1.6}$$

Поскольку особый интерес представляет только та часть вариации урожайности, которая связана с изменением погоды, то в формулу (1.6), вместо σ, следует ввести σ_m:

$$C_m = \frac{1}{\bar{y}}\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(y_i-\bar{y})^2-\sum_{i=1}^{n}(\hat{y}_i-\bar{y})^2}{n-1}}. \tag{1.7}$$

Величина стандартной ошибки коэффициента вариации m_{C_m} в первом приближении вычисляют по формуле

$$m_{C_m} = \frac{C_m}{\sqrt{2n}}, \tag{1.8}$$

где n – продолжительность периода (годы).

По величине коэффициента вариации выделены следующие градации изменчивости урожайности зерновых культур:

– менее 0,20 – незначительная изменчивость урожайности;
– 0,21 – 0,30 – умеренная изменчивость урожайности;
– 0,31 – 0,40 – высокая изменчивость урожайности;
– более 0,40 – очень высокая изменчивость урожайности.

Если для отдельных административных областей по формуле (1.7) рассчитать C_m и нанести их значения на карту, то получится картина изменчивости урожаев, отражающая климатические особенности территории, важные для формирования урожая исследуемой культуры (Пасов В.М., 1986).

1.5. Оправдываемость методов прогнозов урожайности сельскохозяйственных культур

1.5.1. Оценка оправдываемости новых и усовершенствованных методов прогнозов урожайности сельскохозяйственных культур

Агрометеорологические прогнозы являются одним из главных видов оперативного агрометеорологического обеспечения аграрного сектора экономики страны.

Для решения целесообразности внедрения нового метода прогноза в оперативную практику проводят оценку его качества. Определить качество новых и усовершенствованных агрометеорологических методов прогнозов позволяет проведение авторских и производственных испытаний. Методы оцениваются путем сравнения расчетных значений урожайности (или других прогнозируемых величин) с их фактическими значениями. При этом оценивается степень точности расчетов и уточняется территория, в пределах которой можно применять их для оперативного агрометеорологического обеспечения сельскохозяйственного производства.

Заключение о качестве метода делается на материалах независимой выборки с помощью двух критериев: оправдываемости метода (γ) и его ошибки $\overline{P}$ (Методические указания по проведению производственных (оперативных) испытаний новых и усовершенствованных методов гидрометеорологических и гелиогеофизических прогнозов, 1991).

Оправдываемость метода (γ) представляет собой выраженное в процентах отношение числа оправдавшихся прогнозов (n_+) к числу всех прогнозов, составленных по данному методу (N):

$$\gamma = \frac{n_+}{N} \cdot 100 . \qquad (1.9)$$

Прогноз считается оправдавшимся, если его ошибка не превышает допустимую погрешность, рассчитанную на основании среднего квадратичного отклонения прогнозируемого элемента (σ) с учетом заблаговременности составления прогноза.

Если прогноз составляется с заблаговременностью два месяца и меньше, в качестве допустимой погрешности элемента принимается величина, равная 0,67σ; при заблаговременности прогноза более двух месяцев, но менее четырех – 0,8σ; при заблаговременности прогнозов свыше четырех месяцев – σ.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(y_i - \overline{y}\right)^2}{n-1}} , \qquad (1.10)$$

где $\sum(y_i - \overline{y})^2$ – сумма квадратов разностей значений элемента за каждый отдельный год и среднего многолетнего их значения; n – число случаев данного вариационного ряда.

Для тех методов прогноза урожайности, валового сбора урожая и методов прогноза других элементов, в динамике временных рядов которых прослеживается тенденция увеличения или уменьшения его значений (тренд), среднее квадратичное отклонение (σ_Δ) прогнозируемого элемента рассчитывается по формуле

$$\sigma_\Delta = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(\Delta y_i - \overline{\Delta y}\right)^2}{n-1}}, \qquad (1.11)$$

где Δy_i – разность между предыдущим и последующим значениями агрометеорологических элементов во временном ряду; $\overline{\Delta y}$ – среднее значение этой разности.

Ошибка метода $\overline{P}$ представляет собой выраженную в процентах среднюю относительную ошибку оправдавшихся прогнозов:

$$\overline{P} = \frac{\sum_{i=1}^{n_+} P_i}{n_+}, \qquad (1.12)$$

где P_i – относительная ошибка в процентах оправдавшегося прогноза, имеющая вид

$$P_i = \frac{\left|y_\phi - y_n\right|}{\overline{y_\phi}} \cdot 100, \qquad (1.13)$$

где y_ϕ – фактическое значение элемента; y_n – прогнозируемое значение; $\overline{y_\phi}$ – среднее арифметическое его значение за последние пять лет.

Выводы о приемлемости метода для оперативной работы делаются на основании испытаний в течение 5–7 лет, из них авторские испытания в течение 3–5 лет и производственные испытания в течение двух лет.

Заключение о целесообразности использования метода в целях оперативного агрометеорологического обслуживания делается на основании сравнения результатов оценки прогнозов, составленных по новому методу, с оправдываемостью прогнозов по имеющимся методам такого же агрометеорологического прогноза аналогичной заблаговременности, в случае отсутствия аналогичных методов – с оправдываемостью инерционного, климатологического прогнозов. Проверка методов производится на одном и том же фактическом материале.

Оправдываемость метода (γ) должна быть выше оправдываемости инерционного и климатологического прогнозов при одной и той же допустимой ошибке, или ошибка метода P должна быть меньше при одной и той же оправдываемости.

Под инерционным прогнозом подразумевается прогноз, составленный на основании предположения, что прогнозируемое значение элемента будет таким же, как в прошлом году.

Под климатологическим – подразумевается метод прогноза, при котором в качестве прогнозируемого значения принимается среднее многолетнее значение элемента или расчет его по тренду (при наличии последнего). Среднее многолетнее значение рассчитывается по материалам 25–30-летнего периода наблюдений за элементом. В качестве прогнозируемого значения элемента по тренду на год прогноза принимается среднее арифметическое из фактических наблюдений за последние пять лет.

Окончательное решение об оперативном использовании нового метода принимается после сопоставления результатов испытаний с существующими методами прогноза аналогичной заблаговременности на одном и том же фактическом материале с учетом достоинств и недостатков сравниваемых методов (новый вид информации, новая технология, расширение обслуживаемой территории и др.).

Оценка успешности прогнозов по территории.

Оценка успешности агрометеорологических прогнозов может производиться как по отдельным пунктам, областям, краям, республикам, так и в целом по территории, для которой был разработан метод. Метод может быть рекомендован к внедрению в оперативную работу, если не менее чем в 70 % пунктов исследуемой территории показатели успешности $\gamma_{тер}$ и $P_{тер.}$ метода лучше аналогичных показателей инерционного, климатологического и существующего прогноза аналогичной заблаговременности.

Оправдываемость по территории ($\gamma_{тер.}$) представляет собой среднюю оправдываемость метода по всем пунктам:

$$\gamma_{тер.} = \frac{\sum_{i=1}^{A} \gamma_i}{A}, \qquad (1.14)$$

где A – число пунктов, по которым составлялись прогнозы, γ_i – оправдываемость метода в конкретном пункте.

Ошибка метода по территории ($P_{тер.}$) представляет собой среднюю ошибку оправдавшихся прогнозов по всем пунктам, для которых составляется прогноз:

$$P_{тер.} = \frac{\sum_{i=1}^{A'} \overline{P_i}}{A'}, \qquad (1.15)$$

где $\overline{P}_i$ – средняя относительная ошибка оправдавшихся прогнозов в конкретном пункте, A' – число пунктов, в которых прогноз оправдался.

Результаты испытания методов прогноза представляются на рассмотрение техническим (ученым) Советам территориальных и региональных управлений по гидрометеорологии (научно-исследовательских учреждений), а также Центральной методической комиссии по прогнозам (ЦМКП) Росгидромета.

1.5.2. Оценка оправдываемости прогнозов урожайности в оперативно-производственных организациях Росгидромета

В сетевых оперативно-производственных организациях республиканских и территориальных управлений Росгидромета оценка оправдываемости оперативных агрометеорологических прогнозов проводится согласно «Инструкции по оценке оправдываемости агрометеорологических прогнозов» (1983).

В качестве критерия оценки оправдываемости прогнозов урожайности и валового сбора используется формула относительной ошибки

$$P = \left| \frac{u_п - u_ф}{u_ф} \right| 100\,\%, \qquad (1.16)$$

где P – относительная ошибка агрометеорологических прогнозов, %; $u_п$ – прогнозируемая величина; $u_ф$ – фактическая величина.

Оценка дается для первого прогноза и его уточнений. Оправдываемость прогнозов рассчитывается по формуле 100 % – P.

Качество агрометеорологических прогнозов оценивается по шкале: оправдываемость 91 % и более – 5 баллов; 90 – 81 % – 4 балла, 80 – 70 % – 3 балла; менее 70 % – 0 баллов.

Прогнозируемая величина урожайности и валового сбора сельскохозяйственных культур даются интервалом. Величина интервала для прогнозов урожайности не должна превышать 15 % средней прогнозируемой величины. Прогнозируемые величины урожайности округляются до целых единиц (ц/га), а при ожидаемой урожайности менее 5 ц/га – с точностью до 0,1 ц/га.

Прогнозируемые величины валового сбора по субъектам даются с интервалом, не превышающим 10 % средней прогнозируемой величины. Прогнозируемые величины валового сбора округляются до целых величин (млн т), при ожидаемом валовом сборе менее 15 млн т – с точностью до 0,1 млн т и при ожидаемом валовом сборе менее 5 млн т – с точностью до 0,01 млн т. Оценка оправдываемости агрометеорологических прогнозов дается по величине отклонения от среднего значения прогнозируемой величины.

Если абсолютная ошибка ($u_п$ – $u_ф$) больше фактической величины, то для оценки прогнозов применяется формула

$$P = \left| \frac{u_п - u_ф}{u_ф - \bar{u}_ф} \right| 100\,\%. \qquad (1.17)$$

Здесь $\bar{u}_ф$ – среднее значение фактической величины за последние пять лет.

Формула (1.17) применяется также в случаях низких значений урожайности и валового сбора (при абсолютных величинах, равных или меньше 30 % их средних значений). В этом случае нормирование по средней

величине позволяет учесть в оправдываемости влияние необычных условий, вызвавших резкое падение урожайности или валового сбора.

Например, урожайность озимой ржи в Новосибирской области прогнозировалась 4 ц/га, фактически собрали 2,7 ц/га. Такая урожайность ниже средней урожайности за последние пять лет на 7,6 ц/га. По формуле (1.16) без учета отклонений от средних величин ошибка прогноза составляет 50 % $\left(P=\left|\frac{4,0-2,7}{2,7}\right|100\,\%\right)$. Небольшая абсолютная ошибка в 1,3 ц/га снизила оправдываемость до 50 %. Необоснованного снижения оправдываемости можно избежать путем нормирования величин, входящих в формулу по средним значениям, т.е. при применении формулы (1.17). В этом случае ошибка будет равняться 17 % $\left(P=\left|\frac{4,0-2,7}{2,7-10,3}\right|100\,\%\right)$.

При прогнозировании экстремальных величин урожайности, валового сбора, осеннего состояния и перезимовки озимых культур принципы оценки прогнозов несколько отличаются от ранее оказанных. В этом случае, когда ожидаемые величины прогнозировались близкими к абсолютному максимуму (или превышали ее), а также к минимуму (или были ниже его), а фактические величины оказались выше максимальных или ниже минимальных, прогноз считается отлично оправдавшимся независимо от величин ошибок.

Оценка прогнозов урожайности по территории Российской Федерации, федеральных округов.

Оценка агрометеорологических прогнозов по территориям Российской Федерации, федеральных округов, управлений по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (УГМС) проводится двумя способами.

Для прогнозов, которые составляются для территории областей, краев, республик по данным отдельных станций, отдельных полей и хозяйств (фенологические прогнозы, прогнозы запасов продуктивной влаги весной), ошибка прогноза по большой территории рассчитывается путем деления суммы ошибок (%) по отдельным станциям на число станций:

$$P_{тер.}=\frac{\sum_{i=1}^{n}P_i}{n}100\,\%, \qquad (1.18)$$

где $P_{тер.}$ – относительная ошибка прогноза по территории области, края, УГМС, республики и России в целом; P_i – относительная ошибка по хозяйствам (данные гидрометстанций); n – число хозяйств (гидрометстанций), по которым составлялись прогнозы.

Прогнозы средних областных значений урожайности и валового сбора сельскохозяйственных культур по территории Российской Федерации, федеральных округов и УГМС в связи с различными посевными площадями

оцениваются не по числу областей, а по площади посевов с учетом средневзвешенных величин. При этом сумма произведений площадей под определенной культурой на величину ошибки прогноза в областях, для которых составлялся прогноз, делится на сумму их площадей: посевных – для валового сбора яровых культур – и оставшихся после пересева озимых.

$$P_{тер.} = \frac{\sum_{i=1}^{n} P_i S_i}{\sum_{i=1}^{n} S_i} 100\,\%, \qquad (1.19)$$

где $P_{тер.}$ – относительная ошибка прогноза на большой территории; S_i – площади под культурой по отдельным областям; P_i – относительные ошибки прогнозов по тем же областям.

Например, относительная ошибка прогноза урожайности озимой пшеницы до территории Центрального федерального округа рассчитывается следующим образом (табл. 1.1).

Таблица 1.1

Уборочные площади и ошибка прогноза урожайности озимой пшеницы по областям Центрального федерального округа

Область	Уборочная площадь, тыс. га	Ошибка прогноза, Р, %	Область	Уборочная площадь, тыс. га	Ошибка прогноза, Р, %
Брянская	70	10	Московская	171	13
Владимирская	50	22	Орловская	110	32
Ивановская	71	26	Рязанская	123	15
Тверская	18	5	Смоленская	17	20
Калужская	115	12	Тульская	63	18
Костромская	26	19	Ярославская	46	11

Располагая сведениями об уборочных площадях и ошибках прогноза (таблица) в каждой из двенадцати областей района, рассчитывают относительную ошибку в целом по территории Центрального федерального округа:

$$P_{тер.} = \frac{70\cdot 10 + 50\cdot 22 + 71\cdot 26 + 18\cdot 5 + 115\cdot 12 + 26\cdot 19 +}{70 + 50 + 71 + 18 + 115 + 26 +}$$

$$\frac{+171\cdot 13 + 110\cdot 32 + 123\cdot 15 + 17\cdot 20 + 63\cdot 18 + 46\cdot 11}{+171 + 110 + 123 + 17 + 63 + 46 +} = \frac{15178}{880} = 17{,}3\,\%.$$

Оценка оправдываемости прогнозов урожайности и валового сбора дается с учетом окончательных уборочных площадей.

По неоправдавшимся прогнозам производится анализ причин их низкой оправдываемости. По прогнозам, имеющим низкую оправдываемость из-за значительного расхождения посевных площадей с уборочными,

которые прогнозист не имел возможности учесть, проводится дополнительная оценка с учетом посевных площадей и указывается ошибка прогноза за счет расхождения посевных площадей с уборочными.

ВОПРОСЫ

1. *Какое значение имеют агрометеорологические прогнозы в агрометеорологическом обеспечении сельского хозяйства?*
2. *На какие группы условно подразделяются агрометеорологические прогнозы?*
3. *Дайте определение терминов «агрометеорологическая оценка», «агрометеорологический прогноз».*
4. *Дайте определение закона лимитирующего фактора Ю. Либиха.*
5. *Какие группы показателей используются в статистических методах прогнозов?*
6. *Какие количественные показатели используются в качестве предикторов в синоптико-статистических моделях?*
7. *Дайте определение терминов «динамико-статистическая модель», «продукционный процесс растений».*
8. *Назовите факторы, влияющие на урожайность сельскохозяйственных культур.*
9. *Как оценить изменчивость урожайности сельскохозяйственных культур?*
10. *Что такое «уровень культуры земледелия»?*
11. *Что такое «оправдываемость метода»?*
12. *Как рассчитывается ошибка нового или усовершенствованного метода прогноза урожайности.*
13. *Дайте определение инерционного и климатологического методов прогноза урожайности.*
14. *Как оценить успешность метода прогноза урожайности по территории?*
15. *Как рассчитывается оправдываемость прогнозов урожайности в оперативных подразделениях Росгидромета?*

ГЛАВА 2
СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ОЦЕНОК И ПРОГНОЗОВ

2.1. Методы прогнозов оптимальных сроков сева и состояния озимых культур осенью

Озимые зерновые культуры по размерам посевной площади занимают второе место после яровых зерновых культур. Поэтому осенняя посевная кампания – очень ответственный период в сельскохозяйственном производстве.

Степень развития, состояние и укоренение озимых к концу осени зависят от агрометеорологических условий всего осеннего периода вегетации и сроков сева. Оптимальными сроками сева считаются такие, при которых у растений ко времени прекращения вегетации наблюдаются 3–5 побегов, предельно ранними, при которых озимые заканчивают вегетацию с кустистостью 6 побегов и более на одно растение, и предельно поздними, при которых озимые ко времени прекращения вегетации не достигли фазы «кущение».

Несвоевременный посев или неблагоприятные агрометеорологические условия осеннего периода ведут к тому, что озимые заканчивают вегетацию недостаточно раскустившимися и в плохом состоянии. Известно, что весной кущение озимых ограничено, что, в свою очередь, ведет к снижению числа колосоносных стеблей и, следовательно, к снижению урожая. Кроме того, у озимых, закончивших осеннюю вегетацию нераскустившимися или, наоборот, переросшими, в неблагоприятные по перезимовке годы наблюдается значительно бóльшая гибель, чем у нормально раскустившихся растений, с 3–5 побегами. (Уланова Е.С., 1975).

Наибольший урожай дают озимые таких сроков сева, при которых растения к концу вегетации успевают хорошо раскуститься, достигнуть этапа готовности к формированию зачаточного колоса, чтобы весной выколоситься в наиболее раннюю дату. Растения очень ранних и очень поздних сроков сева менее устойчивы к неблагоприятным условиям зимовки. Их сохранность за зиму, по данным В.А. Моисейчик (1975), в среднем на 20 % ниже, чем у растений оптимальных сроков сева. При отклонении сроков сева от оптимальных на 15–20 дней урожайность озимых в зависимости от почвенно-климатических условий района снижается на 10–30 % и более (Федосеев А.П., 1979).

2.1.1. Методы прогноза агрометеорологических условий произрастания озимых в осенний период и оптимальных сроков сева по полям

Состояние озимых культур и степень их кустистости перед прекращением вегетации осенью во многом определяет их будущий урожай, поэтому прогноз агрометеорологических условий вегетации озимых в осенний период имеет большое производственное значение.

Основными агрометеорологическими факторами, от которых зависит рост и развитие озимых культур в осенний период, являются температура воздуха и увлажнение почвы. В связи с этим количественные расчеты ожидаемой кустистости озимых культур ко времени прекращения вегетации осенью проводятся с учетом этих двух основных факторов. В условиях достаточного увлажнения почвы определяющее значение имеет температура воздуха.

Для расчетов ожидаемых дат появления всходов, наступления фазы кущения и степени кустистости озимых культур при составлении агрометеорологических прогнозов в районах с хорошими запасами влаги в почве обычно используются показатели сумм эффективных температур А.А. Шиголева.

Сумма эффективных температур – показатель, пропорциональный количеству тепла, выраженный суммой средних суточных температур воздуха или почвы, уменьшенных на величину биологического минимума температуры.

Биологический минимум температуры – нижний уровень температуры, при котором происходит начало жизнедеятельности и активное развитие растений в той или иной фазе. Для большинства культурных растений умеренного климата биологический минимум температуры находится в пределах 3–5 °С; для растений южного происхождения (кукуруза, рис, хлопчатник) – в пределах 10–15 °С. (Толковый словарь по сельскохозяйственной метеорологии, 2002).

Сумма активных температур – показатель, пропорциональный количеству тепла, выраженный суммой средних суточных температур воздуха или почвы, превышающих биологический минимум температуры, установленный для определенного периода развития растений.

При температуре выше 5 °С для появления всходов озимой ржи осенью при достаточном увлажнении почвы необходима сумма эффективных температур, равная 52 °С, а для озимой пшеницы – 67 °С, считая со следующего дня после посева. Таким образом, продолжительность межфазного периода посев–всходы составит:

- для озимой ржи $n = \frac{52}{t-5}$;
- для озимой пшеницы $n = \frac{67}{t-5}$,

где n – продолжительность, дни; t – средняя температура воздуха за период, °С.

Для периода от всходов до начала кущения озимых ржи и пшеницы необходима сумма эффективных температур, равная 67 °С. Сумма эффективных температур, необходимая для всего периода, от посева до кущения, равна 119 °С – для озимой ржи, и 134 °С – для озимой пшеницы.

При достаточных запасах влаги от посева до появления третьего побега необходима сумма эффективных температур 200 °С, а от посева до появления шестого побега требуется сумма эффективных температур 300 °С. Все указанные показатели сумм эффективных температур характеризуют не массовое наступление фазы, а ее начало (у 10 % растений).

Зная ожидаемую температуру воздуха и дату сева озимых, по указанным суммам эффективных температур (суммируя значения средних суточных температур, уменьшенные на 5 °С) можно определить даты наступления последующих фаз озимых культур.

В начальный период роста и развития озимых, наряду с тепловым режимом, большое значение имеет увлажнение почвы. Продолжительность периодов посев – всходы и всходы – кущение резко увеличивается, если семена попадают в недостаточно увлажненную почву. Следовательно, определить наступление фаз озимых осенью, учитывая только один тепловой режим, при условии недостаточного увлажнения почвы нельзя.

Е.С. Улановой (1984) были найдены зависимости продолжительности периодов посев – всходы и всходы – кущение озимой ржи и пшеницы от увлажнения почвы и температуры при оптимальном их значении.

На рис. 2.1 представлена зависимость продолжительности периода посев – всходы озимых ржи и пшеницы от температуры воздуха при хорошем увлажнении почвы (от 30 до 60 мм в пахотном слое).

Наименьшая продолжительность периода посев – всходы (4 дня) наблюдается при средней температуре выше 14 °С. Следовательно, эту температуру можно считать оптимальной, обеспечивающей самое

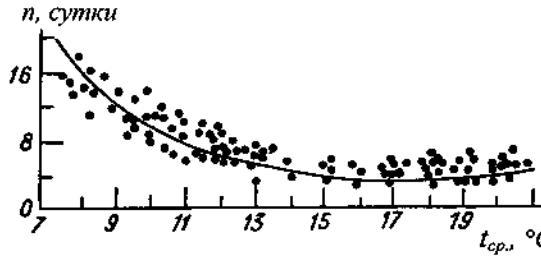


Рис. 2.1. Зависимость продолжительности периода (n) посев – всходы озимой ржи и озимой пшеницы от средней за период температуры воздуха при хорошем увлажнении ≥30 мм в слое почвы 0–20 см

быстрое появление всходов при условии хорошего увлажнения почвы. Зависимость продолжительности периода посев – всходы озимых ржи и пшеницы от запасов влаги в пахотном слое почвы при температуре воздуха выше 14 °С имеет вид:

$$n = \frac{74,2}{W^{0,74}}, \qquad (2.1)$$

где n – продолжительность межфазного периода посев – всходы озимых (дни); W – запасы продуктивной влаги (мм) в слое почвы 0 – 20 см. Эта зависимость представлена в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Продолжительность периода посев – всходы (дни) у озимой ржи и пшеницы в зависимости от запасов продуктивной влаги в слое почвы 0 – 20 см при температуре выше 14 °С (Уланова Е.С., 1984)

Параметры	Запасы продуктивной влаги, мм																	
Запасы продуктивной влаги, мм	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	20	25	30	35	40	45	50
Продолжительность периода посев – всходы, сут	24	22	20	18	16	14	13	12	11	10	10	8	6	5	4	4	4	4

Для расчета продолжительности периода n всходы – третий лист от средней температуры воздуха за межфазный период $\bar{t}$ при достаточном увлажнении пахотного слоя почвы в районах Черноземной зоны А.Я. Грудевой предложены следующие формулы:

- для озимой пшеницы $\lg n = 2,57 - 1,4 \lg \bar{t}$, (2.2)
- для озимой ржи $\lg n = 1,90 - 1,81 \lg \bar{t}$. (2.3)

Для расчета наступления фазы кущения при различных температуре и запасах влаги в пахотном слое почвы Е.С. Улановой (1984) получена зависимость, которая представлена в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Продолжительность периода всходы – кущение (дни) у озимой ржи и пшеницы в зависимости от средней температуры воздуха и запасов влаги (мм) в слое почвы 0 – 20 см

Запасы влаги (мм) в слое почвы 0 – 20 см	Средняя температура воздуха в период всходы – кущение, °С											
	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
10		30	30	28	25	25	23	23	23	23	23	23
15		29	25	23	23	22	21	20	21	21	21	21
20		25	23	22	20	18	17	17	16	16	16	16
25	25	23	21	19	17	16	15	13	12	12	12	12
30	25	23	20	17	15	13	12	10				
35	25	23	20	17	15	13	10					
40	25	23	20	17	15	13	10					
45	25	23	20	17	15	13	10					
50	25	23	20	17	15	13	10					

Кущение озимых зерновых культур продолжается до прекращения их вегетации.

Исследования А.Я. Грудевой показали, что если запасы влаги пахотного слоя почвы (0–20 см) не снижаются до менее 20 мм, то заметного замедления темпов развития озимых не происходит, поэтому увлажнение пахотного слоя, равное 20 мм и более, можно считать достаточным.

Наиболее тесная связь получена ею при учете накопления сумм активных температур раздельно по сортам для случаев с достаточным (20–0 мм продуктивной влаги) и недостаточным (5–19 мм) увлажнением пахотного слоя почвы.

А.Я. Грудева выделила четыре группы по темпам кущения озимой пшеницы и ржи при различном увлажнении пахотного слоя почвы.

Для сортов озимой пшеницы с наименьшей интенсивностью кущения (Безостая-1, Белоцерковская-198 и Лютесценс-230) среднее число побегов на одно растение (y) в зависимости от накопившейся за период кущения суммы положительных температур (x) может быть определено по уравнению

$$y = 0{,}0085x + 1{,}0. \qquad (2.4)$$

Ею также получены уравнения для групп (сортов) озимой пшеницы с другой интенсивностью кущения.

Расчеты ожидаемых запасов продуктивной влаги можно производить, если использовать зависимости изменения этих запасов от метеорологических условий, которые установлены С.А. Вериго (1973) и выражены следующими уравнениями:

- для пахотного слоя почвы в зоне черноземных почв в период осенней вегетации озимых

$$y = -0{,}19a + 0{,}44b - 0{,}22c + 1{,}6; \qquad (2.5)$$

- для зоны оподзоленных почв

$$y = -0{,}23a + 0{,}53b - 0{,}24c + 3{,}6, \qquad (2.6)$$

где y – изменение запасов продуктивной влаги за декаду, мм; a – средняя температура воздуха за декаду, °С; b – сумма осадков за декаду, мм; c – запасы продуктивной влаги в начале декады, мм.

Необходимо также вводить поправки на температуру воздуха, которые представлены в табл. 2.3.

Таблица 2.3

Поправки (мм) на температуру воздуха (°С) для слоя почвы 0–20 см

Тип почвы	Средняя температура воздуха за декаду, °С		
	5–7	8–12	13–17
Черноземные почвы	1	0	-1
Оподзоленные почвы	1	0	-1

Увлажнение пахотного слоя почвы играет большую роль в изменении состояния сельскохозяйственных культур. При средних за декаду запасах влаги в этом слое почвы менее 5 мм всходы не появляются, с увеличением запасов влаги состояние всходов улучшается. Хорошие оценки состояния отмечаются при влажности, соответствующей наименьшей полевой влагоемкости почвы. Средние оценки состояния и их изменения приведены в табл. 2.4 и 2.5.

Таблица 2.4

Средние оценки[1] состояния всходов зерновых культур при различных запасах продуктивной влаги в слое почвы 0–20 см

Типы почвы	Запасы продуктивной влаги, мм												
	1–5	6–10	11–15	16–20	21–25	26–30	31–35	36–40	41–50	51–60	61–70	71–80	>80
Черноземные почвы	–	2,0	2,8	3,1	3,4	3,6	3,8	4,0	4,0	–	–	–	–
Оподзоленные почвы	1,4	1,4	3,0	3,6	3,9	3,6	3,5	3,4	3,3	3,2	3,1	3,0	3,0

[1] Оценки: 1 – очень плохое, 2 – плохое, 3 – удовлетворительное, 4 – хорошее, 5 – отличное состояние.

Таблица 2.5

Изменение оценок состояния зерновых культур (баллы) в период кущения в зависимости от количества влаги в слое почвы 0–20 см

Средние за декаду запасы продуктивной влаги, мм	1–5	6–10	11–15	16–20	21–25	26–30	31–35	36–40	41–50
Поправка	-1,0	-0,5	-0,3	-0,2	0	0	0,2	0,5	0,5

Таким образом, по изложенным методам можно производить оценку сложившихся и ожидаемых (при наличии прогноза погоды) агрометеорологических условий осенней вегетации озимых и определять оптимальные, предельно ранние и предельно поздние сроки сева.

2.1.2. Метод прогноза оптимальных сроков сева озимых с учетом изменения агроклиматических условий по субъектам Центрального и Приволжского федеральных округов

Центральный и Приволжский федеральные округа являются крупными производителями зерна в Российской Федерации. Их доля в зерновом балансе страны составляет около 45 %. Из возделываемых зерновых колосовых культур озимые зерновые в этих округах занимают ведущее место. Посевы наиболее ценной продовольственной культуры – озимой пшеницы – дают около 40 % всего валового сбора зерна этой культуры в Российской Федерации, а озимой ржи – до 80 %.

А.И. Страшной, Т.А. Максименковой, О.В. Чуб (2010) были установлены зависимости сроков сева озимых культур от агрометеорологических факторов, характеризующих тепло- и влагообеспеченность растений в

изменившихся агроклиматических условиях, и разработан метод прогноза оптимальных сроков сева.

На преобладающей территории этих регионов сев озимых производится уже в августе и выбор оптимальных сроков сева в период август – сентябрь чрезвычайно важен при совершенствовании агротехнических приемов и технологий их возделывания в меняющихся климатических условиях.

В связи с потеплением климата, которое было инструментально зафиксировано с середины 70-х годов прошлого века, на большей части территории Центрального и Приволжского федеральных округов сроки сева озимых культур, чаще всего, сдвигались из-за засушливых условий (лишь в крайних северных районах в отдельные годы из-за переувлажнения почвы). В результате такого смещения сроков сева для хорошего развития растений осенью не хватало тепла. Поэтому наиболее важным фактором в период осенней вегетации озимых культур на рассматриваемой территории является температура воздуха, а в южных районах и режим увлажнения.

За период 1980 – 2009 гг. повышение температуры воздуха (в отличие от количества осадков) наблюдалось как в сентябре, так и в октябре, вследствие чего период осенней вегетации озимых оказался более продолжительным. Это подтверждается и положительной динамикой дат устойчивого перехода температуры воздуха через 5 °С в эти годы. Оказалось, что сдвиг этих дат в сторону более поздних по сравнению со средними датами, рассчитанными до 1970 – 1975 гг., на преобладающей территории округов составил в среднем 6 – 8 дней, в отдельных западных и южных районах 4 – 5 дней. Самые ранние даты перехода температуры воздуха через 5 °С в пределах округов приходятся на 5 – 10 октября, а самые поздние – на 20 – 25 октября (рис. 2.1).

В период предзимья (от даты устойчивого перехода температуры воздуха через 5 °С до перехода через 0 °С) слабая вегетация озимых культур наблюдалась лишь в отдельные годы, в основном в дневные часы при отмеченных кратковременных «всплесках» тепла. При этом заметных изменений в степени развития растений, как правило, не отмечалось. Авторы установили оптимальные средние многолетние сроки сева озимых, ведя расчет необходимой суммы эффективных температур (250 °С) для образования 3 – 4 побегов кустистости от рассчитанной средней многолетней даты перехода температуры воздуха через 5 °С в сторону летних месяцев. По результатам этих расчетов за период с 1980 по 2008 г. построена карта оптимальных сроков сева озимых зерновых культур, представленная на рис. 2.2. В крайних северных и северо-восточных районах территории оптимальные средние многолетние сроки сева приходятся на 10 – 15 августа, в южных районах – на 10 – 15 сентября.

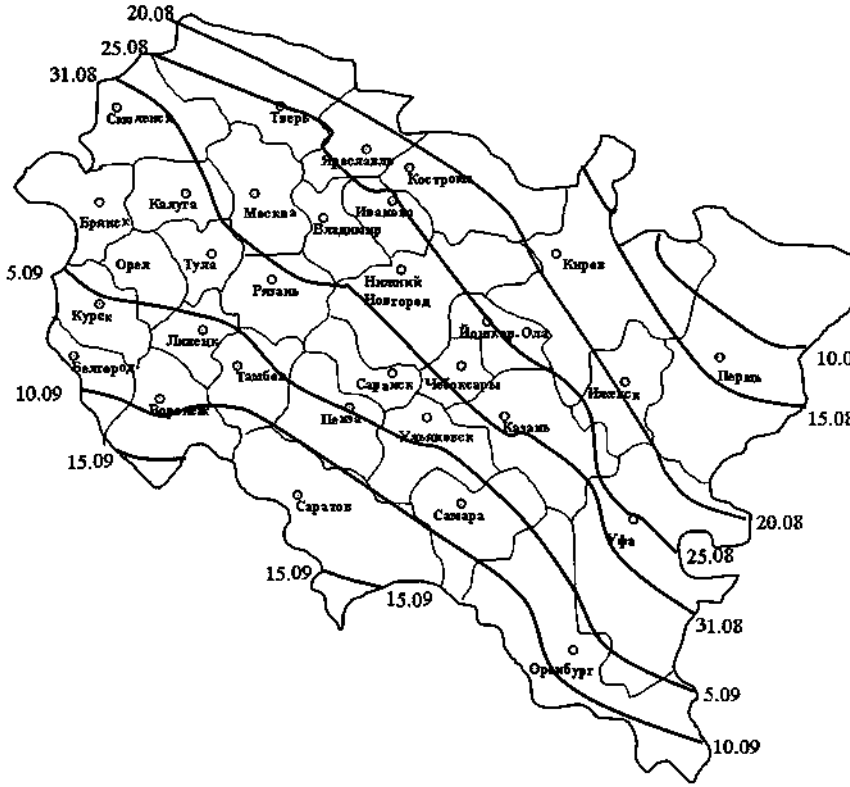


Рис. 2.2. Средние многолетние даты оптимальных сроков сева озимых зерновых культур в Центральном и Приволжском федеральных округах за период 1980–2009 гг. (Страшная А.И. и др., 2010)

Установленные оптимальные средние многолетние сроки сева озимых зерновых культур могут использоваться в годы, когда отклонения в агрометеорологическом режиме в августе–сентябре незначительные. Однако в большинстве лет агрометеорологические условия в этот период различаются в значительной степени, и для расчета оптимальных сроков сева в конкретном году необходимо знать ожидаемую дату прекращения активной вегетации озимых культур (или дату перехода температуры воздуха через 5 °С осенью).

Первый вариант

Авторами установлена зависимость между продолжительностью периода активной вегетации озимых культур осенью, которая прекращается при переходе температуры воздуха через 5 °С в сторону понижения и датой устойчивого перехода средней суточной температуры воздуха через 15 °С (т. е. с началом осени), когда уже возможен сев озимых. Полученные

в результате регрессионного анализа такие зависимости практически на всей территории округов имеют нелинейный характер. Для субъектов северных районов Нечерноземной зоны зависимость продолжительности осенней вегетации озимых (n) от даты перехода через 15 °С (D_{15}) описана уравнением вида:

$$n = 0,023 D_{15}^2 - 2,73 D_{15} + 121,47; \quad R = 0,73, \tag{2.7}$$

где n – продолжительность периода в днях от даты перехода температуры воздуха через 15 °С до окончания активной осенней вегетации, т. е. до перехода температуры воздуха через 5 °С в сторону понижения; D_{15} – дата перехода температуры воздуха через 15 °С в сторону понижения (за день отсчета принята дата 1 июля); R – коэффициент корреляции.

Для южных районов Нечерноземной зоны полученное уравнение имеет вид:

$$n = 0,015 D_{15}^2 - 1,74 D_{15} + 79,55; \quad R = 0,77. \tag{2.8}$$

Для южных областей Центрального и Приволжского федеральных округов (т. е. для северных районов Черноземной зоны) получено следующее уравнение:

$$n = 0,014 D_{15}^2 - 1,78 D_{15} + 87,43; \quad R = 0,71. \tag{2.9}$$

В уравнениях (2.8) и (2.9) за единицу отсчета принята дата 1 августа, остальные обозначения те же, что и в уравнении (2.7).

Определив по предложенным уравнениям продолжительность (n) периода активной осенней вегетации (следовательно, дату ее окончания) и рассчитав сумму эффективных температур воздуха (выше 5 °С) от этой даты в сторону летних месяцев, можно определить оптимальный срок сева озимых, принимая за этот срок дату, когда набирается сумма эффективных температур, равная 250 °С.

Ошибки полученных регрессионных уравнений на зависимых (включенных в расчеты) материалах в 65–70 % случаях не превышали 4–6 дней, по уравнению (1.14) – до 7 дней при общей продолжительности периода от 55 до 70 дней.

Второй вариант

При ежегодном установлении оптимальных сроков сева озимых культур и подготовке соответствующих агрометеорологических рекомендаций, особенно в годы с аномальными погодными условиями, необходим учет сложившихся агрометеорологических условий текущего года и сезонных прогнозов погоды, оправдываемость которых в последние годы несколько повысилась. С этой целью разработан метод прогноза оптимальных сроков сева озимых в изменившихся агроклиматических условиях с учетом прогноза погоды.

При разработке второго варианта метода территория округов по сходству агроклиматических условий осени была разделена на три района.

К первому району относятся: центральные нечерноземные области Центрального федерального округа и северные нечерноземные субъекты

Приволжского федерального округа, где степень развития растений осенью определяют в основном термические условия, а увлажнение чаще всего достаточное (в отдельные годы в северных районах даже избыточное).

Ко второму району относятся: центральные черноземные области Центрального федерального округа, а также сходные по термическому режиму и режиму увлажнения Пензенская, Ульяновская области, республики Татарстан и Башкортостан, где в отдельные годы (до 15–25 % лет) в августе–сентябре наблюдаются засушливые условия.

К третьему району относятся: юго-восточные области Приволжского федерального округа (Саратовская, Самарская, Оренбургская), где в августе–сентябре часто (в 30 % лет и более) наблюдаются засушливые условия. Здесь очень важным, кроме температуры воздуха, становится и учет условий увлажнения (выпадение осадков).

Для территории, относящейся к первому району, используются данные о термическом режиме воздуха в период от начала сева до прекращения вегетации озимых культур. За дату начала расчетов принимается дата 1 августа. Установлена зависимость (рис. 2.3.) сроков сева озимых зерновых культур ($D_{сев}$) от средней температуры воздуха за период третья декада августа – третья декада сентября ($T_{8_3-9_3}$). Для этой территории она описывается полиномом третьей степени. Для этих районов полученное прогностическое уравнение имеет вид (2.10):

$$D_{сев} = 1{,}09T^3_{8_3-9_3} - 37{,}513T^3_{8_3-9_3} + 429{,}5T^2_{8_3-9_3} - 1604{,}7; \quad R = 0{,}79, \qquad (2.10)$$

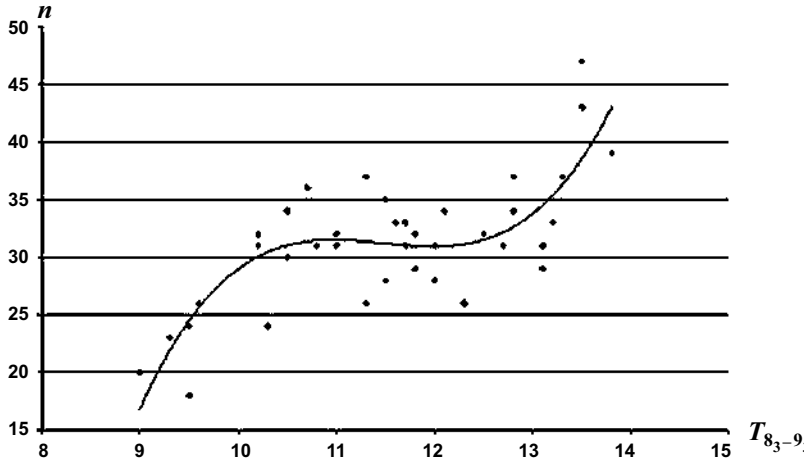


Рис. 2.3. Зависимость сроков сева озимых зерновых культур (n) от средней температуры воздуха за период третья декада августа – третья декада сентября ($T_{8_3-9_3}$) по территории, относящейся к первому району (Страшная А.И. и др., 2010)

где $D_{сев}$ – срок сева (дата оптимального срока сева, за единицу отсчета принята дата 1 августа); $T_{8_3-9_3}$ – средняя температура воздуха за период третья декада августа – третья декада сентября; R – коэффициент корреляции.

При средней температуре воздуха за период с третьей декады августа по третью декаду сентября от 9,0 до 10,5 °С оптимальный срок сева, при котором растения достигают кустистости, равной 3 и более побегов, приходится на период 20–30 августа. При увеличении средних температур воздуха от 10,5 до 13,5 °С оптимальным сроком сева будет период с 1 по 5 сентября, при более высоких температурах – период с 6 по 10 сентября.

Для территорий, относящихся ко второму и третьему районам значимая теснота связей дат оптимальных сроков сева выявилась не только с температурой, но и с количеством осадков за август, при этом более тесная связь оказалась на территории, относящейся к третьему району.

Для территории, отнесенной к району 2, предложено уравнение вида

$$D_{сев} = 0,036P_8 - 5,00T_{8_3-9_3} + 0,37T^2_{8_3-9_3} + 31,60; \quad R = 0,83. \qquad (2.11)$$

Для территории, относящейся к третьему району, уравнение имеет вид:

$$D_{сев} = 2,62T_{8_3-9_3} - 0,40P_8 + 0,003P_8^2 + 6,35; \quad R = 0,87. \qquad (2.12)$$

В уравнениях (2.11) и (2.12) P_8 – количество осадков за август, а остальные обозначения те же, что и в уравнении (2.10).

В Гидрометцентре России предварительный прогноз погоды на сентябрь составляется в середине августа, поэтому прогноз оптимальных сроков сева озимых культур можно составить уже в этот период. При отсутствии такого прогноза можно использовать средние многолетние данные.

Примеры расчета оптимального срока сева озимых зерновых культур.

Первый вариант

На севере Самарской области переход средней суточной температуры воздуха через 15 °С в сторону понижения в 2001 г. произошел 22 августа. В уравнение (2.16) для южных областей Центрального и Приволжского федеральных округов подставляем D_{15}, равное 22 (так как за единицу отсчета принята дата 1 августа):

$$n = 0,014 \cdot 22^2 - 1,78 \cdot 22 + 87,43.$$

Получаем значение n = 55 дням. Таким образом, прекращение вегетации озимых культур наступит через 55 дней после 1 августа, т. е. 16 октября. Считая необходимую сумму эффективных температур воздуха (выше 5 °С), равную 250 °С, от 16 октября в сторону летних месяцев, получаем оптимальный срок сева озимых в 2001 г. 30 августа.

Второй вариант

На севере Самарской области в 2001 г. средняя температура воздуха за период с третьей декады августа по третью декаду сентября составила 13,3 °С, а количество осадков за август составило 42 мм. Таким образом, подставляя эти значения в уравнение (2.19), которое относится к третьему району (при расчете $D_{сев}$ – оптимальный срок сева, здесь также за начало счета принята дата 1 августа),

$$D_{сев} = 2{,}62 \cdot 13{,}13 - 0{,}40 \cdot 42 + 0{,}003 \cdot 42^2 + 6{,}35 .$$

При решении этого уравнения получаем значение $D_{сев}$, равное 29,7, т.е., отсчитывая полученное значение от 1 августа, оптимальный срок сева озимых будет приходиться на 30 августа.

2.1.3. Метод прогноза состояния озимых культур ко времени прекращения их вегетации по территории области, края, республики

Для характеристики состояния посевов озимых культур используют показатель густоты стояния растений на единицу площади (число растений на 1 м^2) осенью как на конкретных полях, так и в целом по области, краю республике. Этот показатель имеет наиболее тесную связь с размерами площадей озимых с плохим состоянием посевов. Число растений на 1 м^2 ко времени прекращения вегетации озимых зависит от запасов продуктивной влаги пахотного слоя почвы и объективно характеризует общее состояние посевов на конкретных полях и на больших площадях (область, край, республика).

Аналитически эта связь выражена следующими уравнениями:

- для Северного Кавказа

$$\overline{u} = 178{,}68 + 21{,}735\,\overline{W} - 0{,}459\,\overline{W}^2 ; \qquad (2.13)$$

- для Центрально-Черноземных областей и Поволжья

$$\overline{u} = 109{,}20 + 22{,}015\,\overline{W} - 0{,}352\,\overline{W}^2 ; \qquad (2.14)$$

- для Нечерноземной зоны

$$\overline{u} = 117{,}35 + 22{,}29\,\overline{W} - 0{,}36\,\overline{W}^2 , \qquad (2.15)$$

где $\overline{u}$ – среднее по области число растений озимых на 1 м^2; $\overline{W}$ – средние по области запасы продуктивной влаги (на дату сева 20 % площади озимых).

При средних по области запасах продуктивной влаги в пахотном слое почвы 25 – 35 мм состояние посевов бывает оптимальным (400 – 500 растений на 1 м^2). Таким образом, уже в декаду начала массового сева (когда по области посеяно 20 % площади озимых) можно рассчитать ожидаемую густоту посевов и определить состояние их ко времени прекращения вегетации по территории области, края, республики, так как число растений на 1 м^2 тесно связано с размерами площади с различным состоянием озимых.

Зависимость размеров площади (в процентах всей посевной) с плохим состоянием озимых осенью от среднего по области числа растений на 1 м^2 (как установлено Т.А. Максименковой) для различных зон выражается следующими уравнениями связи:

- для Нечерноземной зоны

$$S_{o.} = -0{,}061\,\overline{u} + 32{,}208\ ; \qquad (2.16)$$

- для Центральной Черноземной зоны и Поволжья

$$S_{o.} = -0{,}07\,\overline{u} + 34{,}64\ ; \qquad (2.17)$$

- для Северного Кавказа

$$S_{o.} = -0{,}103\,\overline{u} + 51{,}166\ , \qquad (2.18)$$

где $S_{o.}$ – площадь озимых (%) с плохим состоянием ко времени прекращения вегетации; $\overline{u}$ – число растений на 1 м^2 ко времени прекращения вегетации.

При наличии фактических данных числа растений на 1 м^2 ко времени прекращения вегетации прогноз осеннего состояния озимых уточняется.

Пример. Рассмотрим составление прогноза для Воронежской области. В декаду начала массового сева озимых, когда на планируемой площади посеяно 20 % озимых, рассчитываем средние по области запасы продуктивной влаги в пахотном слое почвы. Допустим, средние по области запасы влаги равны 20 мм. Подставим это значение в уравнение (2.15):

$$\overline{u} = 109{,}20 + 22{,}015 \cdot 20 - 0{,}352 \cdot 20^2 = 408{,}7\ .$$

Затем рассчитываем значение $S_{o.}$ по уравнению (2.18):

$$S_{o.} = -0{,}07 \cdot 408{,}7 + 34{,}6\ , \quad S_{o.} = 6\ \%\ .$$

После определения состояния озимых ко времени прекращения их вегетации составляется текст прогноза, в котором описываются агрометеорологические условия сева, особенности условий осенней вегетации озимых, ожидаемая кустистость и площадь с различным состоянием. К тексту прогноза прилагается таблица, составленная по следующей форме (табл. 2.6).

Таблица 2.6

Территория	Общая посевная площадь озимых на зерно и зеленый корм, тыс.га	Площадь с различным состоянием озимых посевов								Площадь с различной степенью развития озимых посевов					
		хороших		удовлетворительных		плохих				раскустившихся				нераскустившихся и невзошедших	
						изреженных и невзошедших		только невзошедших		хорошо		слабо			
		тыс. га	%	тыс. га	%	тыс. га	%	тыс. га	%	тыс. га	%	тыс. га	%	тыс. га	%

2.1.4. Усовершенствованный метод прогноза состояния озимых зерновых культур осенью

В Черноземной зоне Европейской части Российской Федерации, где сосредоточено около 35 % площади посевов всех озимых зерновых культур, основной причиной плохого состояния озимых осенью являются неблагоприятные условия в предпосевной период, что приводит к иссушению верхнего слоя почвы в связи с дефицитом осадков. Сев озимых в таких случаях переносится на более поздние сроки. Посевы часто оказываются в неблагоприятных условиях тепло- и влагообеспеченности.

Под плохим состоянием озимых культур осенью понимаются посевы, не давшие всходы, слаборазвитые (в фазах всходы, третий лист, начало кущения) и изреженные на 30 % и более, а также раскустившиеся, но изреженные на 50 % и более на площади, превышающей 50 % всего поля.

Сельскохозяйственные органы заинтересованы в объективной оценке состояния озимых культур, как по отдельным полям, так и в целом по территории областей, краев, республик. Оценка и прогноз состояния посевов озимых зерновых культур осенью являются одной из основных задач оперативного агрометеорологического обслуживания сельскохозяйственных органов страны.

Т.А. Максименкова (1994) предложила прогностические уравнения, позволяющие определять размеры площади с плохим состоянием озимых культур осенью с двухмесячной заблаговременностью (табл. 2.7). Основными предикторами в полученных уравнениях являются: срок сева озимых, сумма осадков за август в процентах среднего многолетнего количества и запасы продуктивной влаги пахотного слоя почвы (мм) за сентябрь.

Таблица 2.7

Уравнения для прогноза размеров площади с плохим состоянием озимых зерновых культур осенью с двухмесячной заблаговременностью

Территория	Уравнения	Номер уравнения
Тамбовская область	$S_{о.} = 27{,}8 - 1{,}20ДН + 0{,}03\,ДН^2 - 0{,}20\,R_{VIII} + 0{,}001\boldsymbol{R}^2_{VIII}$	(2.19)
Курская, Белгородская, Волгоградская области	$S_{о.} = 37{,}02 - 3{,}50ДН + 0{,}07\,ДН^2 - 0{,}37\,R_{VIII} + 0{,}002\boldsymbol{R}^2_{VIII}$	(2.20)
Ростовская область, Краснодарский край	$S_{о.} = 2{,}29 - 0{,}006\,\overline{W}_{0-20,\,IX} + 0{,}008\,\overline{\boldsymbol{W}}^2_{0-20,\,IX}$	(2.21)

Примечания: $S_{о.}$ – площадь с плохим состоянием озимых осенью (%); $ДН$ – дата начала сева озимых (за начало массового сева принимается дата, когда посеяно 20 % плановой площади; R_{VIII} – средняя по области сумма осадков (%) среднего многолетнего количества за август; $\overline{W}_{0-20,\,IX}$ – средние по территории запасы продуктивной влаги (мм) за сентябрь

При прогнозе состояния озимых с месячной заблаговременносгью наиболее информативными показателями агрометеорологических условий осенью являются сроки сева, средняя по области сумма осадков в процентах среднего многолетнего количества за август и сентябрь для территории Центрально-Черноземных областей и средние по области (краю) запасы продуктивной влаги за сентябрь – октябрь – для территории Северо-Кавказского региона (табл. 2.8).

Таблица 2.8

Уравнения для прогноза размеров площади с плохим состоянием озимых зерновых культур осенью с месячной заблаговременностью

Территория	Уравнения	Номер уравнения
Белгородская, Волгоградская области	$S_{o.} = -22{,}96 + 1{,}42ДН - 0{,}48\,R_{VIII+IX} + 0{,}003\,R^2_{VIII+IX}$	(2.22)
Ростовская область, Краснодарский край	$S_{o.} = 65{,}12 - 0{,}20ДН - 4{,}20\,\overline{W}_{0-20,\,IX+X} + 0{,}08\,\overline{W}^2_{0-20,\,IX+X}$	(2.23)

Примечания: $S_{o.}$, $ДН$ – те же, что и в табл. 2.7; $R_{VIII+IX}$ – сумма осадков в процентах среднего многолетнего количества за период август – сентябрь; $\overline{W}^2_{0-20,\,IX+X}$ – средние по территории запасы продуктивной влаги (мм) за сентябрь – октябрь

Кустистость – показатель продуктивности злаковых растений – среднее количество всех стеблей, приходящихся на одно растение на 1 м^2 площади. (Толковый словарь по сельскохозяйственной метеорологии, 2002.)

Комплексный коэффициент, равный произведению средней по области кустистости озимых культур и осредненной по области высоты растений (К·Н), как показано Т.А. Максименковой, косвенно отражает условия тепло- и влагообеспеченности озимых в период вегетации. Поэтому его можно использовать при расчете состояния озимых в период после прекращения их вегетации. Для территории Северо-Кавказского региона условия роста и развития озимых осенью хорошо характеризует количество осадков за период от даты начала сева озимых до прекращения вегетации с учетом срока сева. В этом регионе при поздних сроках сева и небольшом количестве осадков (менее 50 % среднего многолетнего количества) площадь с плохим состоянием озимых осенью увеличивается до 30 – 40 %. Если же сумма осадков за этот период составляет более 60 % среднего многолетнего количества, то площадь с плохим состоянием озимых после прекращения вегетации не превышает 5 – 8 % (табл. 2.9).

Примеры составления прогнозов состояния озимых осенью.

Составление первого прогноза состояния озимых ко времени прекращения вегетации осенью приходится на начало сентября – примерно с

двухмесячной заблаговременностью, уточнение прогноза – на конец сентября. Окончательная оценка состояния озимых зерновых культур осенью производится в конце октября – первой половине ноября.

Таблица 2.9

Уравнения для расчета состояния озимых зерновых культур осенью после прекращения их вегетации

Территория	Уравнения	Номер уравнения
Тамбовская область	$S_{o.} = 26{,}8 - 2{,}22ДН + 0{,}06ДН^2 - 0{,}12(K \cdot H) + 0{,}002(K \cdot H)^2$	(2.24)
Курская, Белгородская, Волгоградская области	$S_{o.} = 69{,}97 - 3{,}50ДН + 0{,}07ДН^2 - 0{,}85(K \cdot H) + 0{,}007(K \cdot H)^2$	(2.25)
Ростовская область, Краснодарский край	$S_{o.} = 62{,}72 - 0{,}49ДН - 0{,}70R_1 + 0{,}003R_1^2$	(2.26)

Примечания: $S_{o.}$, $ДН$ – те же, что и в табл. 2.7; $(K \cdot H)$ – комплексный коэффициент; R_1 – количество осадков (мм) за период от начала сева до прекращения вегетации

Для расчетов ожидаемой площади озимых культур с плохим состоянием осенью различной заблаговременности необходимо иметь данные о сроках начала сева озимых (за начало сева принимается дата от 1 августа, когда посеяно 20 % плановой площади), запасах продуктивной влаги в пахотном слое почвы, осадках, кустистости и высоте растений за периоды, указанные в уравнениях (2.19)–(2.26).

Пример расчета ожидаемой площади озимых культур с плохим состоянием по Белгородской области:

а) *с двухмесячной заблаговременностью* – начало сева озимых культур – 2 сентября, сумма осадков за август среднего многолетнего значения составляет 150 %; подставляем эти значения в уравнение (2.20):

$$S_{o.} = 37{,}02 - 3{,}5\,(33) + 0{,}07\,(33)^2 + 0{,}37(150) - 0{,}002\,(150)^2 = 8{,}2\ \%;$$

б) *с месячной заблаговременностью* – начало сева озимых культур – 2 сентября, сумма осадков среднего многолетнего количества за август и сентябрь составляет 90 %; подставив эти значения в уравнение (2.22), получаем:

$$S_{o.} = -22{,}96 + \mathrm{I}{,}42\,(33) - 0{,}48\,(90) + 0{,}003\,(90)^2 = 5\ \%.$$

По уравнению (2.25) проводится расчет состояния озимых после прекращения вегетации осенью; комплексный коэффициент равен 30,4 (при отсутствии маршрутных обследований).

Подставляем эти значения в соответствующее уравнение:

$$S_{o.} = 69{,}97 - 3{,}50\,(33) + 0{,}07\,(33)^2 - 0{,}85\,(30{,}4) + 0{,}007\,(30{,}4)^2 = 1{,}4\ \%.$$

Фактическая площадь с плохим состоянием озимых осенью составила 3 %.

2.2. Методы прогноза перезимовки озимых культур

Агрометеорологические прогнозы перезимовки озимых зерновых культур вследствие суровых зимних условий на значительной территории России имеют большое значение.

Научной основой этих методов прогнозов являются результаты исследований физиологических процессов гибели растений в период зимнего покоя от различных причин: динамики зимостойкости растений, закономерностей пространственной и временной изменчивости основных элементов агрометеорологических условий, определяющих перезимовку озимых, и инерционности их действия на зимующие растения. Такие методы основаны на установлении количественных зависимостей между состоянием озимых посевов весной, интенсивностью и продолжительностью воздействия на растения неблагоприятных факторов. Прогностические зависимости разработаны с учетом биологических особенностей озимых культур по результатам многолетних наблюдений на метеорологических станциях, по итогам определения фактических площадей с различным состоянием посевов осенью и весной по данным обследования посевов и статистических органов.

Методы прогнозирования состояния озимых культур весной разработаны для наиболее распространенных причин зимнего повреждения посевов. Основными причинами повреждения и гибели озимых культур являются вымерзание, выпревание, влияние притертой ледяной корки, вымокание, выпирание и выдувание посевов.

Вымерзание растений – повреждение или гибель зимующих растений в результате нарушения обмена веществ и образования кристаллов льда в протоплазме клеток при низких температурах почвы на глубине узла кущения озимых или корневой шейки трав, при недостаточно высоком снежном покрове или его отсутствии во время морозов. Озимые культуры гибнут при понижении температуры почвы на глубине узла кущения до критических для данного сорта значений.

Выпревание растений – повреждение или гибель озимых посевов в результате длительного пребывания их под высоким снежным покровом при температуре почвы на глубине узла кущения, близкой к 0 °С, без света при слабом промерзании почвы, когда растения интенсивно расходуют питательные вещества на дыхание, истощаются, а затем подвергаются грибковым заболеваниям, поражаются снежной плесенью, от которых окончательно погибают.

Ледяная корка – слой льда на поверхности почвы (притертая ледяная корка), образующаяся в результате чередующихся оттепелей и морозов. Повреждение растений происходит вследствие нарушения газообмена, имеет значение продолжительность залегания корки и механическое давление льда.

Вымокание растений – повреждение или гибель озимых культур в результате нарушения процессов дыхания и фотосинтеза, недостатка кислорода и углекислого газа при затоплении растений водой в течение длительного времени, преимущественно в период снеготаяния весной.

Выпирание растений – повреждение посевов озимых культур в результате выноса узла кущения или верхней части корневой системы к поверхности почвы и их механического повреждения (разрыва) при неоднократных сменах оттепелей и морозной погоды.

Выдувание посевов (почвы) – снос сильным ветром (более 10 – 12 м/с) верхнего слоя почвы на сельскохозяйственных полях зачастую с посеянными семенами, всходами, а иногда и слабоукоренившимися растениями (Толковый словарь по сельскохозяйственной метеорологии, 2002).

Хотя каждая из названных причин может оказывать влияние на состояние озимых посевов, но наиболее частой причиной повреждения посевов на больших площадях в Черноземной зоне страны является вымерзание, в Нечерноземной зоне – выпревание (Моисейчик В.А., 1975). Методы составления прогнозов перезимовки озимых культур по территории областей, краев и республик разработаны В.А. Моисейчик (Руководство по агрометеорологическим прогнозам, 1984). Они основаны на закономерностях сезонного изменения условий зимовки, количественных связях между состоянием озимых культур весной и значениями основных элементов, характеризующих агрометеорологические условия за период от начала зимовки до даты составления прогноза. Прогностические зависимости установлены между площадью с погибшими посевами (в процентах от посевной) и осредненными по области значениями основных элементов агрометеорологических условий за прошедший к моменту составления прогноза период зимовки.

2.2.1. Метод прогноза площади вымерзания озимых культур по территории субъектов Российской Федерации (по осредненным показателям)

Вымерзание растений – главная причина, вызывающая изреженность и гибель озимых культур на больших площадях в нашей стране. Она наблюдается при сильных морозах в периоды бесснежья или с небольшим снежным покровом, когда минимальная температура почвы на глубине узла кущения (3 см) опускается ниже критической температуры вымерзания конкретного вида (сорта) растений в течение двух суток и более. Полная гибель растений наступает при повреждении морозами узла кущения – основного и единственного органа растений, способного к регенерации весной побегов, зачатков плодовых элементов и корней. Степень повреждения растений морозами определяется не только их интенсивностью, но и продолжительностью действия, скоростью понижения и повышения температуры, а также состоянием и степенью морозостойкости сортов озимых культур.

Интегральным показателем агрометеорологических условий в зимний период служит температура почвы на глубине узла кущения. Между площадью с погибшими от вымерзания озимыми культурами и средней по территории субъекта Российской Федерации минимальной температурой почвы на глубине узла кущения до 20 февраля существует хорошо выраженная корреляционная зависимость (рис. 2.4). Площадь с погибшими посевами (%) быстро увеличивается при понижении средней по области температуры почвы на глубине узла кущения ниже -10 °С.

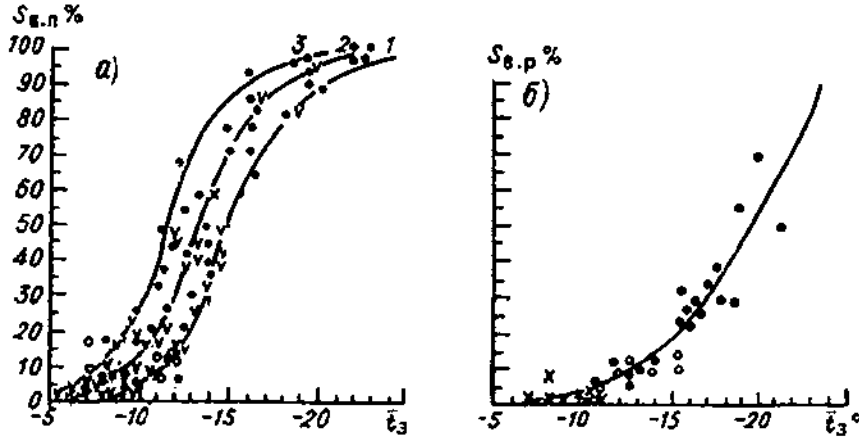


Рис. 2.4. Зависимость площади с погибшими озимыми посевами от средней по области минимальной температуры почвы на глубине узла кущения $\bar{t}_3$ до 20 февраля: *а*) площадь гибели посевов озимой пшеницы – $S_{в.п.}$; *б*) площадь гибели посевов озимой ржи – $S_{в.р.}$; • – 1968/69 г., **×** – 1967/68 г., **o** – 1966/67 г., **v** – 1964/65 г., 1965/66 г. (Моисейчик В.А., 1975).

При составлении прогнозов площадей с погибшими от вымерзания посевами озимых культур средняя по области минимальная температура почвы на глубине узла кущения до 20 февраля должна быть рассчитана, как правило, по 10 гидрометстанциям и более. При меньшем количестве станций ошибка в определении средней по области минимальной температуры почвы превышает ±1 °С, а погрешность прогноза при этом значительно увеличивается.

Размеры ожидаемой на весну площади с погибшими посевами озимой ржи могут быть рассчитаны по уравнению

$$S_{в.р.} = 0{,}313\,(\bar{t}_3 + 5)^2 + 1{,}336\,(\bar{t}_3 + 5) + 2{,}238, \qquad (2.27)$$

где $S_{в.р.}$ – площадь с погибшими посевами озимой ржи (в процентах общей площади ее посева по области), $\bar{t}_3$ – средняя по области минимальная температура почвы на глубине узла кущения до 20 февраля.

Площадь с погибшими посевами озимой ржи можно определить также по графику (см. рис. 2.4 б).

Ожидаемая площадь вымерзания озимой пшеницы по территории области определяется по графикам рис. 2.4 а. При этом зависимость, выраженная кривой 1, относится к областям, где возделывается преимущественно озимая пшеница сорта Мироновская-808 (на 60–80 % и более площади всех посевов озимой пшеницы), и осенью состояние посевов было хорошим, а на остальной части площади высеваются более морозоустойчивые сорта озимой пшеницы. Зависимость, выраженная кривой 2, относится к тем областям, где преобладают посевы озимой пшеницы сорта Мироновская-808 (на 40–60 % площади), но осенью большинство посевов было в удовлетворительном состоянии, или к областям с посевами озимой пшеницы менее морозостойких сортов и хорошим состоянием их осенью.

Кривой 3 выражена зависимость между площадью с погибшими посевами озимой пшеницы и средней минимальной температурой почвы на глубине узла кущения для областей, где возделываются преимущественно слабоморозостойкие сорта пшеницы и где состояние ее осенью из-за засухи и поздних сроков сева было на значительной части площади (10–25 % и более) плохим и зимой улучшения его не произошло. В годы с хорошим состоянием озимых осенью (количество изреженных и невзошедших посевов менее 5 % площади по области) такая площадь гибели их к весне возможна при неблагоприятном действии не только морозов, но и других причин (пыльные бури, притертая к почве ледяная корка и т. п.).

Общая площадь погибших озимых культур по субъекту Российской Федерации при составлении прогноза является суммой площадей с погибшей озимой пшеницей и озимой рожью. Площадь сохранившихся в хорошем и удовлетворительном состоянии определяется как разность между общей площадью посевов и ожидаемой площадью с погибшими посевами.

2.2.2. Метод прогнозирования площади вымерзания озимых культур по результатам отращивания проб растений (уточнение основного прогноза)

Состояние озимых культур весной определяется не только сложившимися агрометеорологическими условиями, но и состоянием посевов на дату составления прогноза. Одним из показателей состояния озимых культур в различные периоды зимы являются результаты отращивания проб растений. Хорошая корреляционная зависимость установлена между изреженностью посевов при отращивании проб растений, взятых 20 февраля и состоянием растений весной на наблюдательных участках.

В.А. Моисейчик были установлены прогностические зависимости между площадью с погибшими посевами весной и результатами отращивания проб растений, взятых с полей 20 февраля.

Для характеристики состояния озимых посевов (ржи, пшеницы) в целом по территории области (края) хорошим показателем оказался процент проб растений (по отношению к общему количеству их по области) с изреженностью более 10 %. Например, общее количество проб, взятых на отращивание 20 февраля по области, было 40, из них у 10 проб изреженность составила более 10 % растений, т.е. 25 % всех проб.

Зависимость между площадью (%) с погибшими посевами озимых культур на территории отдельных областей (краев, республик) и процентом проб с повышенной изреженностью, взятых с полей 20 февраля, дана отдельно для случаев с плохой влагообеспеченностью озимых осенью, когда часть посевов после прекращения вегетации имеет слабое развитие, неравномерный травостой или не дала всходов (2.28), и для случаев хорошего увлажнения почвы осенью и преобладания отличного и хорошего состояния посевов озимых после прекращения вегетации (2.29):

$$S_{в.} = 0{,}82x + 18{,}68. \qquad (2.28)$$

$$S_{в.} = 1{,}12x - 1{,}36. \qquad (2.29)$$

Зависимость размеров площади (S, %) с погибшей при перезимовке озимой пшеницы от средней изреженности ее посевов при отращивании проб, взятых с полей 20 февраля, выражается уравнением

$$S_{в.} = 1{,}74x + 7{,}29, \qquad (2.30)$$

где x – средний по области процент изреженности озимой пшеницы при отращивании проб, взятых с полей в эту дату.

Прогноз площадей вымерзания озимых культур составляется за зиму дважды: первый 22–25 февраля, второй – 15–20 марта. Оба прогноза состоят из краткого текста и таблицы с ожидаемым состоянием озимых посевов.

2.2.3. Техника и пример составления прогноза вымерзания озимых культур

Первый прогноз (22–25 февраля) является основным, второй (15–20 марта) – его уточнением. Уточнение дается в том случае, если расхождение между ожидаемой площадью по основному прогнозу и прогнозу, составленному 15 марта, превышает 5 % площади посевов озимых на территории области (края, республики).

Оба прогноза состоят из краткого текста, таблицы (с ожидаемым весной состоянием озимых посевов на зерно и зеленый корм), карты (на которой указываются районы и основные причины повреждения озимых посевов).

В тексте прогноза, составленного 22–25 февраля, дается краткая характеристика состояния озимых посевов осенью после прекращения вегетации и указываются основные причины и районы со слаборазвитыми, невзошедшими и изреженными посевами, находящимися в плохом состоянии, приводятся площади (тыс. га) с различным состоянием посевов в целом по области (краю, республике). Дается краткая характеристика особенностей агрометеорологических условий перезимовки за прошедший период зимы с учетом особенностей зимостойкости районированных высокопродуктивных, но менее морозостойких сортов озимой пшеницы. Дается краткая характеристика ожидаемого состояния озимых посевов весной с указанием в целом по области (краю, республике) ожидаемых размеров площади с хорошим и удовлетворительным состоянием посевов озимых культур и плохим состоянием, подлежащим пересеву или подсеву весной яровыми культурами.

Пример расчета ожидаемых площадей с различным состоянием весной приводится в табл. 2.10. Ожидаемые площади с плохим состоянием озимой пшеницы определяются по зависимости, приведенной на рис. 2.4 а, а озимой ржи – на рис. 2.4 б. При этом учитывается площадь, на которой посевы осенью находились в плохом состоянии.

Таблица 2.10

Пример расчета ожидаемой площади с различным состоянием озимых культур весной (прогноз составлен 21 февраля, уточнен 15 марта)

Территория (область, край)	Общая площадь озимых на зерно, зеленый корм и выпас, (тыс. га) на 25 декабря	Площадь посевов								
		озимой ржи		озимого ячменя		озимой пшеницы				
						Мироновская-808	Безостая-1	других сортов	всего	
		тыс. га	%	тыс. га	%	тыс. га			тыс. га	%
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Липецкая	475,0	76,9	16,0	0	0	318,4	0	79,7	398,1	84,0

Территория (область, край)	Площадь озимых посевов осенью на 20 ноября											
	хороших и отличных				удовлетворительных				плохих (в том числе невзошедших)			
	Рожь		Пшеница		Рожь		Пшеница		Рожь		Пшеница	
	тыс. га	%	тыс. га	%	тыс. га	%	тыс. га	%	тыс. га	%	тыс. га	%
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Липецкая	69,2	90	370,2	93	7,7	10	27,9	7	0	0	0	0

Продолжение табл. 2.10

Территория (область, край)	Среднее значение по области (району)			Более 10 % растений 23 февраля у озимых		
	минимальной температуры почвы на глубине узла кущения до 20 февраля, °С	изреженности посевов до 23 февраля				
		ржи	пшеницы	ржи	пшеницы	Общее (%)
	23	24	25	26	27	28
Липецкая	-12,0	7	8	12,5	20	18,8

Территория (область, край)	Ожидаемое состояние озимых посевов весной							
	озимой ржи				озимой пшеницы			
	хороших и удовлетворительных		плохих		хороших и удовлетворительных		плохих	
	тыс. га	%	тыс. га	%	тыс. га	%	тыс. га	%
	29	30	31	32	33	34	35	36
Липецкая: основной прогноз (21/II)	69,2	90	7,7	10	338,3	85	59,8	15
уточнение (15/III)	72,0	94	4,9	6	313,3	78,8	84,8	21,2

Территория (область, край)	Ожидаемое состояние всех озимых посевов весной						Площадь плохих посевов (%) за предшествующий пятилетний период
	хороших и удовлетворительных		плохих				
			наиболее вероятная площадь $S_{в.}$		возможные пределы		
	тыс. га	%	тыс. га	%	тыс. га	%	максимум – минимум
	37	38	39	40	41	42	43
Липецкая: основной прогноз (21/II)	407,5	85,8	67,5	14,2	25 – 110		86,0 – 0,3
уточнение (15/III)	385,7	81,2	89,3	18,8	55 – 120		86,0 – 0,3

Если районы с плохими условиями перезимовки и роста посевов осенью не совпадают, состояние посевов зимой не улучшились, то ожидаемая площадь плохих посевов весной берется как сумма площадей с плохим состоянием осенью ($S_{о.}$) и ожидаемой площади с гибелью озимых зимой (по зависимости на рис. 2.4). В годы с очень теплой зимой, когда посевы на юге вегетируют, из полученной таким образом площади вычитается площадь, на которой состояние посевов улучшилось. В такие годы

необходимо перед составлением прогноза проводить дополнительное обследование посевов зимой.

В том случае, если районы с неблагоприятными условиями для озимых культур осенью и зимой совпадают, ожидаемая площадь с плохим состоянием посевов весной берется как сумма площади с плохим состоянием озимых осенью (после окончательного прекращения вегетации) и площади, на которой озимые погибли зимой. Последняя рассчитывается только с учетом площади посевов, находившихся осенью в хорошем и удовлетворительном состоянии.

В конце текста прогноза целесообразно привести сравнение ожидаемого состояния посевов с фактическим состоянием его весной прошлого года. Ожидаемую площадь с плохим состоянием сравнить со средней площадью погибших посевов по данным статистических управлений за пять последних лет.

Уточнение прогноза перезимовки посевов дается в том же виде, как и прогноз в феврале. Разница заключается лишь в том, что текст его короче и основное внимание в нем уделяется сравнению данных, полученных в прогнозах на 20 февраля и 15 марта, и объяснению причин расхождения.

2.2.4. Методы прогноза площади выпревания озимых культур по субъектам Российской Федерации

Основными показателями агрометеорологических условий, при которых происходит выпревание озимых культур, как показали исследования В.А. Моисейчик (1984), являются:

– высота снежного покрова;
– глубина промерзания почвы;
– продолжительность периода залегания на полях снежного покрова;
– минимальная температура почвы на глубине узла кущения.

Наиболее подвержены выпреванию переросшие посевы. Выпревание озимых культур наблюдается при длительном (более 80 дней) залегании на полях мощного (более 30 см высотой) снежного покрова при слабом (менее 50 см) промерзании почвы. Основным показателем агрометеорологических условий перезимовки при выпревании, как и при вымерзании, является температура почвы на глубине узла кущения. Прогностическая зависимость площади (S) с погибшими при выпревании посевами и средней по области минимальной температурой почвы на глубине узла кущения до 20 февраля $\bar{t}_3$ имеет параболический характер (Моисейчик В.А., 1984) и выражается уравнением, действительным при $\bar{t}_3 > -10$ °С:

$$S = 13{,}12\,\bar{t}_3 + 0{,}84\,\bar{t}_3^{\,2} + 54{,}86. \qquad (2.31)$$

Общая прогностическая зависимость площади с погибшими при выпревании озимыми посевами (S) от средней по области минимальной температуры почвы на глубине узла кущения до 20 февраля $\bar{t}_3$ и

продолжительностью периода $\overline{n}$ (в декадах) с высотой снежного покрова ≥30 см имеет нелинейный характер:

$$S = 6,32\overline{t}_3 + 0,29\overline{t}_3^{\,2} + 0,11\overline{n} + 0,07\overline{n}^{\,2} + 30,93. \qquad (2.32)$$

Прогноз площади с погибшими посевами озимых ржи и пшеницы при выпревании рассчитывается по двум указанным прогностическим зависимостям: по уравнениям (2.31) и (2.32). Первая зависимость дает лучшие результаты в годы с очень высоким снежным покровом (максимальная высота за зиму более 50 см) и длительным его залеганием (более 10 декад), когда, очевидно, происходит не только выпревание растений зимой, но и вымокание их весной. Вторая зависимость дает лучшие результаты во все остальные годы.

Согласно В.А. Моисейчик (1984), оптимальные условия для перезимовки озимых культур создаются при минимальной температуре почвы на глубине узла кущения в пределах -7...-8 °С. Площади с погибшими посевами как от выпревания, так и от вымерзания при такой минимальной температуре почвы на глубине узла кущения наименьшие. При повышении минимальной температуры почвы на глубине узла кущения выше -7 °С площадь с погибшими посевами увеличивается в результате выпревания растений (если на полях при этом длительный период залегает мощный снежный покров). При понижении температуры почвы ниже -8 °С площадь с погибшими растениями также увеличивается, но уже в результате вымерзания растений.

При составлении прогноза в тех случаях, когда высота снежного покрова менее 15 см, следует пользоваться прогностическими связями, разработанными для вымерзания посевов. Если на полях средняя по снегосъемке высота снежного покрова 30 см и более хотя бы на части территории области, глубина промерзания почвы небольшая (≥50 см) и минимальная температура почвы на глубине узла кущения выше -10 °С, то при составлении прогноза площади с погибшими посевами следует пользоваться связями, полученными для прогноза выпревания растений.

2.2.5. Уточнение прогноза выпревания по результатам отращивания проб

Уточнение прогноза выпревания озимых производится после получения результатов отращивания проб растений, взятых с полей 20 февраля. Прогностическая зависимость площади с погибшими посевами озимых культур на территории областей (республик) Нечерноземной зоны от результатов отращивания проб растений, взятых с полей 20 февраля, выражается уравнениями:

- для центральных областей Нечерноземной зоны

$$S = 0,51x + 3,04\ ; \qquad (2.33)$$

• для северо-восточных областей Европейской части России и Верхней Волги

$$S = 0{,}271x + 5{,}6\ , \qquad (2.34)$$

где x – количество проб (%) с изреженностью озимых (ржи и пшеницы) более 10 % растений.

2.2.6. Метод прогноза гибели озимых культур от повреждения ледяной коркой

Степень повреждения озимых притертой ледяной коркой зависит от ее свойств: толщины, характера (сплошная или местами) и продолжительности залегания (Личикаки, 1974). Наиболее тесная связь изреженности озимой пшеницы и ржи U (%)установлена со средней толщиной притертой ледяной корки $\overline{m}$ (см) при непрерывном ее залегании в течение 40 дней и больше для пшеницы (2.35) и ржи (2.36):

$$U = 1{,}8\overline{m}^2 + 2{,}8\overline{m} + 5{,}4\ ; \qquad (2.35)$$

$$U = 2{,}03\overline{m}^2 + 0{,}81\overline{m} + 7{,}99\ . \qquad (2.36)$$

Уравнения (2.35) и (2.36) применимы для интервала изменения средней толщины ледяной корки 1,0 – 6,5 см. Для удобства их использования в практической работе составлена табл. 2.11.

Таблица 2.11

Зависимость изреженности озимых посевов *U* от средней толщины притертой ледяной корки $\overline{m}$ (по Личикаки, 1974)

$\overline{m}$, см	Изреженность, %	
	пшеницы	ржи
1,1 – 1,5	11 – 12	11 – 14
1,6 – 2.0	13 – 18	14 – 18
2,1 – 2,5	19 – 24	20 – 23
2,6 – 3,0	25 – 30	24 – 29
3,1 – 3,5	31 – 37	30 – 36
3,6 – 4,0	38 – 43	37 – 44
4,1 – 4,5	46 – 54	45 – 54
4,6 – 5,0	55 – 64	55 – 63
5,1 – 5,5	65 – 75	64 – 74
5,6 – 6,0	76 – 81	75 – 86
> 6,0	> 81	> 86

Для определения степени повреждения озимых посевов от притертой ледяной корки необходимо располагать данными ежедекадных наблюдений. При этом учитываются толщина ледяной корки и продолжительность непрерывного ее залегания в течение четырех декад и более. Если длительность залегания притертой ледяной корки менее четырех декад, то гибель озимых, как правило, не наблюдается.

Расчет гибели озимых посевов от ледяной корки сводится к следующему: сначала вычисляется средняя толщина притертой ледяной корки (см) за имеющийся период, затем по табл. 2.11 определяется соответствующая изреженность озимой культуры (%).

Пример. Составим прогноз изреженности озимой пшеницы по данным ст. Красноград Харьковской области (табл. 2.12). В данном примере основной причиной гибели была притертая ледяная корка; она образовалась в третьей декаде января. С этого момента и начинают вычислять ее среднюю толщину. На метеорологических станциях толщина ледяной корки отмечается двумя цифрами: 11 – 20 мм, 21 – 30 мм и т. д. В рабочей таблице указанные данные следует записывать в сантиметрах. Для определения средней толщины ледяной корки за каждую декаду (см. табл. 2.12, графу 3) суммируются границы интервала, и сумма делится на два. Затем последовательно суммируются ежедекадные средние значения толщины ледяной корки с третьей декады декабря до третьей декады января, и эта сумма записывается в графу 4. К ней прибавляется средняя толщина ледяной корки за первую декаду февраля (16,5 + 4,8 = 21,3). Средние значения толщины ледяной корки за четыре декады вычисляются путем деления полученной суммы на число декад и записываются в графу 5. Таким же путем вычисляется средняя толщина ледяной корки за последующий период. Если притертая ледяная корка была, скажем, только в первой и третьей декадах декабря, а затем сошла, то ее не учитывают.

Таблица 2.12

Пример прогноза изреженности озимой пшеницы от ледяной корки

Декада	Высота снежного покрова озимых посевов, см	Толщина ледяной корки на последний день декады, см	Сумма декадных значений толщины ледяной корки нарастающим итогом	Средняя толщина корки за четыре декады, см	Ожидаемая изреженность растений, %
Ноябрь					
1	0	0	0	0	0
2	4	0	0	0	0
3	7	0	0	0	0
Декабрь					
1	4	0	0	0	0
2	4	0	0	0	0
3	11	3,1	–	–	0
Январь					
1	24	3,5	–	–	0
2	24	4,8	–	–	0
3	20	5,1	16,5	4,1	45 – 54
Февраль					
1	0	4,8	21,3	4,3	45 – 54
2	0	5,4	26,7	4,4	45 – 54

Для определения возможной изреженности пшеницы от ледяной корки на вторую декаду февраля по табл. 2.12 находится значение, близкое к средней толщине корки (4,4 см), которое соответствует изреженности 45–54 %. Таким же путем находится изреженность посевов и за последующий период для уточнения прогноза в марте.

При проведении расчетов следует учитывать распределение ледяной корки. Если поля озимой пшеницы покрыты притертой ледяной коркой на 80–100 % и залегает она продолжительное время, то рассчитанная изреженность будет близка к фактической для всех полей. Если ледяная корка распределена на 50 % поля, а рассчитанная изреженность равна 30 %, то следует считать, что на 50 % площади изреженность к весне ожидается около 30 %. В этом случае слаборазвитые посевы озимых необходимо пересевать, хорошо развитые – подсевать.

2.2.7. Комплексный метод долгосрочного прогноза перезимовки озимых культур на больших площадях (область, республика) (Моисейчик В.А., 1984)

Гибель озимых культур в период зимовки часто происходит в результате комплексного воздействия неблагоприятных агрометеорологических факторов. При этом влияние каждого из них на растения оказывается иным, чем в тех случаях, когда они действуют отдельно. В большинстве случаев для растений воздействие комплекса неблагоприятных факторов бывает наиболее опасным.

В такие годы прогноз дается по зависимостям, учитывающим вредное воздействие на озимые культуры в период зимовки не одного, а комплекса неблагоприятных агрометеорологических факторов. Комплексные прогностические зависимости в этом случае учитывают влияние на зимующие растения основных факторов условий перезимовки (минимальной температуры почвы на глубине узла кущения, притертой к почве ледяной корки, продолжительности залегания на полях мощного снежного покрова, осенней засухи или недостатка тепла для нормального развития растений осенью), а также состояние озимых после прекращения вегетации осенью.

Минимальная температура почвы на глубине узла кущения сама является комплексным показателем, поскольку ее значение определяется интенсивностью и продолжительностью действия морозов, высотой снежного покрова, сроком его образования и характером распределения на полях, а также глубиной промерзания почвы. Глубина промерзания почвы характеризует степень охлаждения почвы за весь предшествующий период.

Учитывая тесную связь между температурой почвы и всеми перечисленными факторами, а также решающее значение температуры почвы

для зимующих растений, в качестве предиктора в прогностические уравнения из всего комплекса взята только минимальная температура на глубине узла кущения озимых культур.

Средняя толщина ледяной корки тесно связана с площадью ее распространения на полях (рис. 2.5), поэтому она одна берется в качестве предиктора, характеризующего влияние на растения притертой к почве ледяной корки.

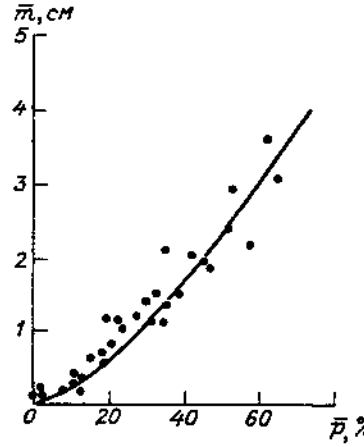


Рис. 2.5. Связь между средней по области толщиной ледяной корки $\overline{m}$ (см), притертой к почве, и площадью ее распространения на полях с озимыми культурами $\overline{p}$ (%)

Состояние озимых посевов после прекращения вегетации оценивается по двум показателям: по площади с плохим состоянием посевов по результатам маршрутного обследования S_o и по средней кустистости посевов по области $\overline{K}$.

Площадь с плохим состоянием посевов в степной зоне является в основном показателем влагообеспеченности озимых культур осенью. Плохое их состояние, как правило, вызвано недостатком влаги в почве для нормального развития растений, посеянных по непаровым предшественникам.

Кустистость озимых после прекращения вегетации является косвенным показателем степени подготовки растений к зимовке. Хорошо развитые посевы имеют более высокую зимостойкость, чем слаборазвитые и переросшие. Среднее по области значение кустистости растений характеризует также в некоторой степени обеспеченность озимых осенью теплом и влагой, а косвенно характеризует сроки сева и количество посевов по парам, так как эти посевы всегда бывают хорошо развитые или даже переросшие и увеличивают значение кустистости в среднем по области.

Метод прогноза перезимовки слабозимостойких сортов озимых в южных районах страны. Для субъектов Северо-Кавказского региона, где в основном возделываются озимая пшеница слабозимостойких сортов и озимый ячмень, прогностическая зависимость имеет вид

$$S_{в.} = 0{,}989 S_{о.} - 0{,}691\bar{k} - 0{,}189\bar{k}^2 + 0{,}270\bar{t}_3 + 0{,}196\bar{t}_3^2 + 4{,}865\bar{m} - 0{,}34, \quad (2.37)$$

где $S_{в.}$ – ожидаемая весной площадь (%) озимых с плохим состоянием, требующим пересева их яровыми культурами; $S_{о.}$ – площадь с плохим состоянием озимых посевов осенью выраженная в процентах общей площади озимых посевов; $\bar{k}$ – средняя по области кустистость озимых культур после прекращения вегетации осенью; $\bar{t}_3$ – средняя по области минимальная температура почвы на глубине узла кущения озимых до 20 февраля; $\bar{m}$ – средняя толщина ледяной корки (см) по области за период с января по 20 февраля (пять декад). Уравнение действительно при значении $\bar{t}_3$ ниже -5 °С.

2.2.8. Усовершенствованный метод долгосрочного прогноза перезимовки озимых культур весной по субъектам РФ и в целом по России

В ФГБУ «Гидрометцентр России» (Моисейчик В.А., Богомолова Н.А., 2007) обобщены результаты исследований по разработке методов долгосрочных агрометеорологических прогнозов перезимовки озимых зерновых культур. При этом проведена типизация зим, позволяющая учесть инерционное действие агрометеорологических условий на зимующие растения, и получены новые уравнения для прогнозирования состояния озимых культур к весне по субъектам РФ в условиях глобального изменения климата.

Условия перезимовки озимых зерновых культур имеют большую временную и пространственную изменчивость. На состояние посевов зимой влияют как отдельные факторы, так и их комплексы.

Одно и то же значение температуры почвы на глубине залегания узла кущения растений (t_3) может быть в одних районах благоприятным, а в других – вредным. Например, на севере и северо-востоке страны при наличии мощного снежного покрова длительное повышение ее до -0 °С и более увеличивает изреженность посевов и даже вызывает гибель растений в результате выпревания, а в районах с черноземными почвами, и особенно на Северном Кавказе, где снежный покров небольшой, улучшает условия зимовки, способствует увеличению кущения у слаборазвитых озимых и появлению всходов у невзошедших посевов.

Раннее установление снежного покрова (до высоты 20 см и более) в Центрально-Черноземных областях России, Поволжье и в степных районах Сибири способствует сохранению растений от вымерзания, а в районах Нечерноземной зоны России приводит к выпреванию растений.

Поэтому комплексные зависимости состояния озимых культур от зимних агрометеорологических условий установлены с учетом не только пространственной, но и временной изменчивости сложившихся условий – типа зимы.

При разработке количественных показателей типов зим учитывались особенности агрометеорологических условий перезимовки и причины гибели озимых зерновых культур в различных зонах страны.

В основу методики количественных показателей типизации зим авторами положены уже апробированные ранее, установленные путем регрессионного анализа многолетних материалов зависимости изреженности и площади гибели посевов (по областям, республикам, краям) от основных факторов агрометеорологических условий перезимовки, имеющих наиболее высокие значения коэффициентов корреляции (r) и корреляционных отношений (η). К ним относятся осредненные по территории областей (краев, республик) значения минимальной температуры в зоне залегания узла кущения (η = 0,94, r = 0,86), толщины ледяной корки(η = 0,65, r = 0,75) и состояние посевов осенью – площади с изреженными, слаборазвитыми и невзошедшими посевами (η = 0,85, r = 0,80).

Площадь с плохим состоянием посевов осенью определяется путем маршрутного обследования, а также расчета ее по агрометеорологическим условиям и статистическим данным о ходе сева Росстата. Неблагоприятными условиями в осенний период для роста озимых являются условия, при которых площадь с плохим состоянием посевов на территории области, края, республики к моменту прекращения их вегетации составляют более 10 % общей посевной площади. В Черноземной зоне и на юге Нечерноземной это, как правило, вызвано осенней засухой, а в большинстве районов Нечерноземной зоны – избытком влаги, поздними сроками посевов и недостатком тепла для нормального развития озимых культур.

При этом озимые посевы на площади более 10 % могут быть изреженными, слаборазвитыми (в фазах всходы, третий лист, начало кущения) или невзошедшими. Слаборазвитые и изреженные посевы в момент прекращения вегетации осенью имеют пониженную зимостойкость, они не могут дать высокого урожая даже при оптимальных условиях зимовки и роста растений в весенне-летний период. В годы же с неблагоприятными зимними условиями такие озимые, как правило, полностью погибают.

Известно, что оптимальная температура почвы на глубине узла кущения для зимовки посевов близка к -7 °С. Минимальная температура почвы на глубине залегания узла кущения растений, осредненная по области (t_3, °С), равная -10 °С, принята за предел, характеризующий благоприятные условия зимовки растений. С понижением минимальной температуры ниже этого предела увеличивается площадь гибели посевов от вымерзания.

В Нечерноземной зоне, где на полях с озимыми рано устанавливается снежный покров высотой более 30 см, при минимальной температуре

почвы на глубине узла кущения (t_3) выше -7 °С возможно повреждение растений в результате выпревания. Поэтому за предел благоприятных условий зимовки принята температура, равная -7 °С (В.А. Моисейчик, 1975). При типизации зим, по влиянию на озимые посевы толщины ледяной корки и температуры почвы на глубине 3 см (t_3) выделены подтипы с температурой на глубине узла кущения выше -7 °С и в пределах -7 ... -10 °С.

При наличии на полях притертой ледяной корки степень изреженности растений определяется ее толщиной, продолжительностью залегания и площадью распространения на полях.

Таким образом, типизация зим проведена по значению трех основных, наиболее информативных показателей:

– площади с плохим состоянием озимых культур осенью ($S_{o.}$, % посевной);

– средней по области минимальной температуры почвы на глубине узла кущения до 20 февраля (t_3, °С);

– средней по области за период с 1 января по 20 февраля толщины притертой к почве ледяной корки (m, см) на полях.

По этим основным элементам агрометеорологических условий, определяющих состояние посевов после перезимовки, был собран многолетний материал наблюдений на массовой сети метеорологических станций, маршрутных и авиационных и наземных осенних и весенних обследований озимых посевов и данных областных (краевых, республиканских) статистических управлений за 40 лет, а по Центрально-Черноземному экономическому району – за 50 лет.

В табл. 2.13 приведены все варианты типизации зим с количественными показателями состояния посевов осенью и условий их зимовки, дана оценка этих условий и указаны основные причины повреждения посевов. Все зимы с учетом показателей были разделены на шесть основных типов. Для первых трех типов лет характерны неблагоприятные условия для осеннего развития растений: засуха (w_{0-20} ≤ 20 мм) или недостаток тепла, вследствие позднего срока сева – на юге; избыток влаги и раннее наступление холодов (среднесуточной температуре воздуха ≤ 5 °С) – на севере. В типе 2 зим неблагоприятные агрометеорологические условия складываются не только осенью, но и зимой из-за сильных морозов. В типе 3 зим бывают неблагоприятные агрометеорологические условия осенью, зимние условия благоприятные, но иногда частично повреждаются посевы притертой к почве ледяной коркой. К следующим трем типам (4–6) относятся годы с условиями, благоприятными для роста озимых культур осенью (площадь гибели (S) меньше 10 %), но с преобладанием плохих условий для зимовки посевов. В табл. 2.13 можно выделить типы с одной из преобладающих причин гибели озимых культур. К ним относятся: тип 1 – с неблагоприятными условиями для осеннего роста озимых культур; подтип 4.1 – с вымерзанием посевов; подтип 5.1 – с повреждением растений притертой к

почве ледяной коркой по Черноземной зоне и подтип 6.1 – с выпреванием озимых посевов в Нечерноземной зоне. Годы с повреждением и гибелью озимых культур в результате вредного воздействия на них комплекса неблагоприятных факторов отнесены: к типу 2 (с вымерзанием растений зимой и плохими агрометеорологическими условиями для роста растений осенью), подтипу 4.2 (с вымерзанием растений и повреждением их ледяной коркой), подтипам 5.1 по Нечерноземной зоне (повреждение притертой к почве ледяной коркой и выпреванием растений) и 5.2 (повреждение ледяной коркой и вымокание растений). Годы с благоприятными условиями для перезимовки озимых культур (S меньше 10 %, t_3 выше -10 °С, m меньше 1 см) выделены в тип 6 для всей территории России, кроме Нечерноземной зоны, где в подтипе 6.1 объединены годы с выпреванием, а в подтипе 6.2 – вымоканием растений.

Таблица 2.13

Типы агрометеорологических условий перезимовки озимых культур и их количественные показатели ($t_з$, °С; m, см) с учетом состояния посевов осенью – S, %

№ типов и подтипов	Оценка условий зимовки посевов	Основные причины повреждения посевов	Количественные показатели типов зим		
			S, %	t_3, °С	m, см
1	Благоприятные	Недостаток влаги в почве или тепла осенью	> 10	Выше - 10	0
2	Неблагоприятные	Осеннее повреждение и вымерзание зимой	> 10	Ниже - 10	≥ 0
3	Благоприятные	Повреждения осенью и в отдельные годы ледяной коркой	> 10	Выше - 10	> 0
4.1	Неблагоприятные	Вымерзание растений	≤ 10	Ниже - 10	0
4.2	Неблагоприятные	Вымерзание и повреждение ледяной коркой	≤ 10	Ниже - 10	> 1
4.3	Неблагоприятные	Вымерзание, частичное повреждение ледяной коркой	≤ 10	Ниже - 10	≤ 1
5.1	Неблагоприятные	Повреждение ледяной коркой, а в Нечерноземной зоне и выпревание	≤ 10	Выше - 7	> 1
5.2	Неблагоприятные	Повреждение ледяной коркой, а в Нечерноземной зоне и вымокание	≤ 10	- 7 ≤ ... 10	> 1
6.1	Благоприятные, кроме Нечерноземной зоны	В Нечерноземной зоне неблагоприятные – выпревание растений	≤ 10	Выше - 7	≤ 1
6.2	Благоприятные	На западе Нечерноземной зоны – вымокание	≤ 10	- 7 ≤ ... 10	≤ 1

В табл. 2.14 для примера приведена повторяемость (процент лет) каждого типа и подтипа агрометеорологических условий перезимовки озимых культур по ряду областей (краев) страны.

Типизация зим позволила провести более точную количественную оценку агрометеорологических условий перезимовки озимых зерновых культур и установить основные причины гибели посевов, а также их повторяемость по территории всех областей, республик и краев России, определить наилучшие прогностические уравнения (табл. 2.15), соответствующие каждому типу зим, и тем самым учесть инерционность факторов, определяющих условия перезимовки посевов, а также временную и пространственную изменчивость агрометеорологических условий перезимовки озимых культур путем определения типа зимы и выбора соответствующих ему прогностических уравнений регрессии, а также инерционность действия сложившихся условий к моменту составления прогноза на озимые посевы во второй половине зимы. В табл. 2.16 даны номера рекомендуемых уравнений согласно данным табл. 2.15. В том случае, если по области агрометеорологические условия данного типа зимы не наблюдались, в таблице стоит прочерк.

Из данных табл. 2.16 видно, что для каждого типа зимы оказалось несколько уравнений, по которым прогноз достаточно хорошо оправдывается. Особенно их много дано по типам 5 и 6 зим, что объясняется наибольшей повторяемостью этих типов и большинством уравнений, по которым прогнозы хорошо оправдывались.

В табл. 2.16 на первом месте дается уравнение с наименьшей ошибкой и наибольшей повторяемостью за годы с данным типом зимы.

Таким образом, для каждого типа и подтипа зимы по всем областям (краям, республикам) были установлены рекомендуемые прогностические уравнения, использование которых при расчете прогнозируемых к весне площадей гибели позволяет давать долгосрочные прогнозы перезимовки озимых зерновых культур с наибольшей надежностью и наименьшими ошибками.

Пример.

Исходные данные, необходимые для выполнения расчетов ожидаемой к весне площади гибели озимых зерновых культур, приведены в табл. 2.18.

В зависимости от условий, сложившихся в первой половине зимы, определяется тип зимы, выбирается уравнение по номеру из табл. 2.13 и по номеру выбранного типа зимы, выбирается уравнение из табл. 2.15. В выбранное уравнение вносятся исходные данные из табл.2.18, рассчитывается искомая величина, т. е. площадь с плохим состоянием озимых посевов к весне (в процентах посевной площади).

Пример расчета ожидаемой площади ($S_{в.}$, %) с плохим состоянием озимых культур весной по уравнениям (табл. 2.15) с учетом типов зим по Воронежской, Ростовской областям и Ставропольскому краю приводится в таблице 2.17.

Таблица 2.14

Повторяемость различных типов зим по условиям перезимовки озимых культур

Субъект	Количество лет	Типы зим и их повторяемость (%)												
		1	2	3	4	4.1	4.2	4.3	5	5.1	5.2	6	6.1	6.2
Московская обл.	39	0	0	3,4	10,3	6,9	0	3,4	24,1	6,9	17,2	62,1	44,8	17,2
Орловская обл.	48	2,6	2,6	0	47,4	15,8	23,7	7,9	15,8	7,9	7,9	31,6	15,8	15,8
Рязанская обл.	39	3,4	3,4	0	34,5	10,3	0	24,1	10,3	0	10,3	48,3	27,6	20,7
Белгородская обл.	48	5,3	10,5	5,3	36,8	13,2	15,8	7,9	2,6	2,6	0	39,5	10,5	28,9
Воронежская обл.	48	0	10,5	7,9	36,8	10,5	10,5	15,8	7,9	7,9	0	36,8	23,7	13,2
Курская обл.	48	2,6	5,3	7,9	26,3	10,5	13,2	2,6	23,7	5,3	18,4	34,2	18,4	15,8
Липецкая обл.	48	7,9	5,3	0	42,1	15,8	15,8	10,5	10,5	2,6	7,9	34,2	7,9	26,3
Тамбовская обл.	48	7,9	2,6	10,5	34,2	15,8	13,2	5,3	15,8	7,9	7,9	28,9	15,8	13,2
Астраханская обл.	38	7,1	57,1	10,7	17,9	14,3	0	3,6	0	0	0	7,1	0	7,1
Волгоградская обл.	38	3,6	25,0	10,7	28,6	7,1	3,6	17,9	14,3	3,6	10,7	17,9	3,6	14,3
Краснодарский край	38	35,7	0	0	10,7	7,1	0	3,6	0	0	0	53,6	39,3	14,3
Ставропольский край	38	25,0	0	0	10,7	7,1	0	3,6	0	0	0	64,3	46,4	17,9
Ростовская обл.	38	14,3	10,7	7,1	42,9	28,6	3,6	10,7	7,1	0	7,1	17,9	3,6	14,3
Оренбургская обл.	38	3,6	10,7	0	35,7	17,9	0	17,9	0	0	0	50,0	7,1	42,9
Алтайский край	38	0	7,1	0	75,0	50,0	3,6	21,4	0	0	0	17,9	0	17,9

Таблица 2.15

Прогностические регрессионные уравнения (по Моисейчик В.А., 2007) для расчета ожидаемых площадей погибших к весне посевов озимых зерновых культур (Sв, % посевной) по областям, краям и республикам

№ п/п	Уравнения связи	Множественный коэффициент корреляции	Средняя квадратическая ошибка
1	$S_{в.} = 6{,}351\,t_з + 0{,}290\,t_з^2 + 0{,}110n + 0{,}079\,n^2 + 30{,}93$	0,75	6,2
2	$S_{в.} = 1{,}766\,S_{о.} + 6{,}471\,t_з + 0{,}339\,t_з^2 + 1{,}068\,m + 31{,}601$	0,80	6,4
3	$S_{в.} = 0{,}782\,S_{о.} + 0{,}288\,t_з + 0{,}306\,t_з^2 + 1{,}139\,m + 0{,}251\,S_{п.} - 9{,}345$	0,90	7,0
4	$S_{в.} = 1{,}885\,S_{о.} + 4{,}687\,t_з + 0{,}373\,t_з^2 + 3{,}264\,m - 0{,}011\,k_{о.} + 0{,}045\,k_{о.}^2 + 0{,}094\,S_{п.} - 0{,}001\,S_{п.}^2 + 13{,}662$	0,85	6,4
5	$S_{в.} = 1{,}765\,S_{о.} + 6{,}699\,t_з + 0{,}346\,t_з^2 + 33{,}544$	0,75	6,2
6	$S_{в.} = 1{,}663\,S_{о.} + 5{,}310\,t_з + 0{,}275\,t_з^2 - 0{,}026\,m - 4{,}697\,k_{о.} + 37{,}612$	0,82	2,2
7	$S_{в.} = 0{,}979\,S_{о.} + 3{,}086\,t_з + 0{,}327\,t_з^2 + 1{,}553\,m + 0{,}206\,S_{п.} - 8{,}515$	0,88	2,5
8	$S_{в.} = 1{,}022\,S_{о.} + 5{,}017\,t_з + 0{,}436\,t_з^2 + 0{,}830\,m + 0{,}173\,S_{п.} + 7{,}958$	0,96	5,7
9	$S_{в.} = 0{,}935\,S_{о.} + 2{,}650\,t_з + 0{,}288\,t_з^2 + 1{,}210\,k_{о.} - 0{,}245\,k_{о.}^2 + 4{,}078\,m - 0{,}071\,S_{п.} - 0{,}001\,S_{п.}^2 + 6{,}599$	0,82	5,2
10	$S_{в.} = 0{,}971\,S_{о.} - 0{,}217\,t_з + 0{,}001\,t_з^2 + 1{,}575\,k_{о.} - 0{,}282\,k_{о.}^2 + 0{,}139$	0,97	6,0
11	$S_{в.} = 0{,}977\,S_{о.} - 0{,}252\,t_з + 0{,}009\,t_з^2 + 11{,}642$	0,94	4,0
12	$S_{в.} = 0{,}970\,S_{о.} + 0{,}772\,t_з + 0{,}02\,t_з^2 - 6{,}116\,k_{о.} + 1{,}195\,k_{о.}^2 + 38{,}609$	0,88	5,0
13	$S_{в.} = 0{,}767\,S_{о.} + 0{,}014\,t_з + 0{,}109\,t_з^2 + 0{,}078\,m + 26{,}857$	0,87	5,0
14	$S_{в.} = 0{,}122\,S_{о.} - 0{,}001\,S_{о.}^2 + 4{,}377\,t_з + 0{,}228\,t_з^2 + 24{,}857$	0,85	4,7
15	$S_{в.} = 0{,}555\,S_{о.} + 6{,}513\,t_з + 0{,}290\,t_з^2 + 35{,}916$	0,76	3,1
16	$S_{в.} = 4{,}033\,t_з + 0{,}215\,t_з^2 - 4{,}211\,k_{о.} + 0{,}521\,k_{о.}^2 + 31{,}451$	0,75	4,3
17	$S_{в.} = 0{,}516\,S_{о.} - 0{,}005\,S_{о.}^2 + 0{,}157\,t_{з.} + 0{,}090\,t_{з.}^2 - 3{,}381$	0,74	6,5
18	$S_{в.} = 1{,}437\,S_{о.} + 6{,}670\,t_з + 0{,}489\,t_з^2 + 1{,}552\,m - 0{,}114\,S_{п.} + 29{,}798$	0,92	7,8
19	$S_{в.} = 1{,}004\,S_{о.} + 5{,}661\,t_з + 0{,}425\,t_з^2 + 0{,}057\,m + 0{,}077\,S_{п.} + 29{,}286$	0,94	5,0
20	$S_{в.} = 1{,}031\,S_{о.} + 6{,}105\,t_з + 1{,}007\,t_з^2 + 0{,}513\,m - 0{,}058\,S_{п.} + 32{,}840$	0,93	5,1
21	$S_{в.} = 1{,}047\,S_{о.} + 1{,}317\,t_з + 0{,}095\,t_з^2 + 0{,}279\,m - 0{,}071\,S_{п.} + 5{,}070$	0,92	6,0
22	$S_{в.} = 0{,}954\,S_{о.} + 0{,}288\,t_з - 0{,}009\,t_з^2 - 0{,}517\,k_{о.} + 0{,}297\,k_{о.}^2 + 5{,}230$	0,73	5,4
23	$S_{в.} = 0{,}897\,S_{о.} + 3{,}524\,t_з + 0{,}218\,t_з^2 + 0{,}973\,m - 1{,}426\,k_{о.} - 0{,}359\,k_{о.}^2 + 32{,}821$	0,70	2,5
24	$S_{в.} = 9{,}708\,t_з + 0{,}535\,t_з^2 + 23{,}709\,k_{о.} + 4{,}368\,k_{о.}^2 + 78{,}853$	0,80	5,7

Примечание. Здесь осредненные по области значения до 20 февраля: $t_з$ – минимальная температура почвы на глубине узла кущения, °С; m – толщина ледяной корки, см; $k_{о.}$ – коэффициент кущения озимых; площади: $S_{о.}$ – с плохим состоянием озимых осенью, $S_{п.}$ – с озимой пшеницей, % посевной площади, $S_{в.р.}$ – погибших посевов озимой ржи к весне. Размерность коэффициентов: $t_{з.}$ – °С / % ; m – см / %.

Таблица 2.16

Номера уравнений, приведенных в табл. 2.15, соответствующие различным типам агрометеорологических условий перезимовки по Воронежской, Ростовской областям и Ставропольскому краю

Субъект	Типы зим (см. табл. 2.13)									
	1	**2**	**3**	**4.1**	**4.2**	**4.3**	**5.1**	**5.2**	**6.1**	**6.2**
Воронежская обл.	–	12, 17, 18	23, 24	13	23, 22, 12	19, 21	17, 21	–	19	13, 9
Ростовская обл.	2, 10	7, 14, 19	7, 19, 21	12,18	9, 2, 20,	2, 3, 8,	–	–	3	3, 7, 20,
Ставропольский край	7, 13	–	–	15, 5	–	7, 8, 23	–	–	3,7	13, 18

Таблица 2.17

Пример расчета ожидаемой площади (Sв,%) с плохим состоянием озимых культур весной по уравнениям (табл. 2. 15) с учетом типов зим по Воронежской, Ростовской областям и Ставропольскому краю

Год	$S_{в.}$ фактическая, %	Тип зимы (по табл. 2.13)	Допустимая ошибка, %	Ошибка методического прогноза, %	Оправдываемость методического прогноза	Ошибка климатологического прогноза, %	Оправдываемость климатологического прогноза	Рекомендуемые уравнения (по табл. 2.15) и прогнозируемая на весну площадь гибели
Воронежская область								
1973/74	16,2	4,3	2,3	0,4	+	2,0	+	(19) = 17,1 * (21)= 18,1*
1982/83	7,2	6,1	1	0,3	+	11,0	–	(19) = 7,5 * (3) = 7,9 *
1985/86	32,0	3	4,5	2,3	+	13,8	–	(23) = 34,5 * (24) = 28,8 *
1992/93	2,9	6,2	0,6ˆ	0,1	+	4,4	–	(9) = 2,3 * (13) 4,2 *
Ростовская область								
1982/83	56,0	1	10,6	1,6	+	28,2	–	(2) = 54,4 * (10) =57,7 * (8) = 53,0 *
1989/90	6,0	4,1	1,1	0,3	+	21,8	–	(12) = 6,3 *
1992/93	10,4	6,1	1,5	5,0	–	17,4	–	(3) = 15,6 *
Ставропольский край								
1982/93	13,4	1	1,0	3,1	–	4,3	–	(13) =10,3 * (7) = 16,6 *
1989/90	2,0	6,1	7,1	4,1	+	7,1	+	(3) = 6,4 *
1992/93	0,7	6,2	7,1	1,9	+	8,5	–	(16) = 1,6 * (13) = 3,7 *

Примечания: * ожидаемая площадь с плохим состоянием весной; + прогноз оправдался; – прогноз не оправдался.

Таблица 2.18

Исходные данные для примера

Воронежская область						
Год	$S_{в.}$	$S_{р.}$	$S_{о.}$	$K_{о.}$	$T_з$	M
1973/74	16,2	78	0	2,3	-13,7	0,7
1982/83	7,2	85	7	2,9	-5,4	0,3
1985/86	32	84	13	1,8	-8	4
1992/93	2,9	86	2	1,9	-8,6	0,54
Ростовская область						
1982/83	56	98	48	2,4	-7,4	0
1989/90	6	98	2	3,7	-10,2	0
1992/93	10,4	96	10	1,8	-12	0
Ставропольский край						
1982/83	13,4	90	41	1,4	-5	0
1989/90	2	99	10	2,3	-4,9	0
1992/93	0,7	86	19	1,7	-8,1	0

Примечания: $S_{о.}$, % – состояние посевов осенью, размеры площади с плохими и невзошедшими посевами (% их посевной); $K_{о.}$ – кустистость растений перед прекращением осенней вегетации, $S_{р.}$ – процент площади всех посевов с озимыми культурами, занимаемой озимой пшеницей, при появлении на полях притертой к почве ледяной корки; M – ее толщина за 5 декад с 1 января по 20 февраля; $T_з$ – минимальная температура почвы на глубине залегания узла кущения растений за зиму, рассчитанная (по динамико-статистической модели перезимовки) или полученная наблюдательным путем (выбранная из наблюдений, проводящихся на станциях).

2.2.9. Метод прогноза перезимовки многолетних сеяных трав (Страшная А.И., 1988)

На преобладающей территории Нечерноземной зоны, в Центрально-Черноземных областях и на севере Черноземной зоны в структуре посевов многолетних бобовых трав наибольший удельный вес занимают посевы клевера и его смесей. На севере и северо-востоке Европейской части России преобладают одноукосные клевера, при продвижении на запад и юг территории увеличивается удельный вес двуукосных клеверов. В последние годы расширяются и посевы люцерны. Значительно распространены на всей рассматриваемой территории также злаковые травы. Большой удельный вес и более слабая морозостойкость клеверов по сравнению со злаковыми травами и люцерной сводят проблему изучения морозостойкости трав на большей части указанной территории в основном к изучению морозостойкости и степени изреженности клеверов.

Известно, что морозостойкость посевов клевера и исход их зимовки зависят от типа (одноукосный, двуукосный), сорта растений, их возраста, технологии выращивания, сроков последнего укоса. Влияние агрометеорологических условий на морозостойкость клевера при этом почти не изучено.

Статистическая обработка экспериментальных данных, полученных в результате опытов, проведенных А.И. Страшной во Всесоюзном институте кормов им. Вильямса, а также данных наблюдений агрометеорологических станций позволила установить ведущие агрометеорологические факторы, определяющие морозостойкость двуукосного клевера первого года жизни. Было установлено, что наиболее существенно влияют на морозостойкость (критическую температуру вымерзания) клевера этого типа условия увлажнения в период осенней вегетации растений, термические условия в период прохождения растениями первой фазы закалки и степень охлаждения растений в начале зимы (во вторую фазу закалки). Известно, что чаще всего повреждения и гибель трав наблюдались в конце декабря – январе; для оценки используют значения критической температуры вымерзания растений в этот период.

Зависимость критической температуры вымерзания двуукосного клевера в конце декабря – начале января $t_{кр}$ от средних запасов продуктивной влаги в пахотном слое почвы за сентябрь и октябрь (W_{IX-X}), от средней амплитуды температуры воздуха (A_{10-5}) за период между датами устойчивого перехода средней суточной температуры воздуха через 10 и 5 °С и от суммы средних суточных температур воздуха за период от перехода температуры через 0 °С до 31 декабря ($\sum t_{0-XII}$) выражается следующим уравнением:

$$t_{кр} = 0{,}078 W_{IX-X}^2 + 0{,}228 A_{10-5} - 0{,}006 \sum t_{0-XII} + 9{,}78, \quad R = 0{,}79. \qquad (2.38)$$

Уравнение применимо в пределах: W_{IX-X} – от 5 до 40 мм; A_{10-5} – от 6 до 14 °С; $\sum t_{0-XII}$ – от -40 до -280 °С.

В осенний период условия тепло- и влагообеспеченности, определяя в известной мере уровень закалки и морозоустойчивости растений, влияют на степень изреженности их к началу вегетации весной. Однако решающая роль в исходе зимовки трав в холодные зимы принадлежит условиям зимнего периода. Из рассмотренных 8 факторов, характеризующих условия зимнего периода, наибольшее влияние на исход зимовки трав оказывает минимальная за зиму (до 20 февраля) температура почвы на глубине 3 см (η = 0,784).

Анализ зависимости изреженности клеверов весной от минимальной температуры почвы на глубине 3 см до 20 февраля в годы с **вымерзанием** показывает, что с понижением температуры от -5 до -11 °С изреженность трав изменяется незначительно и составляет 5 – 15 %, при дальнейшем понижении температуры (до -16 … -18 °С) она резко возрастает (до 50 – 70 %), а затем при снижении температуры ниже приведенных пределов увеличение изреженности посевов вновь замедляется. Такая зависимость для одноукосного клевера выражается уравнением:

$$Y = \frac{100}{1 + 10^{3{,}896 + 0{,}233 t_{3-0}}}, \qquad (2.39)$$

для двуукосного клевера

$$Y = \frac{100}{1+10^{3,267+0,218t_{3-0}}}, \qquad (2.40)$$

где Y – изреженность клевера (%) по данным весеннего обследования посевов на конкретных полях; t_{3-0} – минимальная температура почвы (°С) на глубине 3 см на близлежащем поле с озимой культурой за прошедший период зимовки.

В годы с **выпреванием** посевов минимальная за зиму температура почвы оказалась малозначимой. Наиболее тесная связь изреженности трав весной наблюдается с суммой минимальных за зимние декады температур почвы на глубине 3 см до 20 февраля (η = 0,721), что позволяет считать этот фактор определяющим в исходе зимовки трав в многоснежные зимы.

Зависимость степени изреженности клеверов весной на конкретных полях от суммы минимальных за декады температур почвы на глубине 3 см (до 20 февраля) выражается уравнением

$$Y = 0,056\sum t_{3-0}^{2} + 3,400\sum t_{3-0} + 58,03, \quad \eta = 0,72, \qquad (2.41)$$

где Y – изреженность клеверов по данным весеннего обследования посевов, %; $\sum t_{3-0}$ – сумма минимальных за зимние декады температур почвы на глубине 3 см (до 20 февраля). Уравнение применимо при изменении от -5 до -35 °С.

Автор разработала также прогностические уравнения для расчета ожидаемой площади гибели многолетних трав по субъектам центральных нечерноземных и черноземных областей. Так как сведения о гибели трав весной даются без разделения их по видам и годам жизни, для разработки методов прогнозов трав ко времени возобновления вегетации использовались данные об общей площади гибели трав весной. Ожидаемая весной площадь с погибшими от **вымерзания** посевами трав по территории субъектов описаны логистической функцией, выраженной уравнением Ферхюльста:

$$S_{в.} = \frac{98}{1+10^{4,193+0,265\bar{t}_{3-0}}} + 2, \qquad (2.42)$$

где $S_{в.}$ – площадь с погибшими весной посевами многолетних трав, процент от общей площади их в области; $\bar{t}_{3-0}$ – средняя по области минимальная температура почвы на глубине 3 см на полях с озимыми культурами. Уравнение применимо при значениях $\bar{t}_{3-0}$ от -6 до -20 °С.

Площадь с погибшими весной посевами рассчитывается также по рис. 2.6.

Ожидаемые в целом по области площади с плохим состоянием трав весной вследствие **выпревания** можно рассчитать по уравнению

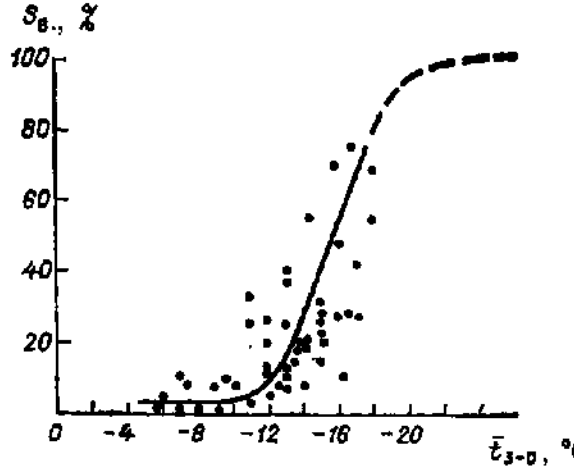


Рис. 2.6. Зависимость общей площади с погибшими посевами трав $S_в$ от среднего по области значения минимальной температуры почвы на глубине 3 см на полях с озимыми культурами

$$S_в = 0{,}024\sum\bar{t}^{2}_{3-0} + 1{,}781\sum\bar{t}_{3-0} + 38{,}62\,, \quad \eta = 0{,}79\,, \qquad (2.43)$$

где $S_в$ – площадь посевов многолетних трав весной (%), погибших от выпревания, $\sum\bar{t}_{3-0}$ – то же, что и в уравнении (2.41), осредненная по области.

Пределы применения уравнения $\sum\bar{t}_{3-0}$ – от -5 до -35 °С.

По результатам февральского отращивания проб уточнение площади с гибелью трав от **вымерзания** производится по уравнению

$$S_в = 1{,}06x + 2{,}10\,, \quad r = 0{,}83\,, \qquad (2.44)$$

а вследствие выпревания

$$S_в = 1{,}08x + 3{,}10\,, \quad r = 0{,}80\,, \qquad (2.45)$$

$S_в$ в уравнениях (2.44) и (2.45) – то же, что и в уравнениях (2.42) и (2.43), а x – процент проб с изреженностью растений в них более 20 % по данным февральского отращивания.

2.3. Метод прогноза запасов продуктивной влаги в почве весной к началу вегетационного периода озимых и яровых зерновых культур

Прогноз запасов продуктивной влаги к началу вегетационного периода составляется для тех районов, где запасы влаги в метровом слое почвы к концу осени не достигают уровня наименьшей влагоемкости. В северо-западных, северных и центральных районах Европейской части России обычно к концу осени запасы влаги в метровом слое почвы превышают наименьшую влагоемкость, поэтому в этих районах практически

нет необходимости в составлении прогнозов запасов влаги на весну. Особое значение этот прогноз имеет в засушливых районах, где одним из основных условий высокой урожайности являются достаточные запасы продуктивной влаги весной.

Увеличение запасов влаги в почве весной зависит главным образом от количества выпавших осадков за осенне-зимне-весенний период и насыщенности почвы влагой осенью (Разумова Л.А., 1973).

Для составления прогноза запасов продуктивной влаги в почве весной на большей части сельскохозяйственных районов используются регрессионные зависимости между суммарным изменением запасов влаги за осенне-зимне-весенний период, количеством осадков, выпавших за эти же периоды, и дефицитом запасов влаги в почве осенью (Разумова Л.А., 1957). Уравнения получены отдельно

- для зоны с неустойчивой зимой:

$$y = 0{,}21x + 0{,}62h - 33\ , \qquad (2.46)$$

- для зоны с устойчивой зимой:

$$y = 0{,}11x + 0{,}56h - 20\ , \qquad (2.47)$$

где y – изменение запасов продуктивной влаги в метровом слое почвы (мм) за период от последнего определения запасов влаги в почве осенью (перед замерзанием) до первого определения запасов влаги в почве весной (декады перехода температуры воздуха через 5 °С весной); x – количество осадков (мм), выпавших за период от последнего определения влажности почвы осенью до даты составления прогноза, плюс осадки, ожидаемые от даты составления прогноза до даты перехода средней суточной температуры воздуха через 5 °С весной; h – недостаток насыщения почвы влагой в метровом слое(мм) осенью (разность между наименьшей влагоемкостью и исходными осенними запасами влаги).

В Европейской части России к зоне с устойчивой зимой и малым обогащением почвы влагой зимой относятся юго-восточные районы; к зоне с неустойчивой зимой, в которой происходит увеличение запасов влаги за счет талых вод во время оттепелей, относятся юго-западные и южные районы. Для тех районов, где наблюдаются как устойчивые, так и неустойчивые зимы, приведенные формулы используются с учетом характера текущей зимы.

Расчет ожидаемых весной запасов продуктивной влаги проводится по всем станциям, где ведутся инструментальные наблюдения за влажностью почвы под озимыми зерновыми культурами и на зяби (или по другому предшественнику), предназначенной для сева ранних яровых зерновых культур. Для расчетов ожидаемых запасов влаги исходными данными являются осенние запасы влаги и количество осадков (фактическое и ожидаемое). Ожидаемые осадки берутся из прогноза погоды или используются

средние многолетние суммы осадков из климатических справочников, но с учетом ожидаемой аномалии осадков. Необходимая для вычисления осеннего дефицита влаги наименьшая влагоемкость учитывается по данным агрогидрологического обследования полей или по осредненным данным: наименьшая влагоемкость суглинистых почвенных разностей принимается равной 170 – 190 мм, супесчаных – 150 – 170 мм и песчаных – 80 – 120 мм продуктивной влаги в слое 0 – 100 см.

Расчеты проводятся по форме, предложенной Л.А. Разумовой (табл. 2.19). Сначала определяется недостаток насыщения почвы влагой осенью под озимыми зерновыми культурами и на зяби.

Таблица 2.19

Расчетная форма для составления прогноза запасов влаги к весне по методу Разумовой

Станция	Поле (культура)	Исходные данные			
		Запасы продуктивной влаги в слое почвы 0 – 100 см		Наименьшая влагоемкость (мм) слоя почвы 0 – 100 см	Количество осадков за период от даты осеннего определения влажности почвы до даты составления прогноза, мм
		Дата определения	Запасы влаги, мм		

Станция	Поле (культура)	Данные по прогнозу погоды или средние многолетние данные		
		Дата установления температуры воздуха 5 °С и выше весной	Количество осадков за период от даты составления прогноза до даты установления температуры 5 °С и выше весной, мм	Количество осадков (мм) от даты осеннего определения влажности почвы до установления температуры 5 °С и выше весной (x)

Станция	Поле (культура)	Вычисленные данные					Многолетние средние запасы продуктивной влаги (мм) при установлении температуры 5 °С весной
		Дефицит влаги (мм) в слое почвы 0 – 100 см (h)	Изменение запасов влаги в слое почвы 0 – 100 см за осенне-весенний период (y)	Запасы влаги, ожидаемые весной в слое почвы 0 – 100 см			
				в миллиметрах	в процентах наименьшей влагоемкости	в процентах средней многолетней	

Пример. Допустим, на гидрометеорологической станции Безенчук (Самарская обл.) в метровом слое почвы запасы влаги под озимыми культурами 28 октября составляли 83 мм, а на зяби – 54 мм. Наименьшая влагоемкость почв равна 160 мм. Следовательно, недостаток насыщения почвы влагой к концу осени под озимыми составлял 77 мм и на зяби – 106 мм . Далее подсчитывается количество осадков за период от последнего определения запасов влаги осенью до перехода средней суточной температуры воздуха через 5 °С весной. Дата перехода средней суточной температуры воздуха через 5 °С весной берется по прогнозу погоды. В нашем примере она приходится на 16 апреля (если прогноз отсутствует, то берется средняя многолетняя дата). В нашем примере дата составления прогноза – 20 февраля; следовательно, надо определить количество осадков за период 28 октября – 16 апреля. Сначала подсчитывают фактическое количество осадков за период 28 октября – 20 февраля, эта сумма равна 87 мм. К этой сумме прибавляется ожидаемое количество осадков за период от 20 февраля до 16 апреля. Ожидаемое количество осадков берется как среднемноголетнее их значение, но с учетом ожидаемого по прогнозу погоды отклонения от среднего многолетнего количества. В нашем примере ожидается 43 мм (по прогнозу погоды во вторую половину зимнего сезона осадки предполагаются около среднего многолетнего количества). Общее количество осадков за период с 28 октября по 16 апреля составило 130 мм. По уравнению для зоны с устойчивой зимой определяют ожидаемые изменения запасов влаги в метровом слое почвы к началу вегетационного периода под озимыми и на зяби. В нашем примере изменения запасов влаги за холодный период составили: под озимыми 44 мм и на зяби 59 мм. Прибавив к последнему осеннему определению запасов влаги полученное их изменение, вычисляют ожидаемые весной запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы. Они составят: под озимыми 83 + 44 = 127 мм, на зяби 54 + 59 = 113 мм.

Для районов, где происходит значительное перераспределение снежного покрова на полях ветром, прогноз запасов влаги целесообразно составлять с учетом запасов влаги в снежном покрове. Запасы воды рассчитываются по средней высоте снежного покрова, полученной по результатам снегомерной съемки, которая проводится на полях в срок, наиболее близкий к составлению прогноза по формуле:

$$W = 10hd, \qquad (2.48)$$

где W – запас воды в снежном покрове, мм; h – средняя высота снежного покрова, см; d – плотность снега, г/см^3.

Полученные данные об ожидаемых запасах влаги наносятся на карты отдельно под озимыми и на зяби, и выделяются зоны со следующим увлажнением почвы: менее 80 мм (плохие запасы), 80 – 100 мм (недостаточные), 101 – 120 мм (удовлетворительные), 121 – 160 мм (хорошие) и

более 160 мм (отличные). Ожидаемые запасы влаги оцениваются также в сравнении со средними многолетними запасами по градациям: менее 80, 80–120 и более 120 % и в сравнении с наименьшей влагоемкостью – по градациям менее 50, 50–80, 81–100 и более 100 %.

К составленным картам дается краткий текст, где указывается, какое увлажнение почвы было осенью и каковы ожидаемые запасы влаги, приводится сравнение их со средним многолетним количеством (с наименьшей влагоемкостью).

Расчет ожидаемых средних областных (краевых) запасов продуктивной влаги сводится к вычислению среднего арифметического значения по всем станциям, по которым составлялся прогноз, отдельно под озимыми и на зяби. Ожидаемые средние областные (краевые) запасы влаги также оцениваются в сравнении со средними многолетними весенними запасами, рассчитанными как среднее арифметическое по тем же станциям, по которым составлялся прогноз.

2.4. Методы прогноза оптимальных сроков начала полевых работ и сева ранних яровых зерновых культур

Полевые работы и сев ранних яровых культур весной не могут начаться до тех пор, пока почва на полях не достигнет мягкопластичного состояния, при котором работа машин идет бесперебойно и пахота получается хорошего качества. Освобождение полей от снежного покрова, просыхание и прогревание почвы весной зависит от высоты снежного покрова на полях в конце зимы, глубины промерзания почвы, температуры воздуха, скорости снеготаяния, осадков, насыщенности почвы влагой и т.д. Эти факторы необходимо учитывать при составлении в конце зимы прогноза начала полевых работ.

Для северных и северо-западных районов Российской Федерации (Республика Карелия, Архангельская, Вологодская, Ленинградская, Новгородская, Псковская области) для зоны капиллярного насыщения почв влагой, где период снеготаяния, оттаивания и просыхания почвы более длительный и сложный, чем на остальной территории России, вопрос о начале полевых работ и сроках сева ранних яровых зерновых культур имеет особенно большое значение.

Метод прогноза сроков подсыхания почвы до мягкопластичного состояния был разработан А.Н. Деревянко (1978).

Важнейшим фактором, влияющим на сроки начала полевых работ, а также на качество и количество всходов ранних яровых культур, являются запасы влаги в пахотном слое почвы. Оптимальные для начала полевых работ и сева ранних яровых культур условия увлажнения складываются в тот короткий промежуток времени (10–20 дней), который наступает после просыхания почвы до, так называемого, мягкопластичного состояния или

«физической спелости», когда запасы влаги в слое 0–20 см составляют 30–50 мм. Почва при этом легко поддается обработке, на полях появляются дружные всходы, которые развивают хорошую корневую систему.

Значительную роль в наступлении сроков начала полевых работ и сева ранних яровых культур имеет глубина промерзания почвы зимой и скорость оттаивания ее весной. Средняя минимальная глубина промерзания почвы на начало снеготаяния в Нечерноземной зоне составляет 10–40 см, средняя максимальная – 110–140 см. Средняя многолетняя дата полного оттаивания почвы приходится на юго-западе на первую декаду апреля, на северо-востоке – на первую декаду мая.

Большое значение в этот период имеет температура воздуха и почвы. Зерно яровых культур начинает поглощать влагу из почвы в полевых условиях уже при температуре 0 °С, а прорастание семян начинается при температуре 1–2 °С. Оптимальная температура воздуха для прорастания зерна ранних яровых культур 8–12 °С. Просыхание почвы до мягкопластичного состояния в Нечерноземной зоне происходит в сроки, близкие к срокам перехода средней суточной температуры воздуха через 5–7 °С. В момент «поспевания» почвы условия ее увлажнения и температурный режим в Нечерноземной зоне наиболее благоприятны для начала полевых работ и сева ранних яровых зерновых культур.

Запросы об ожидаемых сроках начала полевых работ поступают не только ранней весной, но и зимой, что обусловлено необходимостью своевременной подготовки техники и планирования проведения весенних полевых работ. Методика долгосрочного прогноза просыхания почвы до мягкопластичного состояния в Нечерноземной зоне России основывается на положении, что условия залегания снежного покрова и промерзания почвы в период первого понижения температуры воздуха ниже -10 °С в течение 10 дней зимой предопределяют условия оттаивания почвы и сроки ее просыхания весной. Уравнения регрессии имеют вид:

- для суглинистых почв

$$u = -1{,}12x - 0{,}14y - 0{,}09z + 177{,}17\ ; \qquad (2.49)$$

- для супесчаных почв

$$u = -0{,}95x - 0{,}74y - 0{,}06z + 186{,}71\ , \qquad (2.50)$$

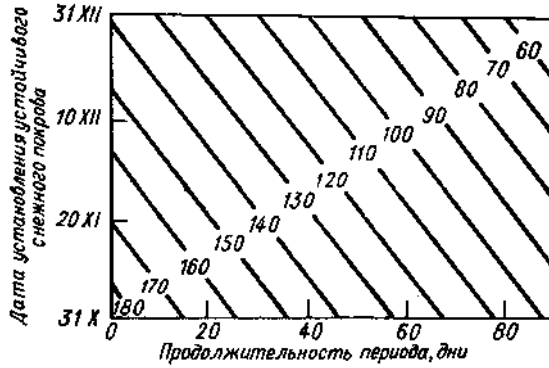
где u – продолжительность периода от конца первого зимнего похолодания, когда температура воздуха опускается ниже -10 °С в течение 10 дней и более до просыхания пахотного слоя почвы до мягкопластичного состояния, дни; x – продолжительность периода от устойчивого перехода температуры через 0 °С осенью до конца первого зимнего понижения температуры воздуха ниже -10 °С в течение 10 дней и более, дни; y – дата установления устойчивого снежного покрова (считая с 1 ноября); z – глубина промерзания почвы на конец первого понижения температуры воздуха ниже -10 °С в течение 10 дней и более, см.

Заблаговременность прогноза составляет от двух с половиной до шести с половиной месяцев в зависимости от характера зимне-весеннего периода.

Уравнения дают хорошие результаты при установлении снежного покрова в период 20 ноября – 31 декабря и длительности периода от перехода температуры воздуха через 0 °С осенью до конца первого похолодания от 26 до 60 дней.

Графическое выражение этих связей для различных типов почв представлено на рис. 2.7 и 2.8. В поле графиков приводится продолжительность периода с конца первого зимнего похолодания до просыхания почвы до мягкопластичного состояния. Кроме того, дается поправка на глубину промерзания почвы. Данные для составления прогноза выбираются из ТСХ-1.

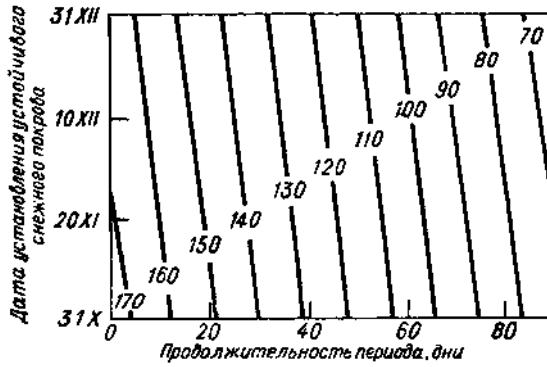
Пример. Расчет проведен для поля, где преобладают суглинистые почвы. Температура воздуха перешла через 0 °С 31 октября. Первый период с пониженной температурой воздуха (-10 °С и ниже) отмечался с 10 по 21 декабря. Таким образом, продолжительность периода от даты перехода температуры воздуха через 0 °С осенью до конца первого зимнего понижения температуры воздуха до -10 °С и ниже составила 51 день. Глубина промерзания на конец первого зимнего похолодания – 15 см. Установление устойчивого снежного покрова отмечено 25 ноября.



Поправки Δu на глубину промерзания почвы z на конец первого понижения температуры воздуха до -10 °С и ниже:

z, см	...	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
Δu, дни	...	4	3	2	1	0	-1	-2	-2	-3	-4	-5	-6

Рис. 2.7. График для расчета времени просыхания пахотного горизонта почвы до мягкопластичного состояния. Северо-Западный экономический район, суглинистые почвы. По оси абсцисс – продолжительность периода (дни) от перехода температуры воздуха через 0 °С до конца первого понижения температуры воздуха до -10 °С и ниже в течение 10 дней и более.



Поправки Δu на глубину промерзания почвы z на конец первого понижения температуры воздуха до -10 °С и ниже:

z, см	...	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
Δu, дни	...	3	2	2	1	1	0	-1	-1	-2	-2	-3	-4

Рис. 2.8. График для расчета времени просыхания пахотного горизонта почвы до мягкопластичного состояния. Северо-Западный экономический район, супесчаные почвы. По оси абсцисс – продолжительность периода (дни) от перехода температуры воздуха через 0 °С до конца первого понижения температуры воздуха до -10 °С и ниже в течение 10 дней и более.

Используя эти данные, по рис. 2.7 (для суглинистых почв) определяется продолжительность периода с конца первого зимнего похолодания (-10 °С и ниже) до просыхания почвы до мягкопластичного состояния. Она равна 114 дням, что соответствует дате 14 апреля, считая с 21 декабря. С учетом поправки на глубину промерзания почвы (15 см) просыхание почвы наступит 16 – 17 апреля.

2.5. Метод прогноза теплообеспеченности вегетационного периода

Теоретические положения о возможности составлении прогноза теплообеспеченности вегетационного периода выдвинуты Ф.Ф. Давитая (1964) на основе выявленных им асинхронных связей между сроком начала весны и общим количеством тепла летом. За индекс начала весны условно принята дата устойчивого перехода температуры воздуха через 10 °С весной. Чем раньше наступает этот переход, тем большая сумма температур накопится за вегетационный период, ограниченный датами перехода температуры воздуха через 10 °С весной и осенью, и наоборот.

Прогнозы теплообеспеченности вегетационного периода могут быть использованы для обоснования в текущем году выбора культур и сортов с учетом их теплопотребности, определения сроков созревания и уборки

сельскохозяйственных культур, агротехнических мероприятий, зависящих от уровня термического режима (применение определенных удобрений, гербицидов, уточнения сроков сева озимых), прогноза испаряемости за вегетационный период.

Характер зависимости суммы температур выше 10 °С ($\sum t > 10$ °С) от начала весенних процессов неодинаков в различные части вегетационного периода. Если этот период разбить на две неравные части, выделив из него два первых месяца после даты перехода температуры воздуха через 10 °С весной, то зависимость $\sum t > 10$ °С за оставшуюся (вторую) часть вегетационного периода от даты перехода температуры через 10 °С весной повышается.

По датам устойчивого перехода температуры воздуха через 10 °С весной можно рассчитывать:

– ожидаемую сумму температур выше 10 °С за вегетационный период и его части,

– продолжительность вегетационного периода.

2.5.1. Прогноз теплообеспеченности вегетационного периода

В качестве предиктора при составлении прогноза используется дата устойчивого перехода температуры воздуха через 10 °С весной (D). Общая форма уравнения связи для расчета суммы температур воздуха выше 10 °С ($\sum t > 10$ °С) имеет вид

$$\sum t > 10\ ^\circ C = A - a_1 D, \qquad (2.51)$$

где A – свободный член уравнения, a_1 – коэффициент при переменной.

Автором получены уравнения, по которым можно рассчитать ожидаемую сумму активных температур для разных районов Российской Федерации. В качестве примера они приведены в табл. 2.20.

Таблица 2.20

Уравнения расчета суммы температур выше 10 °С (Руководство по агрометеорологическим прогнозам, 1984)

Станция	Уравнение	Станция	Уравнение
Киров	$\sum t = -12{,}15D + 2420$	Москва	$\sum t = -16{,}21D + 2770$
Владивосток	$\sum t = -14{,}60D + 2741$	Саратов	$\sum t = -23{,}14D + 3530$
Воронеж	$\sum t = -16{,}62D + 3040$	Свердловск	$\sum t = -20{,}11D + 3138$
Санкт-Петербург	$\sum t = -18{,}25D + 2760$	Тамбов	$\sum t = -20{,}11D + 3140$

Прогноз теплообеспеченности вегетационного периода ($\sum t > 10$ °С) составляется сразу после устойчивого перехода температуры воздуха через 10 °С весной. Дата перехода температуры воздуха через 10 °С весной может быть определена графическим способом по средним декадным температурам или по средним суточным температурам способом,

принятым в агроклиматологии, а затем пересчитывают с учетом наиболее раннего месяца, в котором наблюдался переход, т. е. приводится к единому арифметическому ряду чисел. Например, дата перехода температуры воздуха через 10 °С в прогнозируемом году приходится на 15 мая, а наиболее ранний месяц перехода температуры воздуха через 10 °С на данной станции – апрель, то к 30 дням апреля необходимо прибавить 15 дней мая. В данном случае в уравнение (2.51) вместо значения D подставляется не 15, а 45.

Пример определения даты устойчивого перехода средней суточной температуры воздуха через 10 °С весной показан в табл. 2.21. За дату перехода принимается первый день периода, сумма положительных отклонений которого превышает сумму отрицательных отклонений любого из последующих периодов с такими отклонениями (Лосев А.П., 1988).

Таблица 2.21

Средняя суточная температура в мае

Температура воздуха, °С	Число месяца											
	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Средняя суточная	7,1	8,4	10,5	11,0	8,9	9,0	7,0	14,1	15,1	12,7	9,0	11,2
Отклонение от 10 °С	-2,9	-1,6	0,5	1,0	-1,1	-1,1	-3,0	4,1	5,1	2,7	-1,0	1,2
Сумма отклонений: отрицательных		-4,5					-5,1				-1,0	
положительных				1,5						11,9		1,2

Устойчивый переход температуры через 10 °С отмечался 17 мая. Дату устойчивого перехода температуры воздуха через 10 °С можно определить только спустя некоторое время после того, как она наступила.

Методика составления прогноза теплообеспеченности второй половины вегетационного периода ($\sum t > 10$ °С спустя два месяца от даты перехода температуры воздуха через 10 °С весной до даты перехода температуры через 10 °С осенью) аналогична методике составления прогноза теплообеспеченности всего вегетационного периода. Расчеты также производятся по дате перехода температуры через 10 °С весной. Необходимо лишь располагать соответствующими уравнениями, общий вид которых аналогичен уравнению 2.51.

В случае, если за начало весны принять дату перехода температуры воздуха через 5 °С, а начала лета – дату перехода через 15 °С, то приведенные выше прогнозы можно составлять и для периода в пределах указанной температуры.

2.5.2. Прогноз продолжительности вегетационного периода

В основу метода прогноза продолжительности вегетационного периода положена зависимость продолжительности периода с температурой воздуха выше 10 °С (n, дни) от даты устойчивого перехода температуры

через 10 °С весной (D). В общей форме уравнение связи имеет следующий вид (Руководство по агрометеорологическим прогнозам, 1984):

$$n = A - a_1 D. \tag{2.52}$$

2.6. Методы прогноза сроков наступления основных фаз развития и созревания сельскохозяйственных культур

2.6.1. Научные основы метода фенологических прогнозов

Анализ особенностей развития той или иной культуры в связи с условиями погоды является неотъемлемой частью оперативного агрометеорологического обеспечения сельского хозяйства, и прогнозы фаз развития сельскохозяйственных культур – один из важных его разделов.

Фенологический прогноз – это предсказание, основанное на расчетах сроков наступления сезонных явлений и процессов в жизни растений (животных). ***Фазы развития растений*** – последовательные этапы индивидуального развития растения: от прорастания семени до созревания новых семян и отмирания организма. (Толковый словарь по сельскохозяйственной метеорологии, 2002). Скорость их наступлений (т. е. появление новых определенных морфологических признаков или изменений) в большей степени зависит от температуры.

Одним из основоположников фенологических прогнозов в агрометеорологии был А.А. Шиголев (Руководство по агрометеорологическим прогнозам, 1984). В основе предложенного им метода лежит зависимость между скоростью развития растений и эффективной (выше 5 °С) температурой воздуха. Продолжительность периодов между фазами развития растений он предложил определять по сумме эффективных температур, необходимой для прохождения растениями каждого их этих периодов.

Связь продолжительности межфазных периодов с температурой окружающей среды выражается формулой:

$$n = \frac{A}{t - B}, \tag{2.53}$$

где n – продолжительность межфазного периода; A – сумма эффективных температур, необходимая для наступления данной фазы; t – средняя суточная температура воздуха; B – биологический минимум температуры растения в данной фазе (для зерновых культур А.А. Шиголевым принята температура, равная 5 °С).

Эта зависимость положена в основу существующих методов прогноза сроков наступления фаз развития растений. А.А. Шиголевым установлены суммы эффективных температур (выше 5 °С), необходимые для наступления основных фаз развития зерновых и плодовых культур (табл. 2.22).

Таблица 2.22

Показатели сумм эффективных температур выше 5 °С, необходимых для наступления фаз развития зерновых культур (по А.А. Шиголеву)

Межфазный период	Сумма эффективных температур (°С), необходимых для наступления фаз развития						
	озимой пшеницы	озимой ржи	яровой пшеницы	ярового ячменя	овса	проса	гречихи
Посев – всходы	67	52	67	67	67	150	75
Всходы – кущение	67	67	67	67	67	–	–
Всходы – выметывание						600	275
Всходы – начало цветения							
Возобновление вегетации – выход в трубку							
в юго-восточных районах	100–150	100–150					
в западных районах	50	50					
Выход в трубку (выметывание) – колошение	330	183	283–305 (р) 330–355 (с) 275–400 (п)	330	378		
Колошение – молочная спелость	230	319	230	–	–	–	–
Молочная спелость – восковая спелость	260	225	260 (м) 300 (т)				
Колошение (цветение гречихи) – восковая спелость	490	544	490 (м)	388	428		470
Выметывание метелки – полная спелость						440	

Примечание. Здесь (р), (с), (п), (м), (т) – яровая пшеница, соответственно раннеспелая, среднеспелая, позднеспелая, мягкая, твердая.

Прогноз даты наступления той или иной фазы рассчитывается по уравнению:

$$D = d + A / (t - 5), \qquad (2.54)$$

где D – дата наступления ожидаемой фазы; d – дата наступления предшествующей фазы; A – сумма эффективных температур между этими фазами; t – среднесуточная температура воздуха за межфазный период.

Скорость развития растений, достигнув максимума при определенной температуре, при дальнейшем ее повышении перестает увеличиваться. Температуры выше определенного предела названы А.А. Шиголевым «балластными», подавляющими процессы развития растений. Таким образом, появляется несоответствие между продолжительностью межфазных периодов и суммами температур воздуха, накопившимися за тот или иной период. Если в календарном интервале прохождения фазы были дни со среднесуточными температурами ниже биологического нуля, то такие дни не следует принимать в расчет. В связи с этим подсчет суммы эффективных температур желательно проводить по ежедневным данным.

В связи с периодической сортосменой время от времени возникает необходимость в пересчете температурных показателей для одной и той же культуры. Нередко уточненные константы рассчитываются для локальных территорий. А.Н. Деревянко (1982) получены суммы эффективных температур, отражающие темпы развития сортов озимой пшеницы Мироновская-808 и Безостая-1 в весенне-летний период (табл. 2.23).

Таблица 2.23

Суммы эффективных температур воздуха за межфазные периоды репродуктивного развития озимой пшеницы (°С)

Межфазный период	Для ранее районированных сортов (по А.А. Шиголеву)	Для сортов Безостая-1 и Мироновская-808
Выход в трубку – колошение	330	312
Колошение – восковая спелость	490	445
Выход в трубку – восковая спелость	820	757

2.6.2. Прогноз сроков наступления восковой спелости яровой пшеницы

В Сибири и Зауралье в связи с агроклиматическими особенностями весны и лета сев яровой пшеницы, как правило, проводится в течение длительного периода, обычно с 5–10 по 20–25 мая, а часть площадей засевается в отдельные годы в конце апреля и в конце мая. В связи с этим сроки созревания посевов нередко бывают растянутыми, в отдельные годы часть недозревших посевов повреждают заморозки. Для таких районов составляется прогноз размеров площадей, на которых восковая спелость наступает в различные сроки в зависимости от сроков посева.

Для составления прогноза необходимо получить в областном статистическом управлении сведения о количестве площадей за все недели сева по каждому району области (табл. 2.24). По окончании сева сведения о площадях, засеянных за каждую неделю по каждому району, наносят на схематические карты. На эти же карты в дальнейшем наносят ожидаемые сроки наступления восковой спелости яровой пшеницы. Если в области высевают различные по скороспелости сорта, то в областном статистическом управлении получают данные о динамике сева различных сортов по районам области. На карты наносят отдельно площади, засеянные в различные недели по разным сортам. Ожидаемые сроки наступления восковой спелости, а также площади созревших посевов по неделям за август и сентябрь подсчитывают для различных сортов, затем их суммируют.

Расчет сроков наступления восковой спелости начинается от даты посева. По каждой станции по набору сумм эффективных температур рассчитывают даты наступления восковой спелости для различных сроков сева. От посева до наступления восковой спелости ранних сортов

необходимо 1000 °С, для среднеспелых сортов 1100 °С, для позднеспелых сортов 1200 °С эффективных температур выше 5 °С.

Таблица 2.24

Ход сева яровой пшеницы по районам Новосибирской области

Район	Посеяно, тыс. га					
	до 10/V	10–16/V	17–23/V	24–30/V	31/V–6/VI	Всего
1. Баганский	2,9	5,0	31,1	20,2	1,2	60,4
…….						
30. Чулымский	0	4,4	33,1	12,5	0	50,4
Всего по области	45,7	109,4	890,6	507,6	83,0	1636,3

Пример расчета сроков наступления восковой спелости среднеспелого сорта яровой пшеницы, посеянной в разные сроки, для метеорологической станции Баган (Новосибирская обл.) по суммам эффективных температур выше 5 °С приведен в табл. 2.25–2.26. До колошения (первая декада июля) суммы эффективных температур рассчитываются по фактической средней декадной температуре воздуха, в дальнейшем температура берется по прогнозу или по средним многолетним данным. Аналогичные расчеты ожидаемых сроков наступления восковой спелости для различных сроков сева производятся по всем станциям области.

Таблица 2.25

Средняя декадная температура воздуха и сумма эффективных температур (°С) выше 5 °С (на примере ст. Баган)

Показатель	Май			Июнь			Июль			Август			Сентябрь	
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
Средняя температура воздуха	10,3	11,1	12,2	15,9	21,6	20,3	21,2	21,2	20,7	16,8	15,6	14,1	12,9	10,5
Сумма эффективных температур >5 °С	53	66	79	105	166	153	162	162	173	118	106	100	79	55

Таблица 2.26

Ожидаемая дата наступления восковой спелости яровой пшеницы, посеянной в различные сроки

Срок сева	до 10/V	10–16/V	17–23/V	24–30/V	31/V–6/VI
Ожидаемая дата	4/VIII	6/VIII	10/VIII	14/VIII	20/VIII

Ожидаемые даты наступления восковой спелости для различных сроков сева наносят на карты, на которых уже имеются сведения о площадях, засеянных пшеницей в определенные недели сева по каждому району области. На картах проводят изолинии ожидаемых сроков наступления восковой спелости по датам конца недель (рис . 2.9 и 2.10).

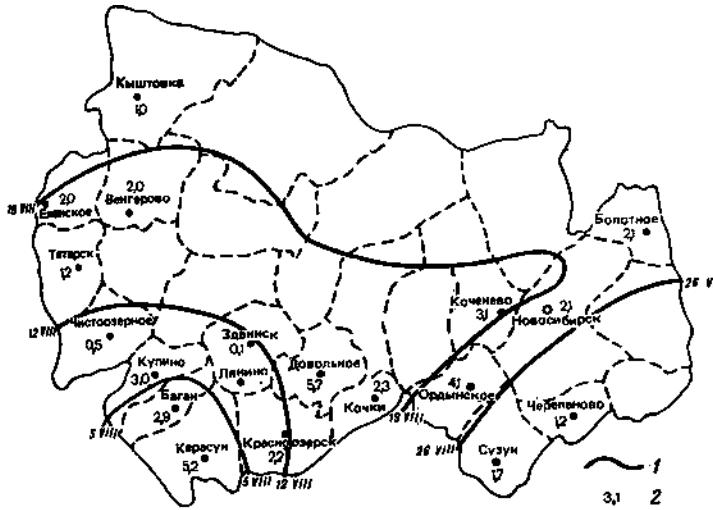


Рис. 2.9. Ожидаемые сроки наступления восковой спелости среднеспелых сортов яровой пшеницы, посеянной до 10 мая, и площади под яровой пшеницей, посеянной на эту дату:
1 – даты наступления восковой спелости, 2 – площадь под яровой пшеницей, посеянной до 10 мая (тыс. га).

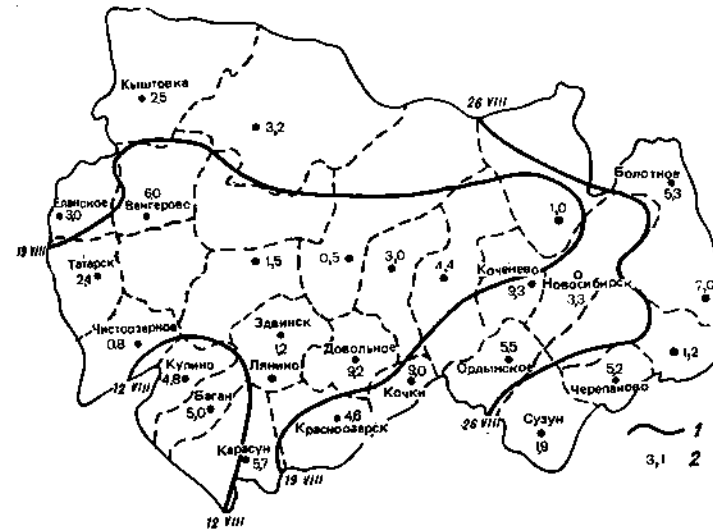


Рис. 2.10. Ожидаемые сроки наступления восковой спелости среднеспелых сортов яровой пшеницы, посеянной 10 – 16 мая, и площади под яровой пшеницей, посеянной на эту дату.
1 – даты наступления восковой спелости, 2 – площадь под яровой пшеницей, посеянной 10 – 16 мая (тыс. га).

По картам производится подсчет количества площадей, на которых восковая спелость наступит в определенные недели августа и сентября. При этом если в какой-либо интервал (неделю) попадает лишь часть площади района, то при подсчете берется соответствующая часть посевных площадей. Результаты подсчетов записываются в табл. 2.27.

По рис. 2.9 устанавливается, что пшеница, посеянная до 10 мая, достигнет восковой спелости на большей части Баганского и Карасунского районов до 5 августа (включительно), и площадь с такими посевами составляет 8,1 тыс. га (2,9 + 5,2). Это записывается в табл. 2.27 в третью графу первой строки. Затем подсчитываются площади, на которых созревание наступило 6 – 12 августа и т. д.

Затем проводятся подсчеты по рис. 2.10. Результаты подсчета площадей, на которых созревание ожидается 6 – 12, 13 – 19, 20 – 26 августа и 27 августа – 2 сентября, записывается во второй строке табл. 2.27. Такие же подсчеты проводятся по остальным картам. Результаты их записываются в третьей, четвертой и пятой строках табл. 2.27.

Таблица 2.27

Площади яровой пшеницы (тыс. га), на которых наступление восковой спелости ожидается в различные недели августа и сентября

№ п/п	Срок сева	Всего посеяно, тыс. га	Дата созревания						
			до 5/VIII	6 – 12/VIII	13 – 19/VIII	20 – 26/VIII	27/VIII – 2/IX	3 – 10/IX	11 – 17/IX
1	До 10/V	45,7	8,1	4,6	17,5	9,3	6,2	–	–
2	10 – 16/V	109,4	–	12,6	39,2	37,0	20,6	–	–
3	17 – 23/V	890,6	–	–	145,4	307,1	277,4	160,7	
4	24 – 30/V	507,6	–	–	–	120,7	208,6	125,0	53,3
5	31/V – 6/VI	83,0	–	–	–	–	35,5	45,6	1,9
6	Сумма	1636,3	8,1	17,2	202,1	474,1	548,3	331,3	55,2
7	Процент посевной площади		1	1	12	29	33	20	4
8	Нарастающим итогом (тыс. га)	–	8,1	25,3	227,4	701,5	1249,8	1581,1	1636,3
9	Процент посевной площади нарастающим итогом	–	1	2	14	43	76	96	100

После того как по всем срокам сева будут подсчитаны площади, на которых наступление восковой спелости ожидается в определенные недели августа и сентября, подсчитывается общее количество площадей, на которых восковая спелость наступит до 5 августа, 6 – 12 августа, 13 – 19 августа, 20 – 26 августа, 27 августа – 2 сентября, 3 – 10 сентября и 11 – 17 сентября. Они записываются в шестой строке табл. 2.27. Эти площади затем выражаются в процентах общей посевной площади (седьмая строка

табл. 2.27). В восьмой и девятой строках табл. 2.27 даются все площади, на которых восковая спелость наступит до 5 августа (8,1 тыс. га – 1 %), до 12 августа (25,3 тыс.га – 2 %) и т.д.

В случае, если по прогнозу погоды в августе или начале сентября ожидаются заморозки, следует подсчитать площади, на которых к этому времени зерно еще не достигнет восковой спелости и возможно его повреждение заморозками.

2.6.3. Прогноз продолжительности периода посев – восковая спелость яровой пшеницы в Приморском крае

В.П. Краснянской (1978) для территории Приморского края получена связь между датой сева среднеспелых сортов яровой пшеницы (D) и продолжительностью периода посев – восковая спелость (N):

$$N = 127 - 0{,}82\,D. \qquad (2.55)$$

Дата сева приводится к 20 марта.

Для уточнения прогноза найдены уравнения, в которых кроме даты сева используется дата перехода средней суточной температуры воздуха через 10 °С весной, приведенная к 20 апреля ($D_{10\,°C}$), и средняя месячная температура воздуха в мае (t_V):

$$N_1 = 124 - 0{,}83\,D + 0{,}20\,D_{10\,°C}, \qquad (2.56)$$

$$N_2 = 147 - 0{,}80\,D - 1{,}74\,t_V. \qquad (2.57)$$

Аналогичные уравнения были получены для прогноза продолжительности периода посев – восковая спелость для овса и ячменя.

Пример. На метеорологической станции дата сева яровой пшеницы была отмечена 8 апреля. Приведем ее к началу отсчета (20 марта) и подставим в уравнение (2.55):

$$N = 127 - 0{,}82 \cdot 19 = 111\ \textit{дней}.$$

Продолжительность периода посев – восковая спелость составила 111 дней.

Переход средней суточной температуры воздуха через 10 °С произошел 7 мая. После приведения даты перехода к 20 апреля и внесения ее и даты сева в уравнение (2.56) получим прогнозируемую продолжительность периода посев – восковая спелость с учетом первого уточнения:

$$N_1 = 124 - 0{,}83 \cdot 19 + 0{,}20 \cdot 17 = 111\ \textit{дней}.$$

В начале июня делается второе уточнение прогноза по уравнению (2.57) с использованием средней месячной температуры мая, которая составила 12,6 °С:

$$N_2 = 147 - 0{,}80 \cdot 19 - 1{,}74 \cdot 12{,}6 = 110\ \textit{дней}.$$

Аналогичные уравнения были получены для прогноза продолжительности периода посев – восковая спелость для овса и ячменя.

2.7. Методы прогноза оптимальных доз азотных удобрений под зерновые культуры

Эффективность удобрений, особенно азотных, в значительной мере определяется агрометеорологическими условиями. В первом приближении по количеству осадков за осенне-зимний период ранней весной можно определить поправки к оптимальным дозам азотных удобрений, вносимых под озимые и яровые культуры по методу А.П. Федосеева (1979).

Азот может попасть в зону деятельных корней только с водой, поэтому эффективность подкормки будет зависеть от влажности верхних слоев почвы и продолжительности периода без дождей после внесения азотных удобрений. Прогнозируются поправки к установленным оптимальным дозам удобрений, вносимых под озимые и яровые культуры в зависимости от количества осадков за осенне-зимний период.

Расчет поправок к установленным дозам азотных удобрений осуществляется по графикам в зависимости от количества выпавших осадков. Графики построены для яровых и озимых культур с учетом особенностей регионов России и сроков внесения подкормок. В качестве примера приведены рис. 2.11 – 2.12.

За критерий целесообразности дозы удобрений принималась минимальная прибавка зерна, стоимость которой окупала бы затраты на удобрения, работы по их внесению и обработку дополнительной продукции. На 10 кг действующего вещества азотных удобрений эффективная прибавка урожая для Нечерноземной зоны в среднем была более 0,2 ц/га, для Черноземной – более 0,3 ц/га зерна.

Из данных, приведенных на рисунках, следует, что с увеличением осенних и зимних осадков потребность в оптимальных дозах азота возрастает. Значительные осадки не всегда благоприятно сказываются на эффективности весенних азотных подкормок озимых по чистым парам в Нечерноземной зоне. По-видимому, в этих условиях увеличивается интенсивность полегания посевов.

При резком недостатке осадков применение азотных удобрений вообще малоэффективно (зона I, рис. 2.12).

Поправки к дозам азотных удобрений устанавливаются по количеству осадков за осенний (с августа по декаду перехода температуры воздуха через 5 °С осенью) и зимний (со следующей декады после перехода температуры воздуха через 5 °С осенью до января или ранней весны) периоды.

Поскольку сроки наступления весенних полевых работ заметно различаются по зонам, период учета осадков за холодную часть года неодинаков.

Для Нечерноземной зоны Европейской части России осадки учитываются за период до первой весенней декады со средней декадной температурой воздуха 5 °С. Для лесостепных и степных районов с выщелоченными, типичными, обыкновенными и южными черноземами, а также для юго-востока Российской Федерации осадки берутся по январь.

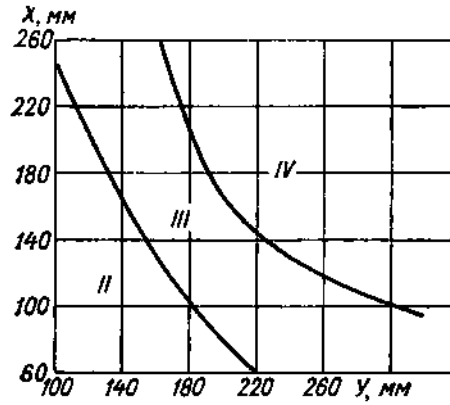


Рис. 2.11. Поправка к установленным дозам азотных удобрений под ранние яровые культуры (по фону P_{40-80}, K_{40-80}) в зависимости от количества осадков за осенне-зимний период по занятым парам и непаровым предшественникам для Нечерноземной зоны России:
X – количество осадков за период с августа до перехода средней декадной температуры воздуха через 5 ºС осенью; Y – количество осадков за период от перехода средней декадной температуры через 5 ºС осенью до перехода через 5 ºС весной; II – ниже нормы на 40–50 %, III – расчетная доза, IV – выше нормы на 40 – 60 %.

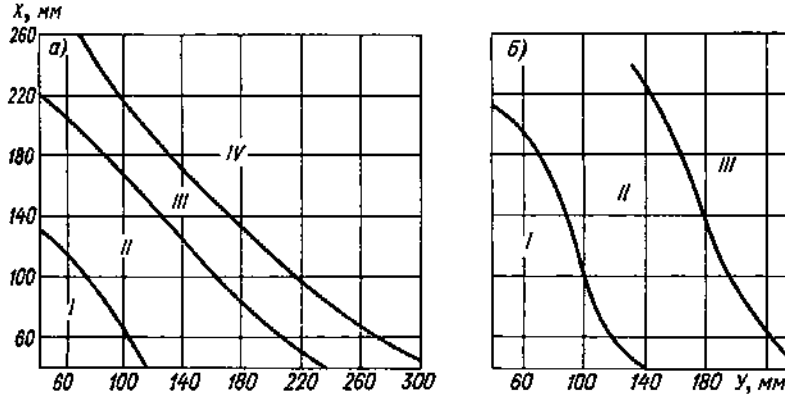


Рис. 2.12. Поправки к установленным нормам весенней азотной подкормки зерновых озимых культур в зависимости от количества осадков за осенне-зимний (по январь) период. Черноземная зона Европейской части РФ:
а) по занятым парам и непаровым предшественникам, *б*) по чистым парам и органическим удобрениям; I – низкая эффективность, II – ниже нормы на 10 – 20 кг/га, III – норма, IV – выше нормы на 20 – 30 кг/га

Если расчет доз азотных удобрений исходя из хозяйственных соображений потребуется раньше указанных сроков, то к подсчитанной сумме фактических осадков (на декаду расчета) добавляется количество осадков за две–три недостающие декады по среднему многолетнему количеству осадков или по прогнозу. Метод предназначен для отдельных хозяйств, но может быть использован и для области в целом. В последнем случае количество осадков за первый и второй периоды подсчитывается в среднем по области.

На рис. 2.11 – 2.12 показаны зоны (I – IV) различных сочетаний количества осенних и зимних осадков.

Зона III на графиках отражает условия увлажнения, при которых следует вносить принятые в данном районе (хозяйстве) средние дозы азотных удобрений или дозы, установленные в хозяйстве с учетом предшественников, агрохимических свойств почвы, состояния посевов для запланированного урожая и т. п. Если количество осенних и зимних осадков попадает в поле зоны III графика, то поправка к установленным дозам на условия увлажнения не вносится. Если количество осадков попадает в поле зоны II, то рекомендуется установленную по агрохимическим и агрономическим условиям дозу азота уменьшить на 40 – 50 %.

Если количество осадков на графике попадает в зону IV, то установленную дозу в этих условиях увлажнения необходимо увеличить на 40 – 60 % (но не выше определенного для заданного уровня урожайности верхнего предела дозы). Нижний предел поправки (40 %) применяют в том случае, если обычные для данного района или для запланированной урожайности средние дозы азотных удобрений значительны (более 60 кг / га), верхнее значение поправки (60 %) применяется, если вносимые дозы азота небольшие (20 – 60 кг / га). При недостаточном количестве осадков или когда данные попадают в поле зоны I, то заметного эффекта от внесения азотного удобрения ожидать не следует.

2.7.1. Метод учета осадков осенне-зимнего периода при установлении оптимальных доз азотных удобрений под яровые зерновые культуры

Для Нечерноземной зоны Европейской части России (Калининградская, Псковская, Новгородская, Ленинградская, Вологодская, Калининская Костромская, Ивановская, Нижегородская, Кировская, Пермская, Смоленская, Калужская, Московская, Владимирская, Рязанская, Брянская области, частично Тульская и Орловская области, Республика Коми, Республика Марий Эл, Удмуртская Республика и Республика Татарстан) учет осадков производится следующим образом.

Количество осадков подсчитывается по данным ближайшей метеостанции или поста (не далее 40 км) за два периода: 1) с первого августа

предыдущего года по декаду перехода средней декадной температуры воздуха через 5 °С осенью; 2) с последующей декады после перехода температуры воздуха через 5 °С осенью до первой весенней декады, предшествующей переходу температуры воздуха через 5°С (пример дан в табл. 2.28).

Количество осадков за первый период откладывается по вертикальной оси графиков (см. рис. 2.11), за второй период – по горизонтальной. Точка пересечения значений осадков попадает в ту или иную зону графика, по которой можно определить поправку к дозам азотных удобрений в процентах принятой нормы (по фону P_{40-60} K_{40-60}).

Пример. По данным ст. Малоярославец, первая декада октября оказалась последней декадой осени с температурой воздуха выше (или равной) 5 °С (см. табл. 2.28). С августа до этой декады выпало 158 мм осадков (первый период). Весной переход температуры воздуха через 5 °С произошел в первой декаде мая. Количество осадков от осенней декады с температурой воздуха ниже 5 °С (со второй декады октября) до декады, предшествовавшей переходу температуры воздуха через 5 °С весной (до третьей декады апреля), составило 278 мм (второй период).

Откладывая количество осадков за первый период (158 мм) по вертикальной оси графика (см. рис. 2.11), а за второй период (278 мм) – по горизонтальной оси, получаем, что точка пересечения этих значений попадает в зону IV. Следовательно, по условиям увлажнения рассчитанную для данного поля под яровую культуру (по занятым парам и непаровым предшественникам) дозу азотных удобрений следует увеличить на 40–60 %.

Таблица 2.28

Метеорологические данные ст. Малоярославец Калужской области

Показатель	Август	Сентябрь	Октябрь			Ноябрь			Декабрь
			1	2	3	1	2	3	
Температура воздуха, °С	15,6	11,1	6,8	4,2	-4,1	-4,9	1,0	-2,2	-5,7
Осадки, мм	45	78123	35	13	64	39	7	15	34
Осадки (мм) нарастающим итогом (по периодам)	–		158	–	77	116	123	138	172
Показатель	Январь	Февраль	Март			Апрель			Май
			1	2	3	1	2	3	
Температура воздуха, °С	-4,6	-9,9	-10,5	-4,6	0,3	3,8	3,6	2,3	8,6
Осадки, мм	26	14	9	9	14	0	6	28	4
Осадки (мм) нарастающим итогом (по периодам)	198	212	221	230	244	244	260	278	–

2.7.2. Метод прогноза оптимальных доз весенней азотной подкормки озимых культур

Для полного обеспечения растений элементами питания во все периоды их развития необходимо правильно сочетать различные сроки

внесения удобрений: допосевные, припосевные и послепосевные (подкормки). Весьма эффективна ранняя весенняя подкормка азотными удобрениями озимых культур.

По многолетним данным установлено, что в районах Нечерноземной зоны, а также в центральной части лесостепной зоны успешность ранневесенней подкормки озимых культур азотными удобрениями по климатическим условиям обеспечивается в 90 – 100 % случаев (лет). Далее к югу, и особенно к юго-востоку, по мере роста засушливости климата целесообразность подкормки снижается и составляет 50 – 70 % и менее.

Техника составления прогноза (рекомендации) оптимальной дозы (или вообще целесообразности) ранневесенней азотной подкормки озимых культур такая же, как и яровых.

Площади с погибшими за зиму посевами и подлежащие пересеву из рекомендаций исключаются.

2.7.3. Метод прогноза летней азотной подкормки зерновых культур

Для повышения содержания белка в зерне хлебных злаков большое значение имеют летние подкормки азотными удобрениями. Эффективность этих подкормок зависит от складывающихся метеорологических условий.

Азот может попасть в зону деятельных корней только с водой, поэтому закономерно, что эффективность подкормки будет зависеть от влажности верхних слоев почвы и продолжительности бездождного периода после внесения азотных удобрений.

Зависимость прибавки протеина $\Delta П$ от влажности почвы при летней подкормке зерновых культур описывается предложенным З.А. Шостак (1976) уравнением

$$\Delta П = 0{,}058x - 5 \cdot 10^{-6}x^3 - 0{,}55\ , \qquad (2.58)$$

где x – влажность почвы в слое 0 – 20 см во время подкормки в процентах наименьшей влагоемкости (НВ).

Эффективность летней азотной подкормки обеспечена в оптимальных условиях увлажнения при числе колосоносных стеблей больше 360 на 1 м^2. Приведенное уравнение дает возможность определять целесообразный срок подкормки в период колошение – цветение зерновых. При его применении необходимо выполнить следующие условия.

1. Летняя подкормка рекомендуется в том случае, если влажность почвы равна 50 – 80 % наименьшей влагоемкости (мягкопластичное состояние почвы). Следует иметь в виду, что осадки, выпадающие после подкормки, особенно если их количество более 20 мм за сутки, могут снизить ее эффективность.

2. Если влажность почвы составляет 25–50 %, то подкормку можно рекомендовать только в случае выпадения осадков ≥5 мм за сутки, прошедших до фазы цветения.

3. Подкормку не следует рекомендовать, если влажность почвы более 80 % (текучее состояние почвы) или менее 25 % наименьшей влагоемкости (состояние почвы твердое, сыпучее). Подкормку можно рекомендовать произвести позже (до цветения), если последующие условия погоды снизят влажность до 80 % или увеличат ее до 50 % НВ.

Рекомендации о целесообразности проведения летней азотной подкормки в зависимости от условий погоды составляются по данным о влажности почвы на дату колошения или в декаду перед колошением в пахотном (0–20 см) слое почвы. Запасы влаги выражаются в процентах наименьшей влагоемкости. Рекомендации составляют для тех полей, где число колосоносных стеблей больше 360 на 1 м^2. Примеры составления рекомендации приведены в табл. 2.29.

Таблица 2.29

Пример составления рекомендаций по учету условий погоды при определении целесообразности летней азотной подкормки зерновых культур

Станция	Тип и механический состав почвы	Дата колошения	Число стеблей колосом на 1 м^2	Наименьшая влагоемкость в слое почвы 0–20 см, мм	Продуктивная влажность в слое почвы 0–20 см, мм	Влажность почвы, проценты НВ	Содержание прогноза (рекомендации)
Йошкар-Ола, Республика Марий Эл	Дерново-подзолистая, среднесуглинистая	14/VI	280	50	30	60	Не рекомендуется из-за редкого стеблестоя
Немчиновка, Московская обл.	То же	28/V	420	60	41	68	Рекомендуется
То же	»	8/VI	360	61	24	39	Рекомендуется после дождя (≥5 мм осадков)
Ройка, Нижегородская обл.	Серая лесная, среднесуглинистая	4/VI	287	57	23	40	Не рекомендуется из-за редкого стеблестоя
То же	То же	6/VI	400	51	40	80	Рекомендуется
Воротынск, Калужская обл.	»	10/VI	385	40	18	45	Рекомендуется после дождя (≥5 мм осадков)
Ижевск, Удмуртская Республика	Дерново-подзолистая, среднесуглинистая	18/VI	396	60	29	48	То же

Допустимая ошибка прогноза (рекомендации). По данным академика Д.Н. Прянишникова, учет влияния дозы удобрений менее 10 кг/га не обеспечивается точностью полевого опыта. Пределы обычно применяемых доз азотных удобрений колеблются для яровых культур от 30 до 120 кг/га, при весенних подкормках озимых – от 20 до 90 кг/га. За допустимую ошибку прогноза при внесении небольших и умеренных доз азотных удобрений (20–60 кг/га) принято значение ±10 кг/га; при повышенных дозах (более 60 кг/га) допустимая ошибка составляет ±15 кг/га. Возможные отклонения в оптимизированных по рекомендациям дозах от фактических опытных в пределах ±(10–15) кг/га считаются допустимыми.

2.8. Методы прогноза оптимальных режимов орошения зерновых культур

В районах поливного земледелия в Поволжье и на Северном Кавказе зерновые культуры, главным образом посевы пшеницы, кукурузы и риса, возделываются на орошаемых землях. Основной особенностью климата этих районов, кроме общего дефицита осадков, является крайняя неравномерность их выпадения по годам и резкие колебания запасов влаги в почве ко времени сева и в период роста зерновых культур, что определяет необходимость приспособления к ним режима орошения. Иначе и при орошении трудно добиться получения ежегодно устойчиво высоких урожаев и избежать засоления почв.

Агрометеорологические прогнозы оптимального режима орошения зерновых культур, позволяющие учитывать режимы расходования воды на орошаемых полях и закономерности формирования урожаев культур при разных условиях погоды, различном увлажнении почвы и состоянии посевов, являются одним из важнейших видов гидрометеорологического обеспечения орошаемого земледелия.

Составляются три вида прогнозов:

1. Прогноз влагозарядковых поливов озимых зерновых культур.
2. Прогноз оптимальных оросительных норм на предстоящий период вегетации основных зерновых культур.
3. Прогноз оптимальных сроков и норм полива основных зерновых культур.

2.8.1. Метод прогноза влагозарядковых поливов озимых культур

Прогноз составляется за один–полтора месяца до сева озимых культур, в нем даются ожидаемые нормы и даты влагозарядковых посевов (Разумова Л.А., Мещанинова Н.Б., 1984).

Норма влагозарядковых поливов N рассчитывается как разность между наименьшей влагоемкостью промачиваемого слоя почвы W_0 и запасами продуктивной влаги, имеющимися в этом слое почвы перед началом полива W_1:

$$N = W_0 - W_1. \quad (2.59)$$

Наименьшая влагоемкость почвы берется по данным фактического определения. Если таких определений не проводилось, то влагоемкость метрового слоя тяжелых почв (глинистых и суглинистых) принимается равной 170–180 мм продуктивной влаги, двухметрового слоя – 340–350 мм; влагоемкость метрового слоя легких почв (супесчаных и легкосуглинистых) составляет 150–160 мм, двухметрового слоя – 260–280 мм. Даты оптимальных и предельно поздних сроков сева озимых, а следовательно, и даты оптимальных и предельно поздних сроков производства поливов рассчитываются с использованием уравнения связи:

$$n = \frac{\sum t}{t - 5\,°C}, \quad (2.60)$$

где n – продолжительность периода (сутки) от даты сева до наступления оптимального (3–4 побега) или удовлетворительного (1 побег) кущения озимых; $\sum t$ – сумма эффективных температур, необходимая от даты сева до оптимального или удовлетворительного кущения, °С; t – средняя суточная температура воздуха за эти же периоды, °С.

Поскольку влагозарядковые поливы обеспечивают хорошее увлажнение почвы под озимые, то при расчете величины n (продолжительность периода) используются константы А.А. Шиголева. Сумма эффективных температур (величина $\sum t$), необходимая для прохождения периода посев – появление первого побега кущения, равна 119 °С для ржи и 134 °С – для пшеницы.

Для обеспечения хорошего качества сева озимых необходимо, чтобы между поливом и началом сева прошел некий отрезок времени (примерно 5–10 дней), в течение которого почва успела бы «сбросить» избыток воды, подсохнуть сверху и быть годной к обработке. Оптимальные и предельно поздние влагозарядковые поливы назначаются на 5–10 дней раньше, чем оптимальные и предельно поздние даты сева.

Влажность почвы, ожидаемая ко времени производства влагозарядковых поливов озимых культур, рассчитывается по уравнениям, приведенным в табл. 2.30 и 2.31.

При расчетах в качестве исходных величин используются влагозапасы, полученные при определении влажности почвы на полях, предназначенных под посев озимых в декаду, предшествующую составлению прогноза.

Если поля, на которых предполагается производить влагозарядковые поливы, находились под зерновыми культурами (например, под яровой пшеницей) или под травами, то для расчетов изменений запасов влаги в почве до созревания и уборки этих культур используется уравнение (2.61), после уборки – уравнение (2.62). Причем при наступлении фазы восковой спелости в первую половину декады расчет по формуле (2.61)

заканчивается этой декадой, при наступлении восковой спелости во вторую половину декады расчет по формуле (2.61) продолжается и в следующую декаду. Если поля, где предполагается проводить влагозарядковый полив, находились под поздними яровыми пропашными культурами (например под кукурузой), то до момента их уборки используются уравнения (2.64) и (2.65) в зависимости от фазы развития, а после уборки – уравнение (2.65).

Для экономии времени вместо указанных уравнений при расчетах изменений влагозапасов удобнее пользоваться составленными на их основе расчетными графиками (Разумова Л.А., Мещанинова Н.Б., 1977).

Таблица 2.30

Изменение запасов продуктивной влаги (мм) в метровом слое почвы к концу декады (y) в зависимости от запасов влаги (мм) в метровом слое почвы к началу декады (x_1), средней декадной температуры воздуха (x_2, °С), суммы осадков (мм) в расчетную декаду (x_3) при произрастании зерновых в богарных условиях

Период вегетации	Уравнение связи	Номер уравнения
Формирование зерна яровых (цветение – восковая спелость)	$y = -0{,}229x_1 - 1{,}72x_2 + 1{,}08x_3 + 23{,}3$	(2.61)
После уборки яровых (зябь)	$y = -0{,}076x_1 - 0{,}36x_2 + 0{,}74x_3 + 1{,}3$	(2.62)
Чистый пар	$y = -0{,}063x_1 - 0{,}79x_2 + 0{,}67x_3 + 13{,}0$	(2.63)

Таблица 2.31

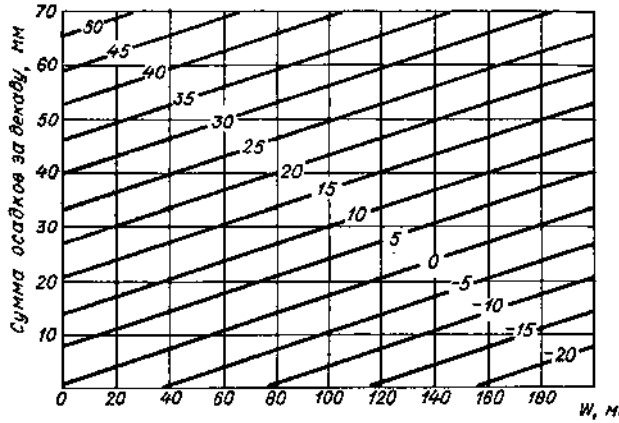
Зависимость запасов продуктивной влаги (мм) в метровом слое почвы к концу декады (y) от запасов влаги (мм) в слое почвы 0–100 см к концу предшествующей декады (x_1), средней декадной температуры воздуха (x_2, °С), суммы осадков (мм) в расчетную декаду (x_3) при произрастании кукурузы в богарных условиях

Период вегетации	Уравнение связи	Номер уравнения
От выметывания метелки до молочной спелости	$y = 0{,}74x_1 - 3{,}06x_2 + 0{,}57x_3 + 60{,}0$	(2.64)
От молочной спелости до полной спелости	$y = 0{,}076x_1 - 0{,}66x_2 + 0{,}62x_3 + 9{,}0$	(2.65)

На рис. 2.13 представлен расчетный график, построенный на основе уравнения (2.61). На графике по оси абсцисс отложены запасы продуктивной влаги W к началу расчетного периода, а по оси ординат – сумма осадков за декаду; наклонные линии в поле графика – соответствующие им изменения запасов влаги за декаду.

Подобные графики могут быть построены для каждого уравнения связи, приведенного в табл. 2.30 и 2.31.

Рассчитав по уравнениям или по графикам ожидаемые ко времени производства влагозарядковых поливов запасы продуктивной влаги в



Поправки ΔW для слоя почвы 0 – 100 см на температуру воздуха t:

t, °С	5 – 7	8 – 12	13 – 15	16 – 19	
ΔW, мм	...	1	0	-1	-2

Рис. 2.13. Изменение запасов продуктивной влаги W за декаду в слое почвы 0 – 100 см в период формирования всходов и листьев (1 – 3) яровых культур в богарных условиях

метровом слое почвы (зная его влагоемкость), находят ту норму полива (м^3/га), которую нужно дать на поле, чтобы промочить почву на глубину не менее 1 м (норма полива – это количество воды, подаваемое на 1 га орошаемой площади за один полив).

При наличии соответствующих данных нормы влагозарядковых поливов могут быть рассчитаны и для промачивания почвы на большую глубину (2 м и более).

2.8.2. Метод прогноза норм орошения на предстоящий период вегетации основных зерновых культур (Разумова Л.А., Мещанинова Н.Б., 1984)

Прогноз составляется ранней весной, как только становятся известными весенние запасы влаги в почве. Оросительные нормы N рассчитываются как разность между суммарными расходами влаги, обеспечивающими получение заданных урожаев Q, и суммарными расходами влаги в естественных условиях увлажнения Q_1:

$$N = Q - Q_1 . \qquad (2.66)$$

Суммарные расходы влаги в естественных условиях увлажнения определяются как количество влаги, используемое посевами из метрового

слоя почвы за период посев – массовое наступление восковой спелости $W_1 - W_2$, плюс выпавшие за это время осадки P:

$$Q_1 = (W_1 - W_2) + P. \quad (2.67)$$

Основой составления прогнозов являются: 1) зависимость урожаев зерновых культур от используемого ими в период вегетации количества воды, т.е. от суммарных расходов влаги; 2) запасы продуктивной влаги в почве, имеющиеся на полях текущей весной; 3) суммарные расходы влаги в естественных условиях увлажнения.

Для расчета зависимости урожаев (y) зерновых культур от суммарных расходов воды в период вегетации (x) получен ряд уравнений. Ниже приведен пример подобного уравнения для кукурузы и условий Северного Кавказа и Поволжья:

$$y = 0{,}19x + 20{,}0. \quad (2.68)$$

При расчете оптимальных оросительных норм за максимально высокий урожай зерна культуры принимается средний из максимальных урожаев.

Ко времени составления прогноза оросительных норм известны лишь запасы продуктивной влаги в почве. Расхождение оросительной нормы текущего года с многолетней средней нормой равно разности запасов продуктивной влаги метрового слоя почвы в текущем году и средних многолетних запасов. При наличии прогноза погоды вносится соответствующая поправка на ожидаемые осадки. Для прогноза оросительных норм используется следующее уравнение:

$$N_1 = N_0 - (W_1 - W_0) - (P_1 - P_0), \quad (2.69)$$

где N_1 – ожидаемая в текущем году оросительная норма для получения запланированного урожая; N_0 – средняя многолетняя оросительная норма, необходимая для получения этого урожая; W_1 – запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы текущей весной; W_0 – средние многолетние запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы на эту же дату; P_1 – сумма осадков, ожидаемая за период от посева до массового наступления восковой спелости в текущем году; P_0 – сумма осадков за этот же период по многолетним данным; все величины выражены в миллиметрах.

В табл. 2.32 представлен пример составления прогноза норм орошения яровой пшеницы и кукурузы при наличии средних многолетних агро- и метеорологических данных по конкретному периоду на конкретном поле.

В районе метеостанции А (Саратовская обл.), для которой проводится расчет, количество поливной воды не всегда оказывается достаточным. Поэтому прогноз оросительных норм составляется для двух уровней планируемых урожаев: высоких (35 ц/га зерна, яровой пшеницы и 70 ц/га кукурузы) и средних (25 ц/га пшеницы и 50 ц/га кукурузы). По многолетним данным запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы ко времени сева яровой пшеницы составляют 109 мм, ко времени массового наступления восковой спелости они равны 3 мм. Следовательно, яровая

пшеница за период вегетации в средний по метеорологическим условиям год расходует из почвы 106 мм воды (109 – 3). Многолетнее среднее количество осадков за этот период в районе метеостанции А составляет 86 мм. Таким образом, средние многолетние суммарные расходы влаги, обусловленные естественными условиями увлажнения, равны 192 мм (106 + 86) или 1920 м^3/га. Отсюда средняя многолетняя оросительная норма для получения высокого урожая яровой пшеницы (35 ц/га) составляет 2280 м^3/га (4200 – 1920), т. е. является оптимальной, а для получения среднего урожая (25 ц/га) – 1280 м^3/га (3200 – 1920).

Таблица 2.32

Пример составления прогноза норм орошения яровой пшеницы и кукурузы

Оросительные нормы	Запасы продуктивной влаги (мм) в слое почвы 0–100 см на дату		Суммарные расходы влаги (мм) в условиях естественного увлажнения				Оросительные нормы (м^3/га), обеспечивающие получение урожая	
	сева	восковой спелости	из почвы	за счет осадков	всего		высокого	умеренного
					мм	м^3/га		
Яровая пшеница								
Средние многолетние	109	3	106	86	192	1920	2280	1280
Ожидаемые по прогнозу	133	3	130	86	216	2160	2040	1040
Ожидаемые по уточненному прогнозу	125	3	122	86	208	2080	2120	1120
Кукуруза								
Средние многолетние	96	20	76	114	190	1900	2850	1800
Ожидаемые по прогнозу	129	20	109	114	223	2230	2520	1470
Ожидаемые по уточненному прогнозу	123	20	103	114	217	2170	2680	1530

В текущем году запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы ко времени сева яровой пшеницы ожидаются равными 133 мм. Если метеорологические условия на ближайшее время предполагаются близкими к норме, то можно считать, что наиболее вероятные суммарные расходы влаги в предстоящее лето составят 2160 м^3/га (133 – 3 + 86 = 216 мм, 2160 м^3/га), т. е. будут на 240 м^3/га больше средних многолетних.

Поскольку в текущем году естественные условия увлажнения ожидаются на 240 м^3/га больше средних многолетних, то необходимая для получения того или иного урожая наиболее вероятная оросительная норма в текущем году будет на эту же величину (240 м^3/га) меньше средней многолетней. Для получения урожая пшеницы 35 и 25 ц/га она составит соответственно 2040 и 1040 м^3/га.

28 апреля на поле № 3 перед посевом пшеницы было проведено определение влажности почвы: фактические запасы продуктивной влаги составили не 133 мм, как предполагалось, а на 8 мм меньше. Следовательно,

необходимые для получения запланированных урожаев оросительные нормы должны быть на 80 м^3/га больше. При введении этой поправки находим, что по уточненному прогнозу наиболее вероятная оросительная норма для получения высокого урожая яровой пшеницы составит 2120 м^3/га (2040 + 80), а для получения умеренного урожая – 1120 м^3/га (1040 + 80).

Оросительные нормы под кукурузу при наличии многолетних агро- и метеорологических данных рассчитываются аналогично приведенному примеру с использованием уравнения (2.60). Данные расчета представлены в табл. 2.29.

Описанным способом составляются прогнозы оптимальных оросительных норм под зерновые культуры по всем пунктам, которые расположены на обслуживаемой территории. Затем производится их обобщение.

2.9. Методы прогноза урожайности и валового сбора основных сельскохозяйственных культур

В системе оперативного агрометеорологического обеспечения сельского хозяйства особая роль отводится прогнозам урожайности и валового сбора основных сельскохозяйственных культур. К началу 1990-х гг. в системе Росгидромета использовался комплекс методов прогнозов урожайности, разработанных в основном в рамках статистического направления. Они отличаются друг от друга методической основой, набором исходной информации, масштабом территории и технологией составления прогноза. Эти методы были внедрены в оперативную практику обеспечения сельскохозяйственного производства, а их описание приведено в Руководстве по прогнозам (Руководство по агрометеорологическим прогнозам, 1984). В дальнейшем разработка новых статистических методов прогнозов урожайности проводилась в основном в отделе агрометеорологических прогнозов ФГБУ «Гидрометцентр России» и ФГБУ «ВНИИСХМ». В качестве примера приведем некоторые из них.

2.9.1. Метод прогноза урожайности озимой пшеницы (Уланова Е.С., 1984, 1994)

Озимая пшеница является одной из важнейших продовольственных культур. Основные ее площади расположены в районах плодородных черноземных почв. Она дает более высокую урожайность, чем ранние яровые зерновые культуры.

В связи с тем, что основные площади озимой пшеницы расположены в зонах неустойчивого и недостаточного увлажнения, в которых колебания урожайности по годам достаточно велики, первостепенное значение имеют прогнозы ее урожайности и валового сбора. Прогнозы составляются

после возобновления вегетации озимой пшеницы весной (трехмесячная заблаговременность) и уточняются в период фаз выхода в трубку и колошения (двухмесячная и месячная заблаговременности).

Одним из основных агрометеорологических прогнозов является прогноз урожайности озимой пшеницы по областям, краям, республикам. Для составления этих прогнозов разработан метод, содержащий количественные прогностические зависимости урожайности озимой пшеницы от главных инерционных факторов. Главными инерционными факторами для урожайности озимой пшеницы являются число общих стеблей на 1 м^2 весной и в фазу выхода в трубку (начало роста стебля), число колосоносных стеблей в фазу колошения, высота озимой пшеницы в фазу колошения, число колосков в колосе, запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы весной и в последующие периоды вегетации. Зависимости выражены уравнениями многофакторных связей:

для Северного Кавказа (после весеннего обследования)

$$y = -21,14 + 0,31x_1 - 7 \cdot 10^{-4} x_1^2 + 0,023x_2 - 8 \cdot 10^{-6} x_2^2, \qquad (2.70)$$

где y – средняя областная урожайность, ц/га; x_1 – средние по области запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы в декаду весеннего обследования, мм; x_2 – среднее по области число стеблей озимой пшеницы на 1 м^2 на дату весеннего обследования.

Уточнение прогноза производится в фазу выхода в трубку:

$$y = -35,75 + 0,55x_1 - 0,0017x_1^2 + 0,03x_2 - 9 \cdot 10^{-6} x_2^2, \qquad (2.71)$$

где x_1 – средние по области запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы в декаду выхода в трубку, мм; x_2 – среднее по области число стеблей на 1 м^2 в эту фазу.

Следующее уточнение прогноза производится в декаду колошения и рассчитывается в зависимости от средних запасов влаги в эту декаду x_1, числа колосоносных стеблей на 1 м^2 x_2, средней высоты стебля (соломины) x_3 (см) и среднего числа колосков в колосе в фазу колошения x_4^2:

$$y = -19,92 + 0,29x_1 - 0,0013x_1^2 + 0,045x_2 - 3 \cdot 10^{-5} x_2^2 + 0,23x_3 - 14 \cdot 10^{-5} x_3^2 - \\ - 0,805x_4 + 0,057x_4^2. \qquad (2.72)$$

Усовершенствование метода прогноза урожайности озимой пшеницы.

Названные методы в основном имели хорошую оправдываемость, однако в резко аномальные годы по ряду областей ошибки оказывались значительными. В связи с этим, а также в связи с введением новых сортов озимой пшеницы и использованием интенсивной технологии возделывания, повышающей урожайность, возникла необходимость в усовершенствовании метода прогноза урожайности озимой пшеницы (Е.С. Уланова, 1994) .

При исследовании влияния агрометеорологических условий на урожайность озимой пшеницы ранее были определены главные инерционные и другие агрометеорологические факторы, оказывавшие наибольшее влияние. Значительное влияние оказывают также осадки и температура мая и июня.

При усовершенствовании метода прогноза урожайности озимой пшеницы были определены комплексные показатели увлажнения (K) и биомассы озимой пшеницы ($K_{бмк}$):

$$K_1 = \frac{W_{в.о.} + \sum R_{в.о.-к.}}{0,01 \sum t_{в.о.-к.}}; \quad K_2 = \frac{W_{в.о.} + \sum R_{V-VI}}{0,01 \sum t_{V-VI}}; \quad K_{бмк} = 0,0001 r_{кск} \cdot h_к \cdot r_{ркк}.$$

Также было проведено исследование по влиянию других комплексных показателей увлажнения и продуктивности на урожайность озимой пшеницы и установлена статистическая связь между ними:

$$K_{y_1} = \frac{W_{к_{IV}} + \sum R_{V-VI}}{0,01 \sum t_{V-VI}}; \quad K_{y_2} = \frac{W_{к_V} + \sum R_{VI}}{0,01 \sum t_{V-VI}}; \quad K_{пк} = 0,0001 r_{кск} \cdot r_{ркк}.$$

где K_1, K_2, K_{y_1}, K_{y_2} – коэффициенты увлажнения за различные периоды вегетация озимой пшеницы; $K_{бмк}$ – коэффициент биомассы озимой пшеницы; $K_{пк}$ – коэффициент продуктивности озимой пшеницы; $W_{в.о.}$ – запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы в декаду весеннего обследования озимой пшеницы; $\sum R_{в.о.-к.}$ – сумма осадков (мм) от весеннего обследования до колошения; $\sum t_{в.о.-к.}$ – сумма температур от весеннего обследования до колошения; $\sum R_{V-VI}$ – сумма осадков за май–июнь; $\sum t_{V-VI}$ – сумма температур за май–июнь; $\sum R_{VI}$ – сумма осадков за июнь; $W_{к_{IV}}$ – запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы на конец апреля (мм); $W_{к_V}$ – запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы на конец мая (мм); $r_{кск}$ – число колосоносных стеблей на 1 м^2 в фазу колошения; $h_к$ – высота озимой пшеницы в фазу колошения; $r_{ркк}$ – число развитых колосков в колосе озимой пшеницы в фазу колошения.

При расчете матриц тесноты связи урожайности озимой пшеницы с названными агрометеорологическими факторами и ее элементами продуктивности были получены следующие выводы.

Для Северо-Кавказского региона наивысшие корреляционные отношения (η) связи средней областной (краевой) урожайности озимой пшеницы получены с комплексными показателями биомассы озимой пшеницы $K_{бмк}$ (η = 0,84), с комплексными показателями увлажнения K_1 и K_2 (η = 0,78 , ... , 0,81), с запасами продуктивной влаги в метровом слое почвы весной, в фазу выхода в трубку и колошения (η = 0,71 , ... , 0,79), с высотой растений в фазу колошения $h_к$ (η = 0,80). С гидротермическими коэффициентами за май–июль (отдельно) и в среднем за май–июнь, май–июль корреляционные отношения составили 0,44–0,56 , с суммами осадков за май–июль 0,52–0,62, с температурой воздуха за май–июль 0,43–0,59.

Для Поволжского региона анализ матриц показал тесную связь урожайности озимой пшеницы с количеством осадков, температурой воздуха и гидротермическими коэффициентами за май и июнь в отдельности и в среднем за май–июнь (η = 0,72, ..., 0,81), с показателями увлажнения K_1 и K_2 (η = 0,66, ..., 0,76), с запасами продуктивной влаги в метровом слое почвы весной и в фазу выхода озимой пшеницы в трубку, с суммой осадков за период от выхода в трубку до колошения (η = 0,66, ..., 0,75), с продолжительностью периода от возобновления вегетации весной до колошения (η = 0,72), с числом колосоносных стеблей, высотой озимой пшеницы, числом развитых колосков в колосе и комплексным показателем биомассы озимой пшеницы (η = 0,55, ..., 0,79).

В Центрально-Черноземных областях связи урожайности с агрометеорологическими факторами проявляются слабее, чем в Поволжье и на Северном Кавказе.

На основании анализа матриц было установлено, что наиболее тесные связи урожайности озимой пшеницы наблюдаются со средней высотой стеблей озимой пшеницы, числом развитых колосков в колосе в фазу колошения, суммой осадков и средней температурой воздуха за период от выхода в трубку до колошения (η = 0,80, ..., 0,82), с комплексным показателем биомассы (η = 0,72), с запасами продуктивной влаги в метровом слое почвы весной, показателем увлажнения K_2, суммой осадков, средней температурой за май, ГТК$_{V-VI}$ (η = 0,60, ..., 0,70).

В Поволжье и Центрально-Черноземных областях вегетация озимой пшеницы весной начинается позднее, чем на Северном Кавказе. Поэтому здесь используются комплексные показатели K_{y_1}, K_{y_2}, в которые входят величины запасов влаги на конец апреля и на конец мая.

Наряду с комплексными агрометеорологическими показателями для учета роста культуры земледелия при интенсивной технологии возделывания в прогностические уравнения был введен предиктором номер года по тренду, отражающий рост урожайности озимой пшеницы по годам (N). Поскольку тенденции роста урожайности по годам в каждой области (крае) разные, прогностические уравнения были определены отдельно для каждой области и края. В прогностических уравнениях номер года по тренду за 1960 год был принят за единицу ($N_{1960\text{ г.}}$ = 1). Таким образом, предиктор – номер года по тренду – был введен в уравнения по областям как показатель роста культуры земледелия и использования интенсивной технологии.

Примеры прогностических уравнений с различными комплексными показателями двухмесячной заблаговременности (табл. 2.33) и месячной заблаговременности (табл.2.34) позволяют рассчитывать ожидаемую урожайность зерна озимой пшеницы до «доработки». Для этого по каждому субъекту были получены статистические уравнения связи типа $y = a + вx$

урожайности озимой пшеницы до доработки (x) с ее урожайностью после доработки (y). По уравнениям (табл. 2.35) проводят пересчет ожидаемой урожайности до доработки, полученной по прогностическим уравнениям (2.65 – 2.70), в урожайность после доработки.

Таблица 2.33

Уравнения регрессии для прогноза средней областной урожайности озимой пшеницы с двухмесячной заблаговременностью

Территория	Уравнения	Номер уравнения	R	S_y, ц/га
Краснодарский край	$Y = -5{,}07 + 0{,}238\,W_T - 0{,}694 \cdot 10^{-3}\,W_T^2 + 0{,}179 \cdot 10^{-2} r_{CT} + 0{,}341 \cdot 10^{-5} r_{CT}^2 + 1{,}835\,\text{ГТК}_V + 0{,}157\,\text{ГТК}_V^2 + 0{,}704\,N - 0{,}007\,N^2$	(2.73)	0,76	±4,5
Ставропольский край	$Y = 1{,}66 - 0{,}116\,W_T + 0{,}114 \cdot 10^{-2}\,W_T^2 - 0{,}022 \cdot 10\,r_{CT} + 0{,}193 \cdot 10^{-4} r_{CT}^2 + 29{,}997\,\text{ГТК}_V - 11{,}67\,\text{ГТК}_V^2 - 0{,}061\,N + 0{,}953 \cdot 10^{-2}\,N^2$	(2.74)	0,79	±4,3
Белгородская область	$Y = 4{,}34 - 0{,}001\,W_T + 0{,}5 \cdot 10^{-4}\,W_T^2 - 0{,}006 \cdot r_{CT} + 0{,}1 \cdot 10^{-4} r_{CT}^2 + 8{,}132\,\text{ГТК}_V - 1{,}65\,\text{ГТК}_V^2 + 0{,}892\,N - 0{,}012\,N^2$	(2.75)	0,86	±4,2

Примечания: Y – средняя областная урожайность озимой пшеницы (ц/га); W_T – запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы в фазу выхода в трубку (мм); r_{CT} – общее число стеблей в фазу выхода в трубку на 1 м²; $ГТК_V$ – гидротермический коэффициент за май; N – порядковый номер года; (ц/га); R – коэффициент множественной корреляции; S_Y – ошибка уравнения (ц/га);

Таблица 2.34

Уравнения регрессии для прогноза средней областной урожайности озимой пшеницы с месячной заблаговременностью

Территория	Уравнения	Номер уравнения	R	S_y, ц/га
Краснодарский край	$Y = -11{,}17 + 0{,}227\,K_1 + 0{,}246 \cdot 10^{-2} K_1^2 + 1{,}013 \cdot K_{бмк} - 0{,}607 \cdot 10^{-2} K_{бмк}^2 + 0{,}518\,N - 0{,}386 \cdot 10^{-2} N^2$	(2.76)	0,79	±4,1
Ставропольский край	$Y = 24{,}11 + 1{,}723\,K_1 - 0{,}020\,K_1^2 - 1{,}047 \cdot K_{пк} + 0{,}615 \cdot 10^{-2} K_{пк}^2 + 0{,}378\,N - 0{,}423 \cdot 10^{-2} N^2$	(2.77)	0,80	±4,1
Белгородская область	$Y = -26{,}743 + 2{,}285\,K_{y_2} - 0{,}040\,K_{y_1}^2 + 0{,}141 \cdot K_{бмк} - 0{,}0001\,K_{бмк}^2 + 1{,}4148\,N - 0{,}035\,N^2$	(2.78)	0,92	±3,1

Таблица 2.35

Уравнения регрессии для пересчета урожайности (ц/га) озимой пшеницы до доработки (x) в урожайность (ц/га) после доработки (y)

Субъект	Коэффициент		R	S_y
	a	b		
Краснодарский край	-0,1537	0,9764	0,9988	0,3745
Ставропольский край	-0,0892	0,9693	0,9993	0,2596
Белгородская область	-0,5152	0,9221	0,9976	0,4971

Фактический сбор урожая во время уборки учитывается *в первоначально оприходованном весе (бункерный вес, вес до доработки)*. *Вес зерна после доработки* – вес зерна после очистки зерна и приведения к стандартной влажности (для пшеницы и ржи – 14 %).

Аналогичные статистические методы прогнозов урожайности разработаны для озимой ржи.

Пример составления прогноза.

Первый прогноз урожайности и валового сбора озимой пшеницы составляется после выхода растений в трубку (начало роста стебля) примерно с двухмесячной заблаговременностью до созревания. Уточнение прогноза или окончательный прогноз урожайности и валового сбора составляется после наступления фазы колошения озимой пшеницы примерно с месячной заблаговременностью до созревания.

После проведения всех расчетов составляется текст прогноза, в котором дается оценка условий формирования урожая в весенне-летний период. В первом прогнозе кратко освещаются результаты перезимовки озимой пшеницы и ее состояние весной. В прогнозах приводится рассчитанная ожидаемая урожайность озимой пшеницы в текущем году (ц/га) в сравнении с урожайностью за прошлый год и со средней за последнее пятилетие.

Для расчета ожидаемой урожайности необходимо иметь данные о состоянии озимой пшеницы, запасах продуктивной влаги в метровом слое почвы, суммах осадков и температуре воздуха за прошедший и будущий периоды.

Расчет средней краевой урожайности озимой пшеницы по Краснодарскому краю с месячной заблаговременностью (в фазу колошения) производится по прогностическому уравнению (2.76). В этом уравнении используются комплексные показатели K_1 и $K_{бмк}$, а также порядковый номер года по тренду (N).

Вычислим показатель увлажнения:

$$K_1 = \frac{W_{в.о.} + \sum R_{в.о.-к.}}{0{,}01 \sum t_{в.о.-к.}} = \frac{163 + 86}{0{,}01 \cdot 787} = 31{,}6;$$

$W_{в.о.}$ – средние по территории края запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы в декаду весеннего обследования озимой пшеницы оказались равными 163 мм; $\sum R_{в.о.-к}$ – средняя по краю сумма осадков от весеннего обследования до колошения равна 86 мм; $\sum t_{в.о.-к}$ – средняя по краю сумма температур от весеннего обследования до колошения равна 787 °С;

В фазу колошения число колосоносных стеблей ($r_{кск}$) в среднем по краю составляло 841 на 1 м^2, высота озимой пшеницы ($h_к$) – 73 см, среднее число развитых колосков в колосе ($r_{ркк}$) – 17.

Показатель биомассы озимой пшеницы $K_{бмк} = 0{,}0001\, r_{кск} \cdot h_к \cdot r_{ркк} = 0{,}0001 \cdot 841 \cdot 73 \cdot 17 = 104{,}4$.

N – порядковый номер 1988 года – равен 29 (при N_{60} = 1).

По уравнению (2.68) табл. 2.33, используя полученные данные, можно рассчитать урожайность озимой пшеницы в среднем по Краснодарскому краю в 1988 г.:

$$Y = -11{,}17 - 0{,}227 \cdot 31{,}6 + 0{,}00243 \cdot (31{,}6)^2 + 1{,}013 \cdot 104{,}4 - 0{,}00607 \cdot (104{,}4)^2 + \\ + 0{,}518 \cdot 29 - 0{,}00386 \cdot (29)^2 = 35{,}5 \text{ ц/га}.$$

Фактическая урожайность озимой пшеницы в 1988 г. в среднем по этой территории составила 37,5 ц/га.

Абсолютная ошибка равна 2 ц/га при 0,67 σ = 3,95 ц/га. Относительная ошибка прогноза $P = \frac{35{,}5 - 37{,}5}{37{,}5} \cdot 100 = 5{,}3\,\%$.

Оправдываемость прогноза урожайности озимой пшеницы в доработанном весе в среднем по Краснодарскому краю в 1988 г. составила 95 %.

Используя табл. 2.35, проведем пересчет ожидаемой урожайности до доработки (x) в урожайность после доработки (y) по уравнению

$$y = -0{,}1537 + 0{,}9764x = -0{,}1537 + 0{,}9764 \cdot 35{,}5 = 34{,}5 \text{ ц/га}.$$

Фактическая урожайность после доработки была в 1988 г. 36,3 ц/га. Относительная ошибка прогноза составила 4,9 %. Оправдываемость прогноза урожайности озимой пшеницы равна 95,1 %.

2.9.2. Метод прогноза урожайности яровой пшеницы (Плучик С.Л., 1994)

Поволжский и Уральский регионы занимают ведущее место в производстве зерна яровой пшеницы. Характерной особенностью территории, особенно районов Нижнего и Среднего Поволжья, а также Южного Урала, где высеваются высокобелковые сорта сильной и твердой яровой пшеницы, являются плодородные черноземные почвы, континентальность климата, обилие солнечного света и тепла. Однако дефицит осадков, наблюдаемый особенно в весенний период и в первую половину лета, ограничивает возможность получения высоких и устойчивых урожаев, поэтому колебания урожайности яровой пшеницы от года к году в большинстве исследуемых районов значительные.

В этих регионах основными факторами, определяющими формирование урожайности яровой пшеницы, являются условия тепло- и влагообеспеченности посевов в течение всего периода вегетации.

В мае и июне у яровой пшеницы интенсивно развивается корневая система, происходит накопление вегетативной массы за счет роста стеблей и листьев, а также закладываются и формируются элементы продуктивности колоса. В этот период особенно важен учет условий влагообеспеченности посевов. При недостатке влаги в период сева уже с самого

начала вегетации густота растений оказывается изреженной. Определяющим интегральным фактором будущей урожайности считаются запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы в период сева. Наиболее тесная связь урожайности яровой пшеницы с этим показателем наблюдается в областях южной половины Поволжского и Уральского регионов. Уже в самом начале развития (в период формирования узловых корней) дефицит осадков и высокие температуры ведут к задержке фазы кущения и уменьшают продуктивность колоса. В период же формирования колоса недостаток влаги ведет к резкому сокращению заложенных колосков в колосе, в результате снижается урожайность. Из-за недостатка влаги в почве к началу сева и дефицита осадков за большую часть вегетационного периода суммарные расходы влаги с полей яровой пшеницы оказываются значительно меньше обычных. Потребность же растений во влаге вследствие высоких температур и большой сухости почвы повышена. Связь между урожайностью яровой пшеницы в областях и республиках Поволжского и Уральского регионов и количеством осадков за май характеризуется коэффициентом корреляции от 0,30 до и 0,58 и за июнь от 0,43 до 0,60. Более тесная связь наблюдается между урожайностью и дефицитом влажности воздуха (d). Отрицательное влияние высоких дефицитов влажности воздуха на урожайность прослеживается в южной половине исследуемых регионов, где r = -0,40 ... -0,73. На остальной территории r = -0,28 ... -0,67. Лишь в Свердловской, Пермской областях и в Удмуртской Республике связь урожайности яровой пшеницы с дефицитом влажности воздуха за май положительна (r = 0,38 ... 0,62). Здесь в большинстве исследуемых лет в этот период наблюдался умеренный температурный режим с достаточным количеством осадков.

Не менее тесная обратно пропорциональная связь прослеживается и между урожайностью яровой пшеницы и комплексным показателем засушливости (P) Д.А. Педя. Этот показатель $P = \frac{\Delta T}{\sigma_T} - \frac{\Delta R}{\sigma_R} - \frac{\Delta W}{\sigma_W}$ учитывает алгебраическая сумма нормированных на σ аномалий температуры (ΔT), осадков (ΔR) и запасов продуктивной влаги (ΔW) в метровом слое почвы. Связь характеризуется коэффициентами корреляции -0,42 ... -0,65. В отличие от $ГТК$ показатель засушливости (P) учитывает как атмосферную, так и почвенную засуху.

Исследования показали, что наряду с учетом тепло- и влагообеченности мая и июня для формирования урожайности яровой пшеницы существенное значение имеют и погодные условия предшествующих зимы и первой половины весны. При хорошем увлажнении почвы к началу проведения весенних полевых работ и сева, если в дальнейшем не ожидается неблагоприятных погодных условий, урожайность яровой пшеницы будет достаточно высокой.

В прогностических зависимостях используется показатель увлажнения на конец мая (K_V), предложенный Н.В. Гулиновой, характеризующий отношение суммы осадков за осенне-зимний период (R_1 за ноябрь – март) с коэффициентом 0,5 и за весенний период (R_2 за апрель – май) к сумме дефицита влажности воздуха за весенний период (d – за апрель – май) с коэффициентом 0,5 $\left(K_V = \frac{0,5R_1 + R_2}{0,5\sum d}\right)$. Связь урожайности с показателем увлажнения на конец мая (K_V) характеризуется коэффициентом корреляции 0,16 ... 0,60. В Свердловской, Пермской областях в Удмуртской Республике связь обратно пропорциональная (r = -0,22 ... -0,49).

В июле у яровой пшеницы происходит формирование и налив зерна за счет передвижения пластических веществ из стеблевой части в колос. Расходование влаги на транспирацию снижается. В этот период наибольшее значение приобретает температурный режим, который определяет скорость развития и общее состояние посевов. Оптимальная температура воздуха в период цветения, налива и созревания зерна 20 – 24 °С.

При температуре 25 °С и выше наблюдается торможение ассимиляционных процессов, повреждаются органы цветка, что вызывает стерильность большого количества цветков, вследствие чего образуется череззерница и пустоколосица. В период же налива зерна высокая температура вызывает преждевременную спелость и щуплость зерна. В результате снижается урожайность. Связь урожайности яровой пшеницы с температурой июля обратно пропорциональна. Чем выше температура, тем меньше формируется зерен, а зерно оказывается более щуплым (r = -0,37 ... -0,72).

Для областей с более устойчивой урожайностью комплексный учет уровня культуры земледелия и агрометеорологических условий определяется связью средней областной урожайности яровой пшеницы текущего года с урожайностью яровой пшеницы за предшествующие три года.

Полученные прогностические зависимости позволяют с месячной и двухмесячной заблаговременностью, а при надежном прогнозе погоды и с трехмесячной заблаговременностью рассчитать ожидаемую урожайность яровой пшеницы для групп областей Поволжского и Уральского регионов.

Прогностические уравнения для расчета средней областной урожайности яровой пшеницы с двухмесячной заблаговременностью (в фазу выхода в трубку) приведены в табл. 2.36, с месячной заблаговременностью (в фазу колошения) – в табл. 2.37.

Приведенные в таблицах 2.36 и 2.37 прогностические уравнения позволяют рассчитывать ожидаемую урожайность зерна яровой пшеницы в весе до доработки. Для расчетов ожидаемой урожайности в весе после доработки по каждой республике и области были получены статистические

уравнения связи (вида $y = a + bx$) урожайности яровой пшеницы до доработки с ее урожайностью после доработки (табл. 2.38), по которым следует проводить пересчет ожидаемой урожайности до доработки, полученной по прогностическим уравнениям (табл. 2.36 и 2.37), в урожайность после доработки.

Таблица 2.36

Уравнения регрессии для прогноза средней областной урожайности яровой пшеницы с двухмесячной заблаговременностью

Территория	Уравнения	Номер уравнения	R	S_Y, ц/га
Волгоградская, Саратовская, Оренбургская области	$Y = 10,939 + 0,028 W'_c - 0,716 d_v + 0,046 R_{VI}$ $Y = 0,671 + 6,872 k_v + 0,060 R_{VI}$	(2.79) (2.80)	0,69 0,69	±3,3 ±3,2
Республика Татарстан, Пензенская, Ульяновская области	$Y = 9,631 + 0,013 W'_c - 0,579 d_v + 0,067 R_{VI} + 0,346 \bar{u}$ $Y = 1,970 + 1,467 k_v + 0,076 R_{VI} + 0,368 \bar{u}$	(2.81) (2.82)	0,70 0,68	±3,3 ±3,5
Республика Башкортостан, Самарская область	$Y = 10,418 + 0,018 W'_c - 0,681 d_v + 0,086 R_{VI} + 0,346 \bar{u}$ $Y = 2,114 + 2,857 k_v + 0,082 R_{VI} + 0,272 \bar{u}$	(2.83) (2.84)	0,72 0,70	±2,9 ±3,0
Челябинская, Курганская области	$Y = 4,097 + 0,036 W'_c - 0,208 d_v + 0,120 R_{VI}$ $Y = 5,695 + 1,188 k_v + 0,123 R_{VI}$	(2.85) (2.86)	0,70 0,69	3,3 3,4
Удмуртская Республика, Свердловская, Пермская области	$Y = -4,642 + 0,623 d_v + 0,068 R_{VI} + 0,765 \bar{u}$ $Y = 2,466 - 1,176 k_v + 0,066 R_{VI} + 0,647 \bar{u}$	(2.87) (2.88)	0,79 0,76	2,3 2,5

Примечания: Y – средняя областная урожайность яровой пшеницы (ц/га); W'_c – запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы в период массового сева (мм); k_V – показатель увлажнения на конец мая; d_V – средний дефицит влажности воздуха за май (гПа); R_{VI} – сумма осадков за июнь (мм); P_{VI} – показатель засушливости июня (без учета запасов продуктивной влаги); t_{VII} – средняя температура воздуха за июль (°С); $\bar{u}$ – средняя урожайность яровой пшеницы за три предыдущих года (ц/га); R – коэффициент множественной корреляции; S_Y – ошибка уравнения (ц/га).

Таблица 2.37

Уравнения регрессии для прогноза средней областной урожайности яровой пшеницы с месячной заблаговременностью

Территория	Уравнения	Номер уравнения	R	S_y, ц/га
Волгоградская, Саратовская, Оренбургская области	$Y = 29,579 - 0,271\,d_v - 0,758\,d_{VI} - 0,413\,t_{VII}$ $Y = 30,738 + 1,907\,k_v - 0,706\,d_{VI} - 0,699\,t_{VII}$	(2.89) (2.90)	0,78 0,81	±2,7 ±2,0
Республика Татарстан, Пензенская, Ульяновская области	$Y = 30,349 - 0,389\,d_v - 0,497\,d_{VI} - 0,907\,t_{VII} + 0,556\,\bar{u}$ $Y = 38,380 + 1,550\,k_v - 0,511\,d_{VI} - 1,440\,t_{VII} + 0,524\,\bar{u}$	(2.91) (2.92)	0,77 0,82	±3,2 ±2,5
Республика Башкортостан, Самарская область	$Y = 40,231 + 0,107\,d_v - 0,816\,d_{VII} - 0,028\,t_{VII} + 0,101\,\bar{u}$ $Y = 33,549 + 1,665\,k_v - 0,854\,P_{VI} - 1,193\,t_{VII} + 0,110\,\bar{u}$	(2.93) (2.94)	0,83 0,82	±2,0 ±2,1
Челябинская, Курганская области	$Y = 51,331 - 0,112\,d_v - 1,276\,d_{VI} - 0,309\,t_{VII}$ $Y = 53,544 + 1,672\,k_v - 1,263\,d_{VI} - 1,578\,t_{VII}$	(2.95) (2.96)	0,80 0,87	2,6 2,0
Удмуртская Республика, Свердловская, Пермская области	$Y = 13,275 + 0,780\,d_v - 1,185\,d_{VI} - 0,388\,t_{VII} + 0,784\,\bar{u}$ $Y = 8,479 - 1,772\,k_v - 0,832\,R_{VI} - 0,140\,t_{VII} + 0,621\,\bar{u}$	(2.97) (2.98)	0,82 0,79	2,2 2,4

Примечание: d_{VI} – средний дефицит влажности воздуха за июнь (гПа); остальные обозначения см. в табл. 2.36

Таблица 2.38

Уравнения регрессии для пересчета урожайности (ц/га) яровой пшеницы до доработки (x) в урожайность (ц/га) после доработки (y)

Субъект	Коэффициент		R	S_y
	a	b		
Республика Татарстан	-0,1162	0,9576	0,993	0,4679
Республика Башкортостан	0,2356	0,9124	0,9917	0,4914
Удмуртская Республика	0,3514	0,8582	0,9932	0,4190
Волгоградская область	-0,0263	0,9697	0,9997	0,0912
Саратовская область	-0,0597	0,9689	0,9963	0,3009
Оренбургская область	-0,1264	0,9771	0,9992	0,1342
Пензенская область	0,1377	0,9348	0,9974	0,2601
Ульяновская область	0,2798	0,9339	0,9872	0,6213
Самарская область	-0,0574	0,9629	0,9975	0,2252
Челябинская область	-0,3349	0,9686	0,9977	0,2932
Курганская область	-0,2696	0,9726	0,9985	0,2242
Свердловская область	0,6923	0,8390	0,9763	0,5949
Пермская область	0,0194	0,8505	0,9648	0,6996

Пример составления прогноза.

Прогноз средней областной урожайности яровой пшеницы составляется в течение вегетационного периода два раза: первый прогноз – 21 – 25 июня (заблаговременность два месяца) в период фазы выход в трубку – появление нижнего узла соломины; второй прогноз – 21 – 25 июля (заблаговременность един месяц) в период фазы колошение – налив зерна. Этот прогноз является основным.

Исходные данные: осредненные по областям характеристики агрометеорологических и метеорологических факторов.

Приведем пример составления прогноза средней областной урожайности яровой пшеницы по Челябинской области. Исходные данные следующие: показатель увлажнения на конец мая k_V = 0,8 , дефицит влажности воздуха за май d_V = 6,4 гПа и за июнь d_{VI} = 12,6 гПа, сумма осадков за июнь R_{VI} = 28 мм и средняя температура воздуха за июль t_{VII} = 20,6°.

Для расчета средней областной урожайности яровой пшеницы с двухмесячной заблаговременностью используется уравнение (2.86):

$$Y = 5{,}695 + 1{,}188 \cdot 0{,}8 + 0{,}123 \cdot 28 = 10{,}0 \text{ ц/га.}$$

Средняя областная урожайность по прогнозу составила 10,0 ц/га, фактическая урожайность – 8,6 ц/га, абсолютная ошибка прогноза –1,4 ц/га; при 0,67 σ = 3,0 ц/га; относительная ошибка 16 % при допустимой ошибке – 17 %.

Для расчета средней областной урожайности яровой пшеницы с месячной заблаговременностью используется уравнение (2.87):

$$Y = 51{,}331 - 0{,}112 \cdot 6{,}4 - 1{,}276 \cdot 12{,}6 - 1{,}309 \cdot 20{,}6 = 7{,}6 \text{ ц/га.}$$

Уточненная величина урожайности составила 7,6 ц/га, абсолютная ошибка прогноза – 1,0 ц/га, относительная ошибка – 12 %.

Валовой сбор зерна яровой пшеницы (B) по Челябинской области равен произведению ожидаемой средней областной урожайности яровой пшеницы на посевную площадь (720,8 тыс. га):

$$B = 7{,}6 \cdot 720{,}8 = 547{,}8 \text{ тыс. т.}$$

Прогностические уравнения дали расчеты ожидаемой урожайности и валового сбора зерна яровой пшеницы до доработки. По уравнению для Челябинской области (табл. 2.37) проведем перерасчет ожидаемой урожайности яровой пшеницы до доработки (x) в урожайность после доработки (y) для прогноза с месячной заблаговременностью:

$$y = -0{,}3349 + 0{,}9686 \cdot 7{,}6 = 7{,}03 \text{ ц/га.}$$

Фактическая урожайность после доработки составила 7,6 ц/га. Абсолютная ошибка прогноза равна 0,57 ц/га, относительная ошибка составила 7,5 % при допустимой ошибке 20 %.

Аналогичные уравнения получены для прогноза урожайности других ранних яровых культур (ярового ячменя, овса).

2.9.3. Методы прогноза урожайности ярового ячменя (Желтая Н.Н. , 1987)

Поволжский, Центрально-Черноземный и Северо-Кавказский регионы занимают ведущее место в производстве зерна ярового ячменя. Валовые сборы и посевные площади ярового ячменя в этих регионах составляют 50–55 % валовых сборов и посевных площадей его в Российской Федерации и до 15–20 % валовых сборов зерна и посевных площадей всех зерновых и зернобобовых культур. Наибольшие посевные площади ярового ячменя сосредоточены в Волгоградской, Саратовской и Ростовской областях.

Бóльшая часть рассматриваемой территории относится к зоне недостаточного увлажнения, довольно часто подвержена влиянию засух и суховеев, поэтому колебания урожайности ярового ячменя от года к году здесь значительные.

Проведенный корреляционный анализ Н.Н. Желтой позволил выделить агрометеорологические факторы, которые оказывают наиболее существенные влияния на урожайность ячменя и включить их в уравнения для прогнозов урожайности с разной заблаговременностью (1–2,5 месяца). Как правило, выбранные предикторы обладают значительной инерционностью в разные периоды вегетации: в фазу выхода в трубку и в фазу колошения. В качестве примера в таблице 2.39 приведены уравнения для прогноза урожайности ячменя с месячной заблаговременностью.

Таблица 2.39

Уравнения регрессии для прогноза урожайности ярового ячменя с месячной заблаговременностью

Территория	Уравнение	R
Самарская, Оренбургская области	$Y = 0{,}058\,O_{с-к} + 0{,}082\,h_к + 0{,}020\,r_{к.с.к} - 4{,}9$ $Y = -0{,}40\,W_c + 0{,}068\,O_{с-к} + 0{,}410\,t + 1{,}382\,K - 6{,}2$	0,83 0,83
Тамбовская, Белгородская, Курская области	$Y = 0{,}61\,R_в + 0{,}132\,h_к - 1{,}078\,t + 21{,}6$ $Y = -0{,}034\,O_п - 0{,}006\,O_{с-к} - 0{,}475\,d + 0{,}176\,h_к + 20{,}6$	0,81 0,80
Воронежская, Липецкая области	$Y = -0{,}022\,O_п + 0{,}014\,O_{с-к} - 0{,}721\,t + 0{,}734\,K + 26{,}0$ $Y = -0{,}034\,O_п - 0{,}006\,O_{с-к} - 0{,}475\,d + 0{,}176\,h_к + 20{,}6$	0,80 0,80
Ростовская область	$Y = 0{,}033\,W_c + 0{,}068\,O_{с-к} - 0{,}393\,d + 0{,}166\,h_к - 0{,}1$	0,81
Ставропольский край	$Y = 0{,}035\,W_c + 0{,}073\,O_{с-к} - 0{,}499\,d + 9{,}0$	0,78

Примечания: Y – средняя областная урожайность ярового ячменя (ц/га); $O_п$, $O_{с-к}$ – количество осадков (мм) за периоды: предвегетационный, сев – колошение соответственно; W_c – запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы (мм) во время массового сева; $R_в$ – суммарный расход влаги за период сева – колошение (мм); t – средняя температура воздуха в декаду массового колошения (°С); d – дефицит влажности воздуха в декаду массового колошения (гПа); $r_{к.с.к}$ – число колосоносных стеблей на 1 м² во время массового колошения; K – произведение числа колосоносных стеблей на 1 м² и числа развитых колосков в колосе во время массового колошения, уменьшенное в 1000 раз; $h_к$ – высота растений во время массового колошения.

2.9.4. Методы прогноза урожайности зерна кукурузы

Зона возделывания кукурузы на зерно в Европейской части России определяется в основном обеспеченностью территории ресурсами тепла, необходимыми для наступления фазы полной или восковой спелости. Среднеранним сортам и гибридам, образующим 13–14 листьев, для достижения восковой спелости необходима сумма эффективных температур (выше 10 °С) не менее 800 °С. Такая сумма тепла обеспечена 80 % лет к югу от линии, проходящей примерно через Курск, Самару и Оренбург (Страшная А.И., 1991). Основные площади посевов кукурузы на зерно сосредоточены в Северо-Кавказском регионе, на долю которого приходится до 80–90 % посевных площадей и валового сбора зерна, собираемого в Российской Федерации. Вклад Центрально-Черноземных областей и Поволжья в валовой сбор зерна небольшой и колеблется от 10 до 20 %.

Большая часть этих территорий (за исключением предгорных районов Северного Кавказа) находится в зоне недостаточного и неустойчивого увлажнения, поэтому колебания урожайности зерна кукурузы в различные по метеорологическим условиям годы значительны. Максимальная среднеобластная (краевая) урожайность в 2–3 раза и более превышает минимальную. В Южном федеральном округе, например, в засушливых 1998–1999 гг. средняя урожайность зерна кукурузы составила 10,3 и 14,0 ц/га соответственно, тогда как в благоприятных по условиям увлажнения 2004 и 2008 гг. она достигла 41,1–41,6 ц/га. (Страшная А.И., 2009)

Метод Ю.И. Чиркова (1969) для конкретных полей основан на зависимости урожайности зерна кукурузы от запасов продуктивной влаги в слое почвы 0–50 см к началу фазы выметывания, а также от площади листовой поверхности, которая сформировалась ко времени выметывания. Размеры листовой поверхности растения ко времени образования початков являются интегральным показателем состояния растений и одним из важных факторов, обусловливающих урожайность (подробнее см. «Основы сельскохозяйственной метеорологии», т. I. 2011).

Метод прогноза урожайности кукурузы по субъектам РФ.

При разработке метода прогнозирования урожайности кукурузы в целом по субъекту использование площади листовой поверхности оказалось весьма затруднительным, т. к. процентное соотношение площадей различных по скороспелости сортов кукурузы, имеющих разную площадь поверхности листьев и, следовательно, обладающих различным потенциалом продуктивности на территории субъекта, к моменту составления прогноза неизвестно.

Дальнейшее развитие метода прогнозирования урожайности кукурузы было связано с установлением корреляционных связей между средней областной (краевой) урожайностью кукурузы и суммами осадков,

температурой воздуха и показателями состояния растений (А.И. Страшная, 2009).

Анализ коэффициентов корреляции урожайности с температурой воздуха по декадам вегетации кукурузы показал, что наиболее важным периодом для формирования урожая зерна кукурузы в Ставропольском, Краснодарском краях и в Ростовской области является период июль – первая половина августа. В этот период наиболее четко проявляется отрицательное влияние высокой температуры на урожайность кукурузы. Выметывание кукурузы в 70–80 % случаев наступает в первой–второй декадах июля в зависимости от скороспелости районированных в данном субъекте сортов, в третьей декаде июля – первой половине августа у кукурузы наблюдается цветение и начало налива зерна. Декады с наиболее сильным отрицательным влиянием температуры совпадают с периодом выметывания, цветения, опыления и начала налива зерна. Наиболее благоприятные условия для формирования урожая складываются при средней температуре воздуха за июль, равной 20–22 °С. При средней температуре воздуха за июль 23–25 °С урожайность зерна заметно снижается.

На урожайность зерна кукурузы значительное влияние оказывают также условия увлажнения. В качестве показателя, характеризующего ресурсы почвенной влаги за этот период, используется сумма осредненных по территории области запасов продуктивной влаги на декаду массового сева кукурузы в слое 0–50 см и количества осадков за май и июнь. Наиболее высокие урожаи зерна формируются при ресурсах влаги за этот период 150–220 мм.

Для каждой области (края, республики) получены прогностические уравнения, в которых в качестве предикторов отобраны агрометеорологические показатели, оказывающие наиболее существенное влияние на урожайность зерна кукурузы с учетом необходимой заблаговременности прогноза. Например, для составления прогноза урожайности зерна кукурузы с двухмесячной заблаговременностью (в конце июля) используются фактические агрометеорологические показатели на фазу выметывания метелки, а температура воздуха в августе – по прогнозу погоды. Для примера ниже приведены уравнения регрессии для прогноза средней областной урожайности зерна кукурузы с двухмесячной заблаговременностью для трех субъектов Российской Федерации (А.И. Страшная, 2009).

Ростовская область: $Y = 0{,}170\, W_{в-50} - 1{,}564\, t_{VII} - 0{,}770\, t_{VIII\,1,2} + 65{,}288;$

Краснодарский край: $Y = 0{,}169\, W_{в-50} + 0{,}097\, h_{в} - 2{,}032\, t_{VIII\,1,2} + 52{,}465;$

Ставропольский край: $Y = 0{,}044\, h_{в} + 0{,}076\, P_{VII} - 0{,}251\, t_{VIII\,1,2} + 11{,}126;$

$Y = 0{,}039\, R_{в} + 0{,}154\, P_{VII\,3-VIII\,3} + 3{,}682,$

где Y – средняя по субъекту урожайность зерна кукурузы, ц/га; P_{VII} – средняя по субъекту сумма осадков за июль, мм; $P_{VII\,3-VIII\,3}$ – средняя сумма

осадков за период с третьей декады июля по третью декаду августа, мм; t_{VII} – средняя температура воздуха за июль; °С; $t_{VIII\,1,\,2}$ – средняя температура воздуха за первую и вторую декады августа; $W_{в-50}$ – средние по области запасы продуктивной влаги в слое почвы 0–50 см в фазу выметывания, мм; $h_в$ – средняя высота растений в фазу выметывания, см.

2.9.5. Методы долгосрочного прогноза урожайности зерновых и зернобобовых культур

Для получения высоких урожаев зерновых и зернобобовых культур, наряду с внедрением новых технологий и высокой агротехники их возделывания, большое значение имеет рациональный учет данных о климате и условиях погоды. При этом важное значение приобретает прогнозирование урожайности зерновых культур с достаточно большой заблаговременностью как по отдельным районам, так и в целом по Российской Федерации.

Метод долгосрочного прогноза урожайности зерновых культур на Северном Кавказе (Литвиненко Л.Н. , 1991).

Ростовская область, Ставропольский и Краснодарский края являются основными производителями зерна в Северо-Кавказском регионе.

Анализ временных рядов средней областной и средней краевой урожайности всех зерновых и зернобобовых культур показал значительный ее рост за счет повышения уровня культуры земледелия. Изменения урожайности, связанные с повышением уровня культуры земледелия, описаны уравнениями, приведенными в табл. 2.40.

Таблица 2.40

Уравнение тенденции роста средней урожайности зерновых и зернобобовых культур

Территория	Уравнение	Коэффициент корреляции
Краснодарский край	$y = 0{,}81 + 1{,}163x - 0{,}117x^2$	0,93
Ставропольский край	$y = 0{,}75 + 0{,}326x + 0{,}0076x^2$	0,74
Ростовская область	$y = 0{,}56 + 0{,}639x - 0{,}0765x^2$	0,73

Примечания: x – порядковый номер года; y – средняя урожайность (т/га).

На фоне стабильного повышения урожайности, ее различия только за счет условий погоды в смежные годы могут составлять 1,0–1,5 т/га. Такие колебания обусловлены большой вероятностью засушливых явлений в весенне-летний период развития зерновых культур, а также аномальных условий в осенне-зимний период.

Корреляция абсолютного отклонения урожайности зерновых культур от тренда со средней декадной температурой воздуха осенью показывает, что наиболее информативными для оценки видов на урожай

будущего года являются третья декада сентября – третья декада октября. Максимальные парные коэффициенты корреляции по Ростовской области, Краснодарскому, Ставропольскому краям в отдельные декады составляют -0,43; -0,48; -0,39 соответственно. Отрицательное влияние высокой температуры воздуха на урожайность зерновых культур в осенний период можно объяснить следующим образом. По средним многолетним данным, в сентябре – октябре у озимой пшеницы отмечаются фазы 3-й лист и кущение. Высокая средняя декадная температура воздуха в этот период развития, особенно при недостатке влаги, задерживает процессы укоренения и кущения, что неблагоприятно сказывается на перезимовке озимых.

Некоторое увеличение тесноты связи абсолютного отклонения урожайности зерновых культур от тренда наблюдается со средней декадной температурой воздуха конца зимы – начала весны (r = 0,36...0,40 в Ставропольском крае, r = 0,34...0,47 в Краснодарском крае, r = 0,40...0,45 в Ростовской области). Положительное значение коэффициента корреляции указывает на то, что более холодные январь или февраль менее благоприятны для формирования высоких урожаев. При средней многолетней температуре воздуха января от -4 до -9 °С в зерносеющей зоне в 5 % лет возможно сильное похолодание до -35 °С, в результате которого наблюдается сильное вымерзание озимых. В результате частых оттепелей зимой (30–60 дней) растения озимых культур к весне теряют закалку и способны переносить температуру не ниже -10 °С, вероятность которой на глубине залегания узла кущения на территории Северо-Кавказского экономического района составляет в марте 5–10 %. Ранний переход средней декадной температуры воздуха через 3–5 °С (в первой–второй декадах марта) наиболее благоприятен для развития озимой пшеницы, так как ее посевы могут продолжать кущение и хорошо укорениться весной.

Возобновление вегетации озимых культур в Северо-Кавказском регионе, по средним многолетним данным, начинается в конце марта. В конце марта – начале апреля высеваются ранние яровые культуры, в конце апреля – начале мая – поздние яровые культуры. Наиболее важными месяцами в весенне-летний период развития как для озимых, так и для яровых культур являются май и июнь. В Ростовской области наблюдается увеличение тесноты связи абсолютного отклонения урожайности от тренда со средними декадными температурами июля. Максимальные значения парных коэффициентов корреляции составляют -0,38 и -0,50.

С учетом тесноты связи абсолютного отклонения урожайности от тренда со средней декадной температурой воздуха были сформированы «взвешенные» показатели температурных условий осеннего (x_1), зимнего (x_2) и весенне-летнего (x_3) периодов. «Взвешенные» показатели представляют собой сумму произведений парных коэффициентов корреляции на соответствующую температуру воздуха (t) за конкретный осенний,

зимний или летний периоды (табл. 2.41). Показатель осени включает период с третьей декады сентября по третью декаду октября и учитывает влияние средней декадной температуры на урожайность.

Таблица 2.41

Показатели осеннего (x_1), зимнего (x_2) и весенне-летнего (x_3) условий развития зерновых культур (°С)

Территория	Уравнение
Краснодарский край	$x_1 = -0{,}39\,t_{IX,3} - 0{,}25\,t_{X,1} - 0{,}48\,t_{X,2} - 0{,}16\,t_{X,3}$
Ставропольский край	$x_1 = -0{,}36\,t_{IX,3} - 0{,}39\,t_{X,1} - 0{,}39\,t_{X,2} - 0{,}28\,t_{X,3}$
Ростовская область	$x_1 = -0{,}43\,t_{IX,3} - 0{,}25\,t_{X,1} - 0{,}37\,t_{X,2} - 0{,}21\,t_{X,3}$
Краснодарский край	$x_2 = 0{,}26\,t_{I,1} + 0{,}21\,t_{I,2} + 0{,}30\,t_{I,3} + 0{,}08\,t_{II,1} + 0{,}34\,t_{II,2} + 0{,}46\,t_{II,3} + 0{,}47\,t_{III,1}$
Ставропольский край	$x_2 = 0{,}30\,t_{I,1} + 0{,}21\,t_{I,2} + 0{,}13\,t_{I,3} + 0{,}06\,t_{II,1} + 0{,}29\,t_{II,2} + 0{,}36\,t_{II,3} + 0{,}40\,t_{III,1}$
Ростовская область	$x_2 = 0{,}45\,t_{II,2} + 0{,}40\,t_{II,2} + 0{,}27\,t_{III,3}$
Краснодарский край	$x_3 = -0{,}50\,t_{VI,1} - 0{,}37\,t_{VI,2} - 0{,}25\,t_{VI,3}$
Ставропольский край	$x_3 = -0{,}20\,t_{V,1} - 0{,}5\,t_{V,2} - 0{,}31\,t_{V,3} - 0{,}41\,t_{VI,1} - 0{,}13\,t_{VI,2}$
Ростовская область	$x_3 = -0{,}13\,t_{V,1} - 0{,}47\,t_{V,2} - 0{,}39\,t_{V,3} - 0{,}38\,t_{VI,1} - 0{,}50\,t_{VI,2} - 0{,}34\,t_{VI,3} - 0{,}28\,t_{VIII,1} - 0{,}18\,t_{VII,2}$

Примечание. В индексе средней декадной температуры (t) римские цифры обозначают месяц, арабские – декаду.

Установлено, что температурный режим осени и зимы, а также осадки за осенне-зимний период имеют значительную связь с урожайностью зерновых культур. Для Ростовской области, Краснодарского и Ставропольского краев составлены прогностические зависимости (2.99)–(2.104) для расчета ожидаемой урожайности зерновых и зернобобовых культур с заблаговременностью 5–6 месяцев (табл. 2.42).

Таблица 2.42

Прогностические уравнения средней областной (краевой) урожайности всех зерновых и зернобобовых культур

Территория	Уравнение	Номер уравнения	R	S_y, т/га
Краснодарский край	$\Delta y = 0{,}49\,x_1 + 0{,}262\,x_2 + 0{,}066\,x_3 + 5{,}1$	(2.99)	0,67	0,26
Ставропольский край	$\Delta y = 0{,}558\,x_1 + 0{,}368\,x_2 + 0{,}197\,x_3 + 5{,}5$	(2.100)	0,63	0,31
Ростовская область	$\Delta y = 0{,}533\,x_1 + 0{,}246\,x_2 + 0{,}092\,x_3 + 5{,}3$	(2.101)	0,60	0,32
Краснодарский край	$\Delta y = 0{,}552\,x_1 + 0{,}237\,x_2 + 0{,}895\,x_3 + 0{,}054\,x_y + 23{,}1$	(2.102)	0,78	0,22
Ставропольский край	$\Delta y = 0{,}149\,x_1 + 0{,}318\,x_2 + 0{,}707\,x_3 + 0{,}024\,x_y + 38{,}8$	(2.103)	0,82	0,23
Ростовская область	$\Delta y = 0{,}316\,x_1 + 0{,}361\,x_2 + 0{,}887\,x_3 + 0{,}168\,x_y + 26{,}7$	(2.104)	0,80	0,26

Примечания: x_1, x_2, x_3 – показатели температурных условий соответственно в осенний, зимний и летний периоды; x_y – сумма осадков (мм) с августа предшествующего года по март текущего; Δy – абсолютное отклонение урожайности от средней урожайности по тренду (ц/га).

С целью уточнения прогноза могут быть использованы прогностические уравнения (2.103)–(2.104) месячной и двухмесячной заблаговременности, которые включают «взвешенный» показатель температурных условий летнего периода (табл. 2.42).

Метод долгосрочного прогноза урожайности зерновых и зернобобовых культур в целом по Российской Федерации.

Для формирования урожайности яровых культур основное значение имеют складывающиеся агрометеорологические условия вегетационного периода. При этом важная роль принадлежит также ресурсам влаги, накопленным за осенне-зимний период.

Для формирования урожайности озимых зерновых культур важное значение имеют условия зимнего периода, которые в значительной мере определяют их состояние весной (число живых стеблей на 1 м^2, процент изреженности растений и др.). Как правило, у сильно изреженных посевов последствия неблагоприятных зимних условий проявляются в большей степени, чем у неизреженных посевов. В.А. Моисейчик установлено, что при гибели озимых на площади более 15 % посевной отклонения величины урожайности озимых от тренда имеют, как правило, знак минус.

Достаточно тесные связи (r = 0,88) урожайности озимых культур и всех зерновых и зернобобовых культур в основных зернопроизводящих районах и в целом по Российской Федерации позволяют использовать для разработки метода долгосрочного прогноза урожайности зерновых и зернобобовых культур данные о состоянии озимых культур весной (площадей, на которых изреженность растений весной составляет 50 % и более), поскольку доля озимых в общем валовом сборе зерна по Российской Федерации довольно велика и составляет до 35–45 %.

Информация о площади посевов с плохим состоянием озимых культур весной (по прогнозу, составленному в Гидрометцентре России в конце февраля) к началу вегетации (по прогнозу перезимовки) позволяет рассчитать предварительную оценку ожидаемой урожайности всех зерновых и зернобобовых культур в конкретном году с большой заблаговременностью.

Уравнение регрессии для долгосрочного прогноза урожайности всех зерновых и зернобобовых культур в целом по Российской Федерации, предложенное А.И. Страшной и Х.Х. Тебуевым, имеет вид:

$$Y = 10{,}60 + 0{,}23\,N - 0{,}35\,v^{0{,}38}, \quad R = 0{,}76, \quad S_Y = 2{,}01, \qquad (2.105)$$

где N – номер прогнозируемого года (1958 г. равен 1); v – площадь гибели озимых культур весной (процент посевной); Y – ожидаемая урожайность (ц/га).

Аналогичные уравнения получены ими и для основных регионов, где в посевах преобладают озимые зерновые культуры. Первый прогноз

ожидаемой величины урожайности зерновых и зернобобовых культур, составляемый в начале марта (за месяц до сева яровых культур), дает хозяйствам возможность маневра при планировании площадей сева яровых и подсева озимых культур, исходя из экономической целесообразности.

2.9.6. Прогноз урожайности и валового сбора зерновых и зернобобовых культур с учетом темпов уборки и динамики намолотов в целом по Российской Федерации

Прогнозы урожайности основных сельскохозяйственных культур с учетом агрометеорологических условий вегетационного периода имеют заблаговременность от одного до трех месяцев. Авторами этих методов наряду с метеорологическими параметрами используются инерционные агрометеорологические факторы (запасы продуктивной влаги в почве, влагообеспеченность, состояние растений, элементы их продуктивности и др.), которые в большинстве лет обеспечивают высокую оправдываемость этих прогнозов.

Однако в годы с неблагоприятными аномальными условиями уборки из-за значительных потерь урожая оправдываемость этих прогнозов снижается, а отсутствие количественных методов прогнозов урожайности и валового сбора культур с учетом потерь уборочного периода не позволяли уточнять эти прогнозы. Необходимость таких уточнений очевидна, т.к. в годы с неблагоприятными условиями уборки потери уже выращенного урожая бывают значительными. Е.С. Улановой, А.И. Страшной (1998) был разработан метод прогноза урожайности и валового сбора зерновых и зернобобовых культур с учетом величины и динамики намолотов, которые определяются в значительной степени аномальными агрометеорологическими условиями уборочного периода. Метод используется в оперативном режиме для уточнения прогнозов окончательной урожайности и валовых сборов зерна.

В работах М.Г. Лубнина (1981) показано, что при выпадении большого количества осадков, пониженной температуре и низком дефиците влажности воздуха сильно осложняется работа уборочных машин, при этом и потери зерна увеличиваются. А.Д. Пасечнюком (1984) по данным отдельных гидрометеостанций установлены зависимости потерь зерна от степени полегания растений. Значительно увеличиваются потери зерна и при «перестаивании» зерновых культур. Чем больше продолжительность периода от начала уборки до ее завершения, тем больше потери зерна. В годы, не благоприятные по условиям уборки, потери урожая достигали 15–30 % и более. На территории России чаще всего неблагоприятные условия уборки зерновых культур из-за частых дождей наблюдаются в Нечерноземной зоне, нередки они также в северной половине земледельческих районов Сибири, в отдельные годы такие условия наблюдаются

и в ряде районов Черноземной зоны. Продолжительность периода уборки по Российской Федерации составляет в среднем около 100 дней (часть июля, август, сентябрь, октябрь и начало ноября).

Темпы уборки и динамика намолотов по регионам зависят от количества выпавших осадков, числа дней с осадками в 1 мм и более, от температуры воздуха за август. В этот месяц обычно проводится массовая уборка зерновых культур в большинстве основных зернопроизводящих районов.

Основу метода прогноза урожайности и валового сбора зерновых и зернобобовых культур составили прогностические зависимости окончательной урожайности (Y_1) или окончательного валового сбора (Y_2) от динамики урожайности в период уборки (Z_1) и динамики валового сбора (Z_2), а также от процентов обмолоченной площади (X, %). Влияние аномальных условий уборки при этом учитывается опосредованно, так как процент обмолоченных площадей существенно зависит от погодных условий:

$$Y_1 = 0{,}05X + 0{,}78Z_1 - 2{,}53, \quad R_{Y1} = 0{,}95, \; S_{Y1} = 0{,}6; \qquad (2.106)$$

$$Y_2 = -1{,}10X + 1{,}41Z_2 + 76{,}30, \quad R_{Y2} = 0{,}97, \; S_{Y2} = 3{,}6, \qquad (2.107)$$

где Y_1 – окончательная урожайность зерновых и зернобобовых культур в целом по Российской Федерации, ц/га; Y_2 – окончательный валовой сбор в целом по Российской Федерации, млн. т; Z_1 – динамическая урожайность (на дату прогноза), ц/га; Z_2 – валовой сбор зерна (на дату прогноза), млн т; X – процент обмолоченных площадей на ту же дату, %.

Прогнозы урожайности и валового сбора зерновых культур составляются с конца августа (когда обмолочено, как правило, более 40 % площадей) на любую дату периода уборки, когда выпускаются сводки Росстата о ходе уборки и намолотах зерна (обычно до обмолота 90–95 % площадей).

Пример. По недельной сводке Росстата о ходе уборки 50 % обмолоченной площади было отмечено 25 августа. В это время урожайность всех зерновых и зернобобовых культур в первоначально оприходованном весе составила 20,5 ц/га, а валовой сбор – 46,0 млн т. По прогностическим уравнениям (2.106) и (2.107) рассчитывают окончательную урожайность и валовой сбор зерновых и зернобобовых культур с учетом темпов уборки и динамики намолотов в целом по Российской Федерации зерновых:

$$Y_1 = 0{,}05 \cdot 50 + 0{,}78 \cdot 20{,}5 - 2{,}53 = 15{,}96;$$

$$Y_2 = -1{,}10 \cdot 50 + 1{,}41 \cdot 46{,}0 + 76{,}30 = 86{,}2.$$

Фактическая урожайность зерновых и зернобобовых культур составила 16,5 ц/га, а валовой сбор – 88,5 млн т. Тогда

- относительная ошибка прогноза урожайности:

$$[(16 - 16{,}5) \cdot 100] / 16{,}5 = 3\ \%;$$

- относительная ошибка прогноза валового сбора:

$$[(88{,}5 - 86{,}2) \cdot 100] / 88{,}5 = 2{,}6\ \%;$$

- оправдываемость прогнозов урожайности и валового сбора составила 97 %.

2.9.7. Методы прогноза урожайности семян подсолнечника

Метод прогноза урожайности подсолнечника по территории областей, краев и республик (Мельник Ю.С., 1984).

Для оценки влияния культуры земледелия на урожайность подсолнечника применяется метод аналитического выравнивания временных рядов урожайности. Наиболее ответственным этапом при аналитическом выравнивании временного ряда является выбор формы кривой, отражающей тенденцию ряда. Для большинства областей зоны промышленного возделывания этой культуры характерен рост урожайности за счет улучшения культуры земледелия, который удовлетворительно аппроксимируется уравнением прямой.

Уравнения линии тренда урожайности семян подсолнечника для отдельных субъектов Российской Федерации приведены в табл. 2.43.

Таблица 2.43

Уравнения линии тренда урожайности подсолнечника

Субъект	Уравнение	Субъект	Уравнение
Белгородская обл.	$y = 0{,}19n + 9{,}04$	Воронежская область	$y = 0{,}08n + 10{,}80$
Волгоградская обл.	$y = 0{,}09n + 7{,}58$	Ростовская обл.	$y = 0{,}08n + 10{,}10$
Краснодарский край	$y = 0{,}37n + 12{,}42$	Ставропольский край	$y = 0{,}04n + 8{,}86$

Примечания: y – средняя областная урожайность; n – порядковый номер года в ряду исследуемых лет.

Коэффициенты уравнений регрессии характеризуют средний годовой прирост урожайности подсолнечника (ц/га) за счет улучшения культуры земледелия.

Для объективной оценки влияния на урожайность условий увлажнения необходимо учитывать прирост урожая за счет улучшения культуры земледелия. Это достигается тем, что от средней областной (краевой) урожайности предварительно вычитается прирост урожая за счет изменения уровня культуры земледелия. В этом случае получается временная изменчивость урожаев, обусловленная, главным образом, метеорологическими особенностями отдельных лет y_1. Для каждой области были получены ряды урожайности подсолнечника с исключением прироста урожая по тренду.

Урожайность подсолнечника после исключения влияния культуры земледелия y_1 в значительной степени зависит от показателя увлажнения W. Показатель увлажнения W представляет собой сумму осадков $\sum x_1$ за осенне-зимне-весенний период (от даты перехода температуры

воздуха через 5 °С осенью по апрель включительно) с коэффициентом 0,6 и сумму осадков за май–июль $\sum x_2$:

$$W = 0{,}6\sum x_1 + \sum x_2 . \qquad (2.108)$$

В табл. 2.44 для примера приведены уравнения, характеризующие связь средней областной (краевой) урожайности подсолнечника при исключении влияния культуры земледелия с показателем увлажнения. Оказалось, что эта связь в большинстве случаев криволинейна. Особенно четко криволинейный характер выражен в более влажной зоне. Это связано с отрицательным влиянием на урожай подсолнечника избыточного увлажнения.

Таблица 2.44

Уравнения связи урожайности подсолнечника y_1 с показателями увлажнения W

Субъект	Уравнение
Белгородская обл.	$y_1 = 0{,}02\,W + 2{,}48$
Волгоградская обл.	$y_1 = 0{,}03\,W + 1{,}45$
Краснодарский край	$y_1 = 44{,}011 + 0{,}327\,W - 0{,}00046\,W^2$
Воронежская область	$y_1 = -5{,}092 + 0{,}077\,W - 0{,}00007\,W^2$
Ростовская обл.	$y_1 = 3{,}673 + 0{,}014\,W + 0{,}00003\,W^2$
Ставропольский край	$y_1 = -0{,}02\,W + 3{,}54$

Метод долгосрочного прогноза урожайности семян подсолнечника по территории Северо-Кавказского региона (Тебуев Х.Х., 1989).

В этом методе прогноза урожайности семян подсолнечника с заблаговременностью 3–4 месяца основным предиктором регрессионной прогностической модели является индекс сухости и избыточного увлажнения Д.А. Педя.

Основным лимитирующим фактором для подсолнечника в Южном и Северо-Кавказском федеральных округах является влагообеспеченность посевов в течение вегетации. Особое место при этом отводится увлажнению почвы в период начала сева подсолнечника. Это связано с тем, что подсолнечник развивает мощную корневую систему, которая позволяет ему во вторую часть вегетационного периода получать влагу из более глубоких слоев почвы, может без видимых признаков ухудшения состояния завершить вегетацию даже при значительной отрицательной аномалии осадков в летний период. Анализ пространственно-временной изменчивости осадков на Северном Кавказе показывает, что в 60–70 % рассматриваемых лет засушливые условия наблюдаются именно во второй период вегетации подсолнечника.

Прогнозируемая урожайность семян подсолнечника рассматривается как сумма двух слагаемых:

$$Y_{пр.} = Y^T + \Delta Y, \qquad (2.109)$$

где Y^T – детерминированная составляющая, определяемая в основном культурой земледелия, ц/га; ΔY – случайная составляющая величина, зависящая главным образом от метеорологических условий, ц/га.

Тенденция урожайности (без учета колеблемости урожайности вследствие аномалии температуры, осадков и условия увлажнения до даты сева) в Ставропольском, Краснодарском краях и в Ростовской области аппроксимируется интерполирующе-сглаживающей кубической сплайн-функцией, а на территории остальных республик – методом гармонических весов.

Для прогнозирования случайной составляющей урожайности (ΔY) используется комплексный показатель сухости и избыточного увлажнения (P), предложенный Д.А. Педем (1975):

$$P_i = \frac{\Delta T}{\sigma_T} - \frac{\Delta R}{\sigma_R} - \frac{\Delta W}{\sigma_W}, \qquad (2.110)$$

где ΔT, ΔR, ΔW – аномалии температуры, осадков и запасов продуктивной влаги в метровом слое почвы, а σ_T, σ_R, σ_W – соответствующие им среднеквадратические отклонения.

Связь ΔY с P_i для Северного Кавказа применительно к культуре подсолнечника аппроксимирована прямолинейной зависимостью (табл. 2.45).

Таблица 2.45

Уравнения линейной корреляционной связи между P_i и случайной составляющей ΔY

Субъект РФ	Уравнение	Коэффициент корреляции
Краснодарский край	$\Delta Y = -0{,}135 - 0{,}541 P_i$	0,63
Ставропольский край	$\Delta Y = 0{,}315 - 0{,}786 P_i$	0,76
Ростовская область	$\Delta Y = -0{,}433 - 0{,}668 P_i$	0,72
Кабардино-Балкарская Республика	$\Delta Y = 0{,}146 - 0{,}538 P_i$	0,64
Республика Дагестан	$\Delta Y = 0{,}217 - 0{,}421 P_i$	0,74
Республика Северная Осетия – Алания	$\Delta Y = -0{,}437 - 0{,}328 P_i$	0,71

По этим уравнениям регрессии для расчета отклонений урожайности (табл. 2.45) и соответствующих функций для аппроксимации тенденции урожайности, определяющей культуру земледелия, рассчитываются прогностические величины урожайности семян подсолнечника для субъектов Южного и Северо-Кавказского федеральных округов.

2.9.8. Методы прогноза урожайности сахарной свеклы

Метод О.М. Конторщиковой (1984) основан на зависимости урожайности сахарной свеклы от термических условий, влагообеспеченности посевов и массы корнеплода, сформировавшегося на 20 июля (дата составления прогноза 1 августа).

Расчет ожидаемой урожайности сахарной свеклы для Курской, Белгородской и Воронежской областей производится по уравнению:

$$y = 1{,}05\,y_1 + 0{,}02\sum t + 0{,}92\,v - 3{,}43\,, \qquad (2.111)$$

где y – ожидаемая средняя областная урожайность, ц/га; y_1 – средний по области биологический урожай (масса корня на 20 июля, умноженная на густоту посева; $\sum t$ – средняя по области сумма средних суточных значений температуры за период от декады, когда засеяно более 50 % площади до 1 августа; v – средняя по области влагообеспеченность посевов за весь период вегетации (%).

Ожидаемая влагообеспеченность за весь вегетационный период вычисляется в зависимости от влагообеспеченности за период от сева до даты составления прогноза v_1 с помощью уравнений вида $v = a\,v_1 + в$.

Влагообеспеченность рассматривается как отношение фактического суммарного испарения с поля к суммарному испарению при оптимальных условиях увлажнения. Суммируя последовательно значения влагообеспеченности за каждую декаду и разделив сумму на число прошедших декад, определяют среднюю влагообеспеченность посевов свеклы за прошедший период вегетации.

Усовершенствование метода прогноза средней областной урожайности сахарной свеклы (Гришина А.И. , 1987).

Наиболее тесная положительная связь существует между средней областной урожайностью сахарной свеклы и массой корня на конец июля, а также густотой посевов по состоянию на 1 июля.

Одним из предикторов является биологический урожай. Биологический урожай представляет собой произведение средней массы корня одного растения (на дату составления прогноза – 1 августа) на густоту посевов по состоянию на 1 июля (число растений на 100 м^2). Биологический урожай на дату составления прогноза в значительной степени отражает агротехнические и метеорологические условия прошедшего периода.

При усовершенствовании метода прогноза средней областной урожайности сахарной свеклы А.И. Гришиной впервые был использован такой дополнительный интегральный показатель, как средняя масса ботвы на одно растение. Растения с большей массой корня и с более мощным листовым аппаратом дают, как правило, более высокие приросты корнеплода в последующий период роста.

Критическим периодом роста корня сахарной свеклы является июль – август, когда корень интенсивно растет. В Северо-Кавказском регионе довольно часто в июле наблюдается жаркая погода (днем температура воздуха выше 30 °С), поэтому не исключены случаи отрицательного влияния высокой температуры воздуха на рост корня. При усовершенствовании метода прогноза средней краевой урожайности для Северо-Кавказского региона этот фактор (максимальная температура воздуха выше 30 °С) был учтен. При температуре выше 30 °С, несмотря на достаточное увлажнение почвы, рост корня замедляется. При построении прогностических уравнений в качестве предикторов использовались также значения гидротермического коэффициента Г.Т. Селянинова ($ГТК$) за различные периоды и сумма осадков за август. Наиболее высокие урожаи сахарной свеклы формируются при $ГТК$ за август более 1,60 (прибавка к урожаю составляет в Центрально-Черноземных областях и в Поволжье 25 – 40 ц/га, на Северном Кавказе более 50 ц/га). При ГТК меньше 1,0 прибавка к урожаю оказывается менее 10 – 15 ц/га.

Установлены количественные зависимости средней областной урожайности сахарной свеклы от метеорологических и агрометеорологических факторов, позволяющие с учетом прогнозов погоды рассчитывать среднюю областную урожайность сахарной свеклы с заблаговременностью от 1 до 2 месяцев.

Для Южного федерального округа (Краснодарский край) прогноз урожайности с заблаговременностью 1,5 – 2 месяца составляется по уравнению:

$$y = 0{,}754x_1 + 0{,}016x_2 + 25{,}603x_3 - 2{,}214x_4 + 81{,}021, \qquad (2.112)$$
$$R = 0{,}81,\ S_y = 34\ ц/га,\ \sigma_y = 59\ ц/га,\ n = 64,$$

где y – ожидаемая средняя краевая урожайность сахарной свеклы (ц/га); x_1 – биологический урожай на 1 августа (ц/га);x_2 – средняя масса ботвы одного растения на 1 августа (г); x_3 – $ГТК$ за август с учетом количества осадков и температуры по прогнозу погоды; x_4 – число дней в июле с максимальной температурой воздуха выше 30 °С.

В Южном и Северо-Кавказском федеральных округах на рост корня отрицательно влияет недостаток влаги в почве в июле – августе. Урожайность свеклы снижается на 10 – 15 ц/га при $ГТК$ за август менее 0,80. Наиболее высокие урожаи формируются при $ГТК$, равном 1,2 – 1,8. Если в июле в течение 18 – 22 дней максимальная температура воздуха выше 30 °С, то урожайность снижается на 40 – 50 ц/га.

Уравнение для прогноза урожайности с заблаговременностью 1 – 1,5 месяца имеет вид:

- для Пензенской, Самарской областей, Республики Татарстан

$$y = 0{,}719x_1 + 0{,}131x_2 + 13{,}762x_3 + 15{,}143, \qquad (2.113)$$
$$R = 0{,}75,\ S_y = 24\ ц/га,\ \sigma_y = 36\ ц/га;$$

- для Курской области

$$y = 1{,}275x_1 - 0{,}165x_2 + 24{,}851x_3 + 39{,}875, \qquad (2.114)$$

$$R = 0{,}73,\ S_y = 30\ ц/га,\ \sigma_y = 43\ ц/га.$$

Пример составления прогноза.

Прогноз урожайности сахарной свеклы в Курской области составляется в конце июля – начале августа. Исходными предикторами являются: x_1 = 182 ц/га (средняя областная масса корня на 1 августа была равна 236 г, густота посевов на 1 июля составляла 77 тыс. растений на 1 га, тогда биологический урожай равен 236 · 77 000 = 182 ц/га); x_2 = 450 г; x_3 = 1,16. Подставив эти значения в уравнение (2.109), получим

$$y = 1{,}275 \cdot 182 - 0{,}165 \cdot 450 + 24{,}851 \cdot 1{,}16 + 39{,}875 = 226\ ц/га.$$

Фактическая урожайность составила 236 ц/га. Абсолютная ошибка прогноза – 10 ц/га при 0,67 σ = 29 ц/га. Относительная ошибка – 4 % при допустимой ошибке 20 %.

2.9.9. Методы прогноза средней областной урожайности и валового сбора семян многолетних трав (А.И. Страшная, 1988)

1. В Нечерноземной зоне Российской Федерации ведущее место в посевах многолетних трав (от 60 до 90 % посевных площадей) занимает клевер и его смеси со злаками. Среди злаковых трав преобладают тимофеевка и овсяница луговая, на небольших площадях возделывается люцерна. Урожайность и валовые сборы семян клевера очень неустойчивы и сильно колеблются от года к году.

На большей части территории зоны семена многолетних трав получают с первого укоса, на юге и юго-западе зоны – как с первого, так и со второго укоса, причем в последнем случае первый укос трав на зеленую массу проводят в возможно более ранние сроки – в фазу бутонизации.

Наиболее важным периодом в формировании урожайности семян многолетних трав является июнь – июль – период их массового цветения. Значительно влияние на урожайность семян трав температуры воздуха и количества осадков в июле. В дождливую погоду продолжительность периода цветения трав увеличивается (у клевера, например, до 45 – 50 дней), в связи с чем семена созревают не одновременно и возрастают потери их урожая при уборке. Кроме того, в сырую погоду сахаристость выделяемого растениями нектара снижается, пчелы неохотно посещают цветки, в результате условия опыления и завязывания семян ухудшаются. С повышением температуры воздуха при ясной погоде выделение нектара растениями увеличивается, они охотнее посещаются пчелами, что особенно важно для клеверов как энтомофильных растений, строение цветков которых приспособлено к опылению насекомыми.

На рис. 2.14 показана зависимость урожайности семян многолетних трав от средней температуры воздуха за июль по Калужской и Нижегородской областям. С повышением температуры от 15 до 21 °С средняя урожайность семян возрастает почти в 2 раза: в Калужской области – примерно от 0,9 до 1,6 ц/га, в Нижегородской – от 0,5 до 1,1 ц/га. В августе, когда идет созревание семян, отрицательное влияние большого количества осадков и положительное влияние повышения температуры воздуха проявляется несколько слабее, хотя в сухую погоду процесс созревания семян ускоряется, становится более равномерным, уменьшаются потери семян при уборке. На юге территории, где условия увлажнения несколько хуже, отрицательное влияние увеличения количества осадков снижается. Установлены количественные значения факторов, определяющих в этой зоне высокую (1,1 ц/га и более) и низкую (0,6 ц/га и менее) среднюю областную урожайность семян (табл. 2.46).

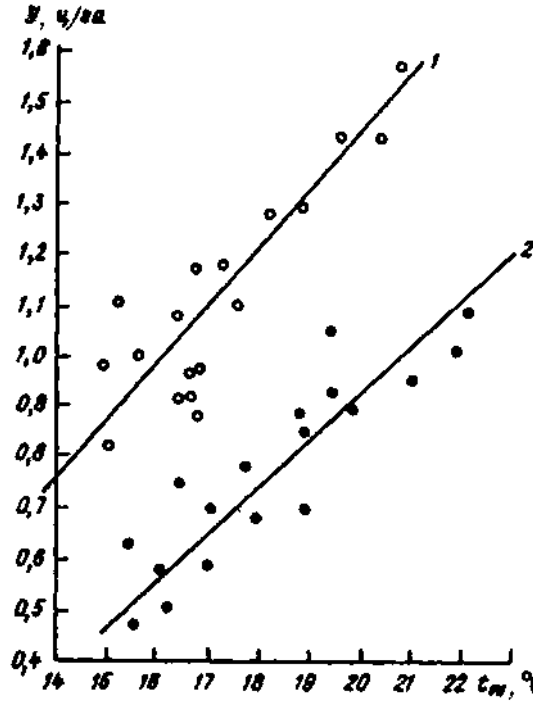


Рис. 2.14. Зависимость средней областной урожайности семян многолетних трав у от средней температуры воздуха за июль: 1 – Калужская область, 2 – Нижегородская область.

Таблица 2.46

Значения метеорологических факторов, определяющих высокую и низкую урожайность семян трав в Нечерноземной зоне

Фактор	Значения факторов	
	наиболее благоприятные	наиболее не благоприятные
Средняя температура в июне	16–19 °С	Ниже 14 °С
Количество осадков в июне	50–70 мм	≥100 мм
Гидротермический коэффициент в июне	0,5–1,0	≥1,2
Коэффициент увлажнения в июне	0,6–1,6	≥1,7
Средняя температура в июле	17–22 °С	15 °С и ниже
Количество осадков в июле	30–70 мм	≥110 мм
Средняя температура в августе	16–20°С	14 °С и ниже
Количество осадков в августе	30–80 мм	≥120 мм

Установленные в исследованиях наиболее информативные агрометеорологические показатели введены в прогностические уравнения, позволяющие с трех- и четырехмесячной заблаговременностью рассчитывать ожидаемую урожайность семян многолетних трав.

При составлении первого прогноза урожайности семян многолетних трав с такой заблаговременностью (срок 1–5 июня) учитываются следующие факторы: коэффициент увлажнения на конец мая K_v или гидротермический коэффициент за май $ГТК_v$, средняя температура воздуха за июнь t_{VI}, по прогнозу погоды, а для учета уровня агротехники используется средняя скользящая величина урожайности семян трав за три года Y_c, предшествующие году расчета, или порядковый номер года T (начиная с 1965 г., номер которого равен 1). Для примера в табл. 2.47 приведены прогностические уравнения для этого прогноза для отдельных субъектов Нечерноземной зоны Российской Федерации.

Коэффициенты увлажнения K_V и K_{VI} для каждой области вычисляются на основании средних областных данных об осадках и дефиците влажности воздуха по формулам:

$$K_V = \frac{0{,}5O_{XI-III} + O_{IV-V}}{0{,}5\sum d_{IV-V}}, \quad K_{VI} = \frac{0{,}5O_{XI-III} + O_{IV-VI}}{0{,}5\sum d_{IV-VI}}, \qquad (2.115)$$

где O_{XI-III} – сумма осадков за ноябрь–март, мм; O_{IV-V} – то же за апрель–май; O_{IV-VI} – то же за апрель–июнь; d_{IV-V} – сумма средних суточных дефицитов влажности воздуха за апрель–май, мм; d_{IV-VI} – то же за апрель–июнь.

Гидротермические коэффициенты рассчитываются по формулам

$$ГТК_V = \frac{O_V}{0{,}1\sum t_V}, \quad ГТК_{VI} = \frac{O_{VI}}{0{,}1\sum t_{VI}}, \qquad (2.116)$$

где O_V – сумма осадков за май, мм; O_{VI} – то же за июнь; $\sum t_V$, $\sum t_{VI}$ – суммы средних суточных активных температур (выше 10 °С) за май и июнь.

Таблица 2.47

Уравнения регрессии для долгосрочного прогноза урожайности семян многолетних трав с трех- и четырехмесячной заблаговременностью в Нечерноземной зоне

Субъект	Уравнение	R	S_Y
Архангельская обл.	$Y = -0{,}001\,K_V - 0{,}016\,t_{VI} + 0{,}028\,T + 0{,}778$	0,90	0,1
Ленинградская обл.	$Y = -0{,}029\,K_V - 0{,}037\,t_{VI} + 0{,}046\,T + 0{,}907$	0,77	0,1
Псковская обл.	$Y = -0{,}038\,K_V - 0{,}014\,t_{VI} + 2{,}757\,Y_c - 1{,}408$	0,70	0,2
Тульская обл.	$Y = -0{,}111\,ГТК_V + 0{,}028\,t_{VI} + 1{,}239\,Y_c - 0{,}621$	0,56	0,2
Свердловская обл.	$Y = -0{,}321\,K_V + 0{,}055\,t_{VI} + 0{,}020\,T - 0{,}592$	0,64	0,2

При составлении второго (основного) прогноза урожайности семян – срок 1–5 июля (с двух- и трехмесячной заблаговременностью) – учитываются коэффициенты увлажнения на конец июня K_{VI} или гидротермические коэффициенты за июнь $ГТК_{VI}$ и средняя температура воздуха за июль t_{VII}. Для учета уровня агротехники также включена средняя скользящая величина урожайности семян за последние три года Y_c или порядковый номер года T (табл. 2.48).

Таблица 2.48

Уравнения регрессии для долгосрочного прогноза урожайности семян многолетних трав с двух- и трехмесячной заблаговременностью в Нечерноземной зоне

Субъект	Уравнение	R	S_Y
Архангельская обл.	$Y = -0{,}012\,ГТК_{VI} - 0{,}065\,t_{VII} + 0{,}026\,T - 0{,}159$	0,812	0,1
Ленинградская обл.	$Y = -0{,}107\,ГТК_{VI} + 0{,}043\,t_{VII} + 0{,}054\,T + 0{,}602$	0,770	0,2
Псковская обл.	$Y = -0{,}042\,K_{VI} + 0{,}067\,t_{VII} + 0{,}004\,Y_c - 0{,}376$	0,670	0,2
Тульская обл.	$Y = -0{,}037\,K_{VI} + 0{,}107\,t_{VII} + 0{,}008\,T - 0{,}904$	0,773	0,2
Свердловская обл.	$Y = -0{,}020\,ГТК_{VI} + 0{,}077\,t_{VII} + 0{,}031\,T - 0{,}194$	0,717	0,2

2. В Черноземной зоне Европейской части Российской Федерации (зона недостаточного и неустойчивого увлажнения) ограничивающим фактором получения высоких урожаев семян многолетних трав является недостаток осадков в летние месяцы и очень высокая температура в период цветения трав. Здесь видовой состав трав, возделываемых на семена, несколько другой, чем в Нечерноземной зоне. В посевах снижается удельный вес клеверов. Наиболее значительные площади семенных участков заняты люцерной и злаковыми травами, среди которых преобладают костер безостый и житняк.

Семена многолетних трав здесь получают как с первого, так и со второго укосов, часть посевов на семена орошается. При получении семян с первых укосов (почти половина площадей в этой зоне) они созревают в конце июня–июле, со вторых укосов – в конце августа–сентябре в

зависимости от сроков первого укоса. Такая специфика выращивания семян трав в этой зоне – большая растянутость периода цветения и обязательное условие опыления люцерны и клевера насекомыми – в значительной мере затрудняет изучение влияния агрометеорологических условий на урожайность семян многолетних трав и выявление количественных связей.

Для получения бóльшей заблаговременности прогноза с учетом единых сроков его составления в этой зоне в качестве предикторов в прогностических уравнениях приняты коэффициенты увлажнения на конец мая и июня (K_V, K_{VI}), гидротермические коэффициенты за май и июнь ($ГТК_V$ и $ГТК_{VI}$), средняя температура воздуха за июнь и июль (t_{VI}, t_{VI}). Учитываются также средние скользящие (по трехлетиям) величины урожайности семян или порядковый номер года. В Черноземных областях связь урожайности семян трав с отобранными метеорологическими величинами носит иной характер, чем в Нечерноземной зоне. Здесь весьма существенно отрицательное влияние высокой температуры в мае – июле. При температуре около 22 °С и более урожайность семян снижается. При такой высокой средней месячной температуре часто наблюдаются сухие жаркие периоды с температурой воздуха днем 30 °С и выше, что создает неблагоприятные условия для цветения и опыления растений, так как пыльца быстро подсыхает. В августе влияние температуры воздуха проявляется несколько слабее. В северных районах зоны (например, в Пензенской области), где уровень температуры в среднем несколько ниже, а влагообеспеченность посевов выше, отрицательное влияние температуры ослабевает и становится в ряде случаев слабоположительным.

Сравнительно тесная прямая связь урожайности семян трав с количеством осадков отмечается в мае – июле, с показателем увлажнения – в конце мая и конце июня и с гидротермическими коэффициентами – в мае и июне.

Прогностические уравнения для расчета средней областной урожайности семян многолетних трав с трех- и четырехмесячной заблаговременностью представлены в табл. 2.49. Срок составления этого прогноза 1 – 5 июня. Второй прогноз (с двух- и трехмесячной заблаговременностью) составляется 1 – 5 июля. Прогностические уравнения для составления этого прогноза представлены в табл. 2.50.

Прогноз валового сбора семян многолетних трав составляется на основании расчетов ожидаемой по области (краю, республике) средней урожайности семян. Умножив ожидаемую среднюю урожайность семян трав по области на площадь посевов многолетних трав, возделываемых на семена, получают ожидаемый валовой сбор по области:

$$B = Y \cdot S, \qquad (2.117)$$

где B – валовой сбор семян, тыс. ц; Y – средняя областная (краевая) урожайность семян многолетних трав, ц/га; S – площадь посевов многолетних трав, оставленных на семена, тыс. га.

Таблица 2.49

Уравнения регрессии для долгосрочного прогноза урожайности семян многолетних трав с трех- и четырехмесячной заблаговременностью в Черноземной зоне

Субъект	Уравнение	R	S_Y
Белгородская обл.	$Y = -0{,}084\,ГТК_V - 0{,}125\,t_{VI} + 1{,}352\,Y_c - 0{,}315$	0,73	0,6
Курская обл.	$Y = -0{,}198\,ГТК_V - 0{,}008\,t_{VI} + 2{,}257\,T - 2{,}007$	0,86	0,3
Ростовская обл.	$Y = -0{,}068\,K_V - 0{,}025\,t_{VI} + 1{,}339\,Y_c - 1{,}339$	0,54	0,4
Оренбургская обл.	$Y = -0{,}814\,ГТК_V - 0{,}065\,t_{VI} + 1{,}247\,Y_c + 0{,}438$	0,85	0,2
Курганская обл.	$Y = -0{,}289\,K_V - 0{,}016\,t_{VI} + 0{,}013\,T + 1{,}483$	0,60	0,3

Таблица 2.50

Уравнения регрессии для долгосрочного прогноза урожайности семян многолетних трав с двух- и трехмесячной заблаговременностью в Черноземной зоне

Субъект	Уравнение	R	S_Y
Белгородская обл.	$Y = -0{,}410\,K_{VI} - 0{,}104\,t_{VII} + 1{,}904\,Y_c - 1{,}014$	0,70	0,6
Курская обл.	$Y = -0{,}141\,ГТК_{VI} - 0{,}046\,t_{VII} + 0{,}829\,Y_c + 1{,}019$	0,86	0,2
Ростовская обл.	$Y = -0{,}230\,ГТК_{VI} - 0{,}105\,t_{VII} + 0{,}702\,Y_c + 2{,}763$	0,86	0,2
Оренбургская обл.	$Y = -1{,}175\,K_{VI} - 0{,}050\,t_{VII} + 1{,}056\,Y_c + 0{,}315$	0,82	0,2
Курганская обл.	$Y = -0{,}251\,K_{VI} - 0{,}056\,t_{VII} + 2{,}577\,Y_c + 0{,}969$	0,66	0,3

Пример составления прогноза. Исходными данными для составления прогнозов являются значения осредненных по территории области агрометеорологических факторов. Приведем пример составления прогноза средней областной урожайности семян трав по Оренбургской области.

Для составления первого прогноза используется уравнение для Оренбургской области в табл. 2.49, где исходными предикторами являлись: $ГТК_V$ – гидротермический коэффициент за май, который равен 1,2; t_{VI} – средняя температура воздуха за июнь (по прогнозу погоды), равная 17,6 °С; Y_c – средняя скользящая урожайность за три года, предшествующих году составления прогноза, равная 1,2 ц/га.

Подставляя необходимые данные в уравнение (табл. 2.50), имеем:

$$Y = 0{,}814 \cdot 1{,}2 - 0{,}065 \cdot 17{,}6 + 1{,}247 \cdot 1{,}2 + 0{,}438 = 1{,}77\ ц/га.$$

Следовательно, ожидаемая по первому прогнозу урожайность семян многолетних трав составила 1,77 ц/га. Фактическая урожайность оказалась равной 1,6 ц/га. Абсолютная ошибка прогноза составила 0,17 ц/га при σ = 0,4 ц/га. Относительная ошибка (отнесенная к фактической урожайности и выраженная в процентах) – 11 % (при допустимой 30 %).

Во втором прогнозе (уравнение для Оренбургской области в табл. 2.50) используются следующие предикторы: K_{VI} – коэффициент увлажнения на

конец июня, равный 0,8; t_{VII} – средняя температура воздуха за июль (по прогнозу погоды), равная 22,3 °С; Y_c = 1,2 ц/га.

Подставив эти исходные данные в уравнение (табл. 2.50), получим:

$$Y = 1{,}175 \cdot 0{,}8 - 0{,}050 \cdot 22{,}3 + 0{,}056 \cdot 1{,}2 + 0{,}315 = 1{,}51 \text{ ц/га}.$$

Урожайность семян трав составила 1,51 ц/га (при фактической 1,6 ц/га). Абсолютная ошибка прогноза равнялась 0,09 ц/га, относительная – 5 % (при допустимой 20 %).

Валовой сбор семян многолетних трав по Оренбургской области равен произведению ожидаемой урожайности (ц/га) на посевную площадь многолетних трав на семена (36,6 тыс. га), т. е. 1,51 · 36,6 = 55,3 тыс. центнеров.

2.10. Методы оценки полегания зерновых культур (Пасечнюк А.Д., 1984)

Подавляющее большинство случаев полегания зерновых культур отмечается в период колошение – восковая спелость. В это время растения достигают максимальной массы и нагрузка на основание стебля приближается к критической. Под действием ветра и капель дождя эта нагрузка существенно возрастает и часто превышает критическую. В таких случаях происходит полегание.

Существует следующая шкала полегания зерновых культур: отсутствие полегания; слабое полегание (не более 30 % площади поля); среднее (31 – 60 % поля); сильное полегание (более 60 % площади поля).

Устойчивость растений к полеганию зависит от сорта и агрометеорологических условий произрастания, а также применяемой агротехники. За показатель устойчивости растений к полеганию принимают густоту и высоту стеблестоя (другие показатели в поле измеряются редко).

Установлено, что если в фазе выход в трубку или при появлении нижнего узла соломины у озимой пшеницы число стеблей на 1 м^2 не превышает 600, а у ярового ячменя 700, то полегания посевов обычно не наблюдается. По мере загущения посевов увеличивается вероятность сильного полегания (табл. 2.51), особенно если на 1 м^2 приходится более 1300 стеблей.

В более поздние периоды развития ячменя и озимой пшеницы теснота связи показателя интенсивности полегания с густотой стеблестоя остается приблизительно на том же уровне. По мере роста растений влияние высоты стеблестоя увеличивается и начиная с фазы колошения оно превышает влияние густоты растений. В фазу молочной спелости полегание посевов в наибольшей мере зависит от высоты растений. Если высота стеблестоя ячменя в этот период менее 70 см, а пшеницы менее 90 см, то полегания посевов обычно не происходит. При высоте более 100 см вероятность полегания резко возрастает, а при высоте более 125 см она приближается к 100 %.

Таблица 2.51

Вероятность (%) полегания посевов при различной густоте стеблестоя

Число стеблей на 1 м^2	Отсутствие полегания	Степень полегания		
		слабая	средняя	сильная
Озимая пшеница				
<500	82	18	0	0
500–700	60	34	5	1
701–1000	50	22	14	14
1001–1300	45	24	14	17
>1300	10	11	34	45
Ячмень				
<700	57	43	0	0
700–900	29	40	19	12
901–1100	12	16	23	49
1101–1300	14	14	14	58
>1300	14	0	0	86

Агрометеорологические условия оказывают влияние как непосредственно на полегание, так и на формирование элементов устойчивости стебля. Формирование элементов устойчивости стеблестоя к полеганию начинается примерно в фазу колошения и к концу цветения составляет 80–90 %. В более поздний период происходит только изменение массы и степени «одревеснения» стебля.

Устойчивость растений к полеганию находится в прямой зависимости от средней суточной температуры воздуха, амплитуды температуры, дефицита влажности воздуха и в обратной зависимости – от показателей влагообеспеченности (количества осадков, числа дней с осадками, гидротермического коэффициента Селянинова). Наименьшей устойчивостью стеблестой отличается в годы с пониженным температурным режимом и хорошей влагообеспеченностью растений: злаки продолжают куститься даже после выхода в трубку, отмирание стеблей начинается поздно, а в результате этого формируется очень густой стеблестой. Второй причиной низкой устойчивости стеблестоя к полеганию в годы с прохладной и влажной погодой в период роста стебля является большая высота растений.

Основная причина полегания – сильные ливневые дожди, особенно с сильным ветром. Поскольку надежных долгосрочных прогнозов этих явлений пока не существует, методика прогноза полегания построена в расчете на то, что в период формирования и налива зерна агрометеорологические условия будут близкими к средним многолетним. В этом случае растения устойчивы к полеганию, поскольку высота, густота стеблестоя, длина междоузлий, толщина стенки соломины обеспечивают их устойчивость. Эти показатели устойчивости стеблестоя формируются агротехникой возделывания и средними метеорологическими условиями

в период роста растений. По исходным данным о состоянии посевов и агрометеорологических условий рассчитывают вероятность полегания. Метеорологические условия в период формирования и налива зерна могут несколько изменить общую закономерность (чем ниже устойчивость растений к полеганию, тем сильнее они полегают). Поэтому прогноз составляется в вероятностной форме и передается потребителю, который получает возможность по этой информации оценить степень риска проведения тех или иных агротехнических мероприятий. Метод А.Д. Пасечнюка разработан для прогноза полегания ячменя и озимой пшеницы на конкретном поле (Руководство по агрометеорологическим прогнозам, 1984).

2.10.1. Прогноз полегания посевов ячменя

Прогноз составляется в фазу выхода в трубку этого растения. Для супесчаных почв используются зависимости полегания от густоты его стеблестоя (табл. 2.51).

На суглинистых почвах интенсивность полегания прогнозируется по густоте стеблестоя только в двух случаях:

– если в фазу выхода в трубку стеблестой ячменя изрежен (менее 700 стеблей на 1 м^2), то наиболее вероятным является отсутствие или незначительное полегание;

– если вероятность полегания загущенных посевов (более 1300 стеблей на 1 м^2) составляет 86 %, то на полях с такой густотой следует прогнозировать полегание в сильной степени.

Интенсивность полегания ячменя на полях с густотой от 700 до 1300 на 1 м^2 на суглинистых почвах прогнозируется по запасам продуктивной влаги в полуметровом слое почвы, измеренным через декаду после фазы выхода в трубку.

При запасах влаги в слое почвы 0–50 см через декаду после наступления фазы выхода в трубку менее 60 мм вероятность полегания очень мала (рис. 2.15). При запасах влаги более 100–110 мм существует очень большая опасность полегания посевов на больших площадях, поэтому желательно заранее к этому готовиться. Если вероятность двух или даже трех смежных градаций близка, то необходимо учитывать температурный режим периода кущение – колошение. Если температура ожидается в пределах 12–16 °С, то следует отдать предпочтение более значительному полеганию. При средней суточной температуре воздуха больше 18 °С наиболее вероятным является отсутствие полегания или слабая его интенсивность. Если сложно отдать предпочтение какой-либо одной градации, рекомендуется объединить две смежные. Например, «наиболее вероятным является полегание в сильной или средней степени».

Исходными данными при составлении прогноза являются: тип почвы по механическому составу, густота всходов, густота стеблестоя в фазу выхода в трубку, запасы продуктивной влаги в полуметровом слое почвы

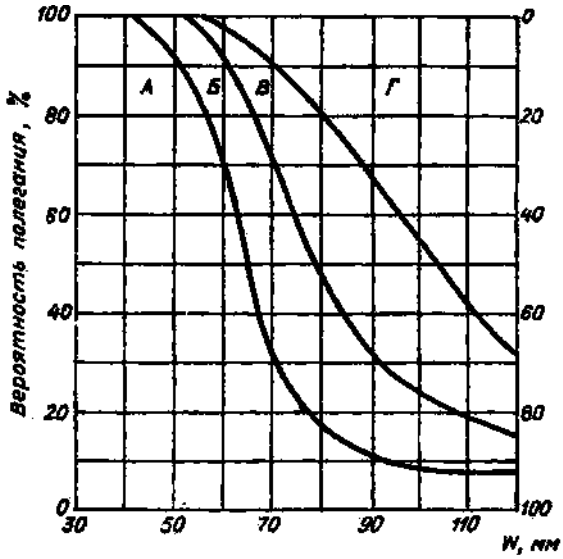


Рис. 2.15. Вероятность полегания посевов ячменя при различных запасах продуктивной влаги W в слое почвы 0–50 см через декаду после наступления фазы выхода в трубку: $А$ – отсутствие полегания, $Б$ – слабое полегание, $В$ – среднее полегание, $Г$ – сильное полегание

(для суглинистых почв) через декаду после наступления фазы выхода в трубку. Рассчитывается вероятность полегания и при необходимости средняя температура воздуха за период кущение – колошение. Для расчета средней температуры предварительно составляется прогноз даты наступления фазы колошения (по сумме эффективных температур за период выход в трубку – колошение, равной для ячменя 330 °С).

2.10.2. Прогноз полегания озимой пшеницы

Метеорологические условия зимнего периода могут оказывать существенное влияние на устойчивость посевов к полеганию в последующие фазы развития. При неблагоприятных условиях перезимовки, когда гибель растений превышает 20 %, посевы не полегают. Если число погибших растений менее 20 %, то полегание озимой пшеницы прогнозируется по густоте посева в фазу выхода в трубку. При густоте менее 600 стеблей на 1 м^2 посевы, как правило, растения не полегают или полегают в слабой степени. С увеличением густоты увеличиваются вероятность полегания и его интенсивность. При густоте больше 1300 стеблей на 1 м^2 прогнозируется сильное полегание. При густоте 600 – 1300 стеблей на 1 м^2 прогноз полегания составляется по средней суточной температуре воздуха за

период выход в трубку – цветение. Сначала по фактическим и прогнозируемым значениям температуры рассчитывается дата наступления фазы колошения (колошение сорта Мироновская-808 начинается при сумме эффективных температур выше 5 °С, подсчитанной от даты наступления фазы выхода в трубку, равной 312 °С, для других сортов – 330 °С); затем путем прибавления к ней средней многолетней продолжительности периода колошение – цветение находится ожидаемая дата цветения пшеницы. Средняя продолжительность периода колошение – цветение составляет 5 – 8 дней. После этого рассчитывается средняя температура за период выход в трубку – цветение. Вероятность полегания определяется по табл. 2.52. Прогноз полегания озимой пшеницы составляется в конце мая – начале июня, после получения прогноза погоды на июль.

Таблица 2.52

Вероятность (%) полегания озимой пшеницы при различных значениях температуры воздуха за период выход в трубку – цветение

Температура воздуха, ºС	Отсутствие полегания	Степень полегания		
		слабая	средняя	сильная
За период выход в трубку – колошение				
< 12,5	0	0	50	50
12,5 – 13,4	42	21	13	24
13,5 – 14,4	50	25	20	5
> 14,4	77	17	3	3
За период 21 мая – 20 июня				
11,5 – 13,0	12	24	29	35
13,1 – 14,5	50	16	18	16
14,6 – 15,5	60	28	12	0
> 15,5	83	17	0	0

2.11. Методы оценки агрометеорологических условий уборочного периода (Лубнин М.Г., 1983)

Работа комбайна на полях находится в большой зависимости от метеорологических условий, а производительность – от суточного хода дефицита влажности воздуха, что связано с изменением влажности убираемой массы. При дефиците влажности воздуха более 8 гПа комбайны на уборке зерновых культур работают с высокой производительностью, т. к. зерно и солома имеют небольшую влажность. Потерь зерна не наблюдается.

При дефиците влажности воздуха от 3 до 8 гПа влажность убираемой массы увеличивается и выработка комбайна снижается, при этом наблюдаются незначительные потери зерна, а условия для работы комбайнов оцениваются как удовлетворительные. При дефиците влажности воздуха ниже 3 гПа работа комбайнов становится затруднительной, отмечаются большие потери зерна.

Дефицит влажности воздуха в течение суток не остается постоянным, а имеет выраженный суточный ход (рис. 2.16). Утром из-за повышенной влажности воздуха убираемая масса переувлажнена, и работа комбайна затруднена или даже невозможна. Днем с повышением температуры влажность воздуха уменьшается, соломина и колос просыхают, условия для работы комбайнов улучшаются. В вечерние часы влажность воздуха постепенно повышается, солома и колос переувлажняются, и уборка вновь затрудняется. По графику легко определить, сколько хороших, удовлетворительных и плохих часов для работы комбайна будет при различных значениях средних суточных дефицитов влажности воздуха в любой день уборки (при ясной или пасмурной погоде).

Для удобства расчетов можно пользоваться данными табл. 2.53. Оценка дается в часах с хорошими, средними, плохими и условно хорошими агрометеорологическими условиями. Последние получаются путем суммирования (в часах) всех хороших и половины средних условий.

При оценке ожидаемых агрометеорологических условий работы комбайна следует делать сравнения со средними многолетними условиями

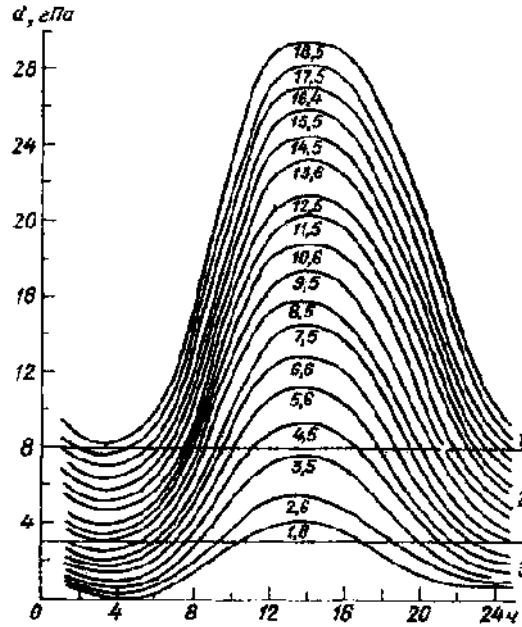


Рис. 2.16. Суточный ход дефицита влажности воздуха при среднем его значении: 1 – хорошие условия погоды для работы комбайна; 2 – средние условия; 3 – плохие условия; цифры в поле рисунка – средний суточный дефицит влажности воздуха, гПа (Процеров А.В., 1962)

или с условиями в прошлом году. Оценка дается обычно в процентах (табл. 2.54). Такие расчеты можно проводить по декадам, неделям и в целом за весь период уборки зерновых культур.

Таблица 2.53

Количество часов за сутки с хорошими, средними и плохими условиями для работы комбайна при различных значениях среднего суточного дефицита влажности воздуха в период уборки зерна

Среднее суточное значение дефицита, гПа	Количество часов с условиями			
	хорошими	средними	плохими	условно хорошими
3	0	10,5	13,5	5,3
4	3,5	9,0	11,5	8,0
5	6,5	7,5	10,0	10,2
6	8,5	7,0	8,5	12,0
7	10,0	7,0	7,0	13,5
8	11,0	8,0	5,0	15,0
9	12,0	9,0	3,0	16,5
10	13,0	11,0	0,0	18,5
11	14,0	10,0	0,0	19,0
12	15,0	9,0	0,0	19,5
13	15,5	8,5	0,0	20,0
14	16,6	7,5	0,0	20,3
15	17,5	6,5	0,0	20,8
16	18,5	5,5	0,0	21,3
17	20,0	5,5	0,0	22,3
18	22,0	2,0	0,0	23,0

Таблица 2.54

Оценка метеорологических условий для работы комбайна в период уборки зерновых культур. Август

Показатель	Дата										Средние значения за 10 дней
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
Температура воздуха по прогнозу погоды, °С	13,0	12,6	12,6	17,2	14,6	13,2	16,0	19,0	19,7	15,4	16,5
Дефицит насыщенности влажности воздуха, гПа	3,0	2,8	2,8	6,5	4,0	3,1	5,3	10,0	13,0	4,6	5,5
Число условно хороших часов работы комбайна	5,0	4,1	4,1	13,2	8,0	5,3	11,1	17,8	20,1	9,8	9,8
Среднее многолетнее число условно хороших часов работы комбайна	13,5	13,3	13,1	12,9	12,7	12,5	12,3	12,1	11,9	11,7	12,6
Оценка средних многолетних условий, %	37	31	32	110	62	42	90	146	168	84	78

2.12. Прогноз качества зерна озимой пшеницы в Центрально-Черноземных областях (Страшный В.Н., 1987)

Высокие урожаи зерновых культур в сочетании с высоким качеством продукции – важный резерв роста сельскохозяйственного производства. Поэтому прогноз ожидаемого качества зерна нового урожая, составленный с достаточной заблаговременностью, имеет важное значение. Повышение содержания белка в зерне пшеницы на 1 % дает в масштабе нашей страны дополнительно 600 тыс. тонн белка, что полностью может удовлетворить потребность в нем 16 млн человек в течение года.

Качество урожая сельскохозяйственных культур – совокупность определенных (химических, физических, технологических, питательных и др.) свойств сельскохозяйственной продукции (сахаристость, жирность, белковость, волокнистость и т.д.), обусловливающих ее способность удовлетворять конкретные запросы и требования потребителей. (Толковый словарь по сельскохозяйственной метеорологии, 2002).

Условия вегетационного периода оказывают влияние не только на количество, но и на качество урожая сельскохозяйственной продукции. Химический состав растений в значительной мере определяется почвенно-климатическими условиями, приемами возделывания и сортовыми особенностями культуры. В районах с континентальным климатом, где почвы богаты азотом, но относительно мало осадков, для растений характерно накопление большего количества белков.

Накопление белка в зерне злаковых растений происходит в результате использования азотистых веществ, главным образом белков, накопленных в вегетативных органах до начала налива зерна, и поглощения азота из почвы в период налива зерна. Поэтому агрометеорологические условия уже на ранних этапах развития растений, влияя на накопление азотистых веществ в листьях и стеблях, влияют и на качество зерна.

В ранневесенний период (III и IV этапы органогенеза) умеренно теплая погода с осадками создает условия для формирования в последующем длинного колосового стержня и увеличения потенциальной продуктивности растений. В этих условиях при одинаковых запасах азота в почве растения образуют большее число зерен, что приводит к снижению белковости зерна. Наоборот, ускорение в развитии под влиянием высоких температур, продолжительности дня и неблагоприятных условий для роста (резкие колебания температуры, дефицит почвенной влаги, низкая относительная влажность воздуха) ведет к уменьшению потенциальной продуктивности растений, что при прочих равных условиях приводит к повышению содержания белка и клейковины в зерне.

При хорошем увлажнении почвы весной происходит интенсивный рост растений и образование боковых побегов, т. е. накопление потребляющей азот органической массы. Рост же корневой системы идет значительно медленнее. Несоответствие между развитием корневой системы

и надземной массы тормозит снабжение растений азотом. В их тканях накапливается мало азотистых соединений, которых обычно недостает для накопления в зерне большого количества белка и клейковины. Следовательно, ресурсы влаги в весенний период в районах неустойчивого увлажнения определяют не только условия формирования урожая, но и будущие условия формирования его качества.

С повышением температуры и снижением влажности почвы темпы развития растений ускоряются, энергия дыхания при этом усиливается, в результате чего соотношение азота к углеводам в вегетативных органах увеличивается.

В загущенных посевах снижается число формирующихся на побеге листьев и уменьшается общая площадь верхних листьев. Так как наибольшее количество азота поступает в зерно из верхних листьев, то уменьшение их площади ведет к уменьшению количества азота, поступающего в зерно.

В период налива зерна количество азотистых веществ в вегетативных органах растений быстро уменьшается. В результате оттока из вегетативных органов в зерне накапливается до 61 % общего количества азота.

Увеличение продолжительности периода от колошения до созревания, а также обильные осадки повышают запасы влаги в почве, что способствует накоплению в зерне большего количества углеводов; в конечном итоге это приводит к снижению относительного содержания белка и клейковины в зерне. И наоборот, снижение влажности воздуха и почвы, повышение температуры окружающей среды в этот период стимулируют образование в растении и зерне веществ белкового комплекса.

Основу методики прогноза составляют количественные статистические связи средневзвешенных по области величин содержания белка и клейковины в зерне озимой пшеницы (сортов Мироновская-808, Мироновская юбилейная-50, Мироновская-264) с агрометеорологическими факторами.

Ожидаемую средневзвешенную по области величину содержания белка в зерне рассчитывают после наступления фазы массового колошения озимой пшеницы по уравнению:

$$Y = 4{,}45 + 0{,}19A - 0{,}002W + 0{,}11d - 0{,}002N + 0{,}38t. \qquad (2.118)$$

Ожидаемое содержание клейковины в зерне озимой пшеницы рассчитывают по уравнению:

$$Y = 0{,}67 + 0{,}37A - 0{,}017W + 0{,}65d - 0{,}004N + 0{,}86t, \qquad (2.119)$$

где Y — процентное содержание белка или клейковины; A — средняя амплитуда температуры воздуха за период от возобновления вегетации до устойчивого перехода температуры воздуха через 10 °С; W – запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы (мм) на дату устойчивого перехода температуры воздуха через 10 °С; d – средний дефицит

влажности воздуха (гПа) за период от устойчивого перехода температуры воздуха через 10 °С до колошения; N – количество колосоносных стеблей на 1 м^2 в фазу массового колошения; t – средняя температура воздуха за период от колошения до восковой спелости (°С).

Уравнения применимы в пределах изменения средних по области значений: A – от 6 до 12 °С; W – от 110 до 240 мм; d – от 5 до 14 гПа; N – от 350 до 900 колосоносных стеблей; t – от 16 до 23 °С.

Расчет ожидаемого количества зерна озимой пшеницы производится после определения числа колосоносных стеблей на дату массового колошения пшеницы. По каждой области следует выбрать сеть метеорологических станций (не менее 6–8), равномерно расположенных по территории, где сосредоточены основные посевы озимой пшеницы.

Средняя амплитуда температуры воздуха за период между возобновлением вегетации озимой пшеницы и датой устойчивого перехода температуры воздуха через 10 °С рассчитывается путем деления разности сумм максимальных и минимальных температур воздуха за этот период (по ежедневным данным) на число дней периода.

Запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы берутся по определению, ближайшему к дате устойчивого перехода температуры воздуха через 10 °С. Затем рассчитывается средний дефицит влажности воздуха за период между датами устойчивого перехода температуры воздуха через 10 °С и массового колошения.

Используя месячный, сезонный прогнозы погоды (или средние многолетние данные), после массового колошения определяются на шесть–семь декад вперед средние декадные температуры воздуха для каждой метеорологической станции. Дата наступления восковой спелости озимой пшеницы сорта Мироновская-808 рассчитывается по сумме эффективных температур, равной 500 °С, после даты массового колошения.

Затем определяется ожидаемая дата колошения, и по средним декадным значениям температуры воздуха рассчитывается средняя температура воздуха за период от массового колошения до восковой спелости.

При расчете средних по области запасов продуктивной влаги в почве и числа колосоносных стеблей необходимо использовать дополнительно материалы наблюдений за влажностью почвы на полях с озимой рожью, данные агрометпостов и маршрутных наземных определений.

ВОПРОСЫ

1. *Какие сроки сева озимых зерновых культур считаются оптимальными?*
2. *Дайте определение терминов «сумма эффективных температур», «сумма активных температур».*

3. *Что такое «биологический минимум температуры»?*
4. *Какие запасы влаги в пахотном слое почвы принято считать достаточными?*
5. *Какие параметры используются в уравнениях для расчета площадей с плохим состоянием озимых культур осенью?*
6. *Как составляются прогнозы перезимовки озимых культур?*
7. *Назовите основные причины повреждения и гибели озимых культур в зимний период.*
8. *Дайте характеристику основных типов агрометеорологических условий перезимовки озимых культур с учетом состояния посевов осенью.*
9. *На чем основан метод прогноза запасов продуктивной влаги в почве к началу сева яровых культур?*
10. *Каковы важнейшие факторы, влияющие на сроки начала полевых работ и сроки сева ранних яровых культур?*
11. *Расскажите о методике составления прогноза теплообеспеченности вегетационного периода.*
12. *Как рассчитать продолжительность вегетационного периода?*
13. *Какие агрометеорологические прогнозы относятся к фенологическим прогнозам?*
14. *Какие температуры называются «балластными»?*
15. *С какой даты начинается расчет сроков наступления восковой спелости яровых культур?*
16. *Какие метеорологические показатели учитываются при внесении удобрений под зерновые культуры?*
17. *Что является критерием целесообразности дозы вносимых удобрений?*
18. *Как учитываются осадки осенне-зимнего периода при определении оптимальной дозы удобрений под яровые культуры?*
19. *Какие виды прогнозов составляются для расчета оптимального режима орошения зерновых культур?*
20. *Какие исходные данные необходимы для составления прогноза сроков и норм полива?*
21. *Расскажите об оросительной норме и поливной норме.*
22. *Какие комплексные показатели используются для расчета прогноза урожайности озимой пшеницы?*

23. *Назовите основные предикторы, используемые при составлении прогнозов урожайности яровой пшеницы, ярового ячменя и кукурузы.*
24. *Какие исходные данные необходимы для агрометеорологических прогнозов урожайности сеяных трав и естественной пастбищной растительности?*
25. *Как составляются оценка и прогноз полегания зерновых культур?*
26. *Объясните влияние влажности воздуха на состояние зерновых культур и на эффективность уборки.*
27. *Расскажите о методе долгосрочного прогноза урожайности зерновых культур на Северном Кавказе.*
28. *Как рассчитывается ожидаемая урожайность зерновых и зернобобовых культур в целом по Российской Федерации с большой заблаговременностью?*
29. *Какие предикторы используются для расчета ожидаемой урожайности семян подсолнечника?*
30. *Какие комплексные показатели увлажнения и теплообеспеченности используются в методиках прогноза урожайности семян многолетних трав.*
31. *Как составляется оценка и прогноз полегания зерновых культур?*
32. *Какие условия уборочного периода приводят к значительным потерям урожая?*
33. *Расскажите о методах агрометеорологических прогнозов качества урожая.*

ГЛАВА 3
ДИНАМИКО-СТАТИСТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОЦЕНКИ УСЛОВИЙ ВЕГЕТАЦИИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ УРОЖАЙНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

Динамико-статистический подход к прогнозированию урожайности и оценке условий произрастания сельскохозяйственных культур разработан и используется при составлении прогнозов средней областной (республиканской, краевой, окружной) урожайности с различной заблаговременностью в течение периода вегетации.

Прикладная динамическая модель на основе стандартной декадной агрометеорологической информации была разработана во ВНИИСХМ (Всероссийском научно-исследовательском институте сельскохозяйственной метеорологии).

3.1. Основные принципы прогнозирования урожайности

Урожайность сельскохозяйственных культур определяется уровнем культуры земледелия, почвенно-климатическими и погодными условиями района возделывания. Временные ряды урожайности сельскохозяйственных культур Y_t обычно рассматривают как сумму двух слагаемых – неслучайной временной функции (тренда) и случайных отклонений от нее:

$$Y_t = f(t) + \varepsilon_t, \tag{3.1}$$

где $f(t)$ – тренд, ε_t – случайная составляющая временного ряда (случайная компонента).

Тренд урожайности является следствием постепенного улучшения культуры земледелия при среднем уровне почвенно-климатических условий. Его уровень зависит от внедрения в практику достижений науки и техники. Изменение случайной компоненты временных рядов урожайности определяется в основном складывающимися агрометеорологическими условиями вегетационного периода конкретных лет.

Прогнозирование урожайности осуществляется с учетом обеих составляющих временного ряда: тренда (путем экстраполяции по одному временному ряду) и отклонений урожайности от сложившегося тренда (с помощью оценки агрометеорологических условий произрастания сельскохозяйственных культур). (Полевой А.Н., 1983, 1988).

Для прогнозирования урожайности $Y_{прог.}$ используется выражение:

$$Y_{прог.} = Y_{t+1} C, \tag{3.2}$$

где Y_{t+1} – тенденция урожайности сельскохозяйственной культуры на прогнозируемый год, C – оценка степени отличия складывающихся (на дату

составления прогноза) агрометеорологических условий формирования урожая культуры от многолетних, на фоне которых формируется тенденция урожайности.

Это выражение раскрывает сущность этого метода прогноза. Тенденция урожайности устанавливается по одному из существующих *статистических* методов, а оценка степени отличия условий данного года по отношению к средним многолетним параметрам – по модели, описывающей ежедекадную *динамику* накопления биомассы растения в зависимости от погодных условий.

3.2. Прогнозирование тенденции урожайности

Наиболее распространенным подходом к решению задач прогнозирования тенденции урожайности является экстраполяция действующих в настоящее время связей и закономерностей на будущее. Разработанные в соответствии с этим принципом методы прогнозов тенденции урожайности различаются лишь гипотезами о конкретных видах сохраняемых связей. При прогнозировании тенденции урожайности сельскохозяйственных культур применяются разные методы прогнозов по одному временному ряду: авторегрессионные модели, метод экспоненциального сглаживания, метод гармонических весов, прогноз с помощью метода марковских цепей и т.д.

При анализе временных рядов урожайности часто применяется метод наименьших квадратов, при котором все наблюдения временного ряда имеют одинаковый вес (вклад). Но известно, что ожидаемый уровень тенденции урожайности в большей степени зависит от уровня, достигнутого в предыдущие годы. Ранние наблюдения также несут некоторую информацию, но при анализе им следует придавать меньшие веса по сравнению с более поздними наблюдениями.

В методах прогноза по одному временному ряду делается предположение относительно вида тренда; форма и его параметры определяются в результате подбора наилучшей функции из числа имеющихся. По сравнению с другими методами метод гармонических весов, используемый для прогнозирования тенденции урожайности сельскохозяйственных культур, имеет то преимущество, что в предположениях относительно вида тренда здесь нет необходимости (Полевой А.Н., 1988).

Проведя многочисленные расчеты тренда по одному временному ряду с помощью различных статистических методов, разработчики остановились на методе гармонических весов как основном.

Основная идея метода гармонических весов: наблюдения временного ряда взвешиваются так, чтобы более поздним наблюдениям придавались большие веса, т.е. влияние более поздних наблюдений сильнее отражается на прогнозируемой оценке, чем влияние ранних наблюдений (Полевой А.Н., 1988).

Например, имеется временной ряд урожайности:

$$Y_t(t = 1, 2, ..., n). \tag{3.3}$$

В качестве некоторого приближения $\hat{f}(t)$ истинного тренда $f(t)$ принимается ломаная линия, сглаживающая заданное число точек временного ряда Y_t. Отдельные отрезки ломаной линии (скользящего тренда) представляют его отдельные фазы. Каждая фаза скользящего тренда выражается уравнением линейных отрезков:

$$Y_i(t) = a_i + b_i t, \quad (i = 1, 2, ..., n - k + 1). \tag{3.4}$$

где k – число сглаживающих точек ряда меньше n.

Общее число уравнений равно $n - k + 1$, причем для $i = 1$, $t = 1, 2, ..., k$; для $i = 2$, $t = 2, 3, ..., k + 1$; для $i = n - k + 1$, $t = n - k + 1, n - k + 2, ..., n$. Параметры a и b (3.4) определяются методом наименьших квадратов.

Значение каждой функции $Y_i(t)$ определяем в точках t = $i - h + 1$, ($h = 1, 2, ..., k$).

Количество определений $Y_i(t)$ в каждой точке t обозначим через g_i. Точки скользящего тренда – это средние значения всех $Y_i(t)$, которые обозначаются $Y_j(t)$ и определяются по выражению:

$$\overline{Y}_j = \frac{1}{g_i}\sum_{i=1}^{g_i} Y_j(t), \ (j = 1, 2, ..., g_i). \tag{3.5}$$

Предсказываемое значение временного ряда $\overline{Y}_{t+1}$ получается по формуле:

$$Y_{t+1} = \overline{Y}_t + \overline{\omega}_{t+1}, \tag{3.6}$$

где $\overline{\omega}_{t+1}$ – среднее приростов урожайности $f(t)$.

Приросты ω_{t+1} функции $f(t)$ определяются как:

$$\omega_{t+1} = f(t + 1) - f(t) = \overline{Y}_{t+1} - \overline{Y}_t. \tag{3.7}$$

Вычисляется средняя величина приростов

$$\overline{\omega} = \sum_{t=1}^{n-1} C_{t+1}^{n}\, \omega_{t+1}, \tag{3.8}$$

где C_{t+1}^{n} – коэффициенты, удовлетворяющие следующим условиям:

$$C_{t+1}^{n} > 0, \ (t = 1, 2, \ldots, n - 1); \tag{3.9}$$

$$\sum_{t=1}^{n-1} C_{t+1}^{n} = 1. \tag{3.10}$$

Гармонические коэффициенты определяются по формуле:

$$C_{t+1}^{n} = \frac{m_{t+1}}{n-1}, \tag{3.11}$$

где m_{t+1} – гармонические веса.

Выражение (3.8) позволяет придавать более поздним наблюдениям большие веса. Если самые ранние наблюдения имеют вес:

$$m_2 = \frac{1}{n-1}, \tag{3.12}$$

то вес информации m_3, относящийся к следующему моменту времени, будет определяться как:

$$m_3 = m_2 + \frac{1}{n-2}. \qquad (3.13)$$

Таким образом, ряд гармонических весов определяется по уравнению:

$$m_{t+1} = m_t + \frac{1}{n-t}, \; t = 2, 3, \ldots, n-1 \qquad (3.14)$$

с начальным значением, выраженным уравнением (3.12).

Предсказываемое значение тенденции временного ряда урожайности определяется по формуле:

$$\overline{Y}_{t+1} = \overline{Y}_t + \overline{\omega} \qquad 3.15)$$

при начальном условии $\overline{Y}_t = \overline{Y}_{прог.}$.

При расчете тенденции урожайности сельскохозяйственной культуры по методу гармонических весов на прогнозируемый год необходимо учитывать, что временной непрерывный интервал, в котором рассматривается средняя по субъекту урожайность сельскохозяйственной культуры, должен содержать не менее 20 лет. Число сглаживающих точек (k) устанавливается для каждого ряда свое исходя из величины отклонения прогнозируемого урожая от фактического.

Для прогнозирования тенденции урожайности сельскохозяйственных культур используются ежегодные данные Росстата о средней по субъекту Российской Федерации урожайности по всем категориям хозяйств. Урожайность измеряется в центнерах с гектара.

3.3. Оценка агрометеорологических условий вегетации

При прогнозировании урожайности оценка степени отличия складывающихся агрометеорологических условий от средних многолетних требует своего количественного выражения.

В основу количественной оценки агрометеорологических условий произрастания сельскохозяйственных культур положено выражение:

$$C = m_p / \overline{m}_p, \qquad (3.16)$$

где C – оценка условий, m_p – биомасса репродуктивных органов (хозяйственно-полезной части растения), рассчитанная по модели с использованием информации, характеризующей условия оцениваемого периода; $\overline{m}_p$ – рассчитанная по модели на основе среднемноголетних данных биомасса репродуктивных органов.

Численное значение оценки позволяет количественно характеризовать условия формирования урожая. Если численное значение оценки близко к 1, то агрометеорологические условия оцениваемого периода близки к средним многолетним. Значение «C» больше 1 означает, что условия оцениваемого периода более благоприятны для формирования

урожая по сравнению со средними многолетними. Худшие условия формирования урожая по сравнению со среднемноголетними условиями характеризуются значением оценки меньше 1.

Оценка условий вегетации сельскохозяйственных культур на территории субъектов Российской Федерации проводится ежедекадно в период вегетации. Оценка включает весь период, предшествующий декаде, в которую проводится оценка.

Расчет средней по области оценки агрометеорологических условий вегетации производится с помощью динамической модели формирования урожая.

Выполняются следующие расчеты:

– расчет динамики биомассы целого растения и отдельных его органов при среднемноголетних условиях;

– расчет динамики биомассы целого растения и отдельных его органов в оцениваемом году;

– сравнение биомассы репродуктивных органов, рассчитанной с учетом фактических данных, с биомассой репродуктивных органов, рассчитанной при средних многолетних условиях, т.е. рассчитывается оценка условий вегетации.

3.4. Базовая динамическая модель формирования урожая

Динамические модели продукционного процесса растений, ориентированные на их применение в агрометеорологических расчетах и прогнозах, количественно описывают процессы фотосинтеза, дыхания и роста.

На рисунке 3.1 приведена структурная схема динамической модели формирования урожая. (Сиротенко О.Д., 1981, Полевой А.Н., 1988). Модель содержит четыре основных блока, они выделены на рисунке пунктиром.

Первый блок – агрометеорологический – включает преобразование исходной агрометеорологической информации, три последующих биологических блока – фотосинтеза, дыхания и роста – охватывают расчет интенсивности процессов фотосинтеза и дыхания, распределения продуктов фотосинтеза и роста отдельных органов растения, в том числе и репродуктивных, необходимых для расчета оценки условий вегетации.

3.4.1. Блок фотосинтеза

Растения «строят» свое органическое вещество в тканях зеленого растения из углекислого газа, воды и солнечной энергии, это сложный многоступенчатый процесс – фотосинтез (Шульгин И.А. 1973, 2009). ***Фотосинтез*** – это процесс трансформации поглощенной растением электромагнитной энергии солнечного света в химическую энергию органических (и неорганических) соединений.

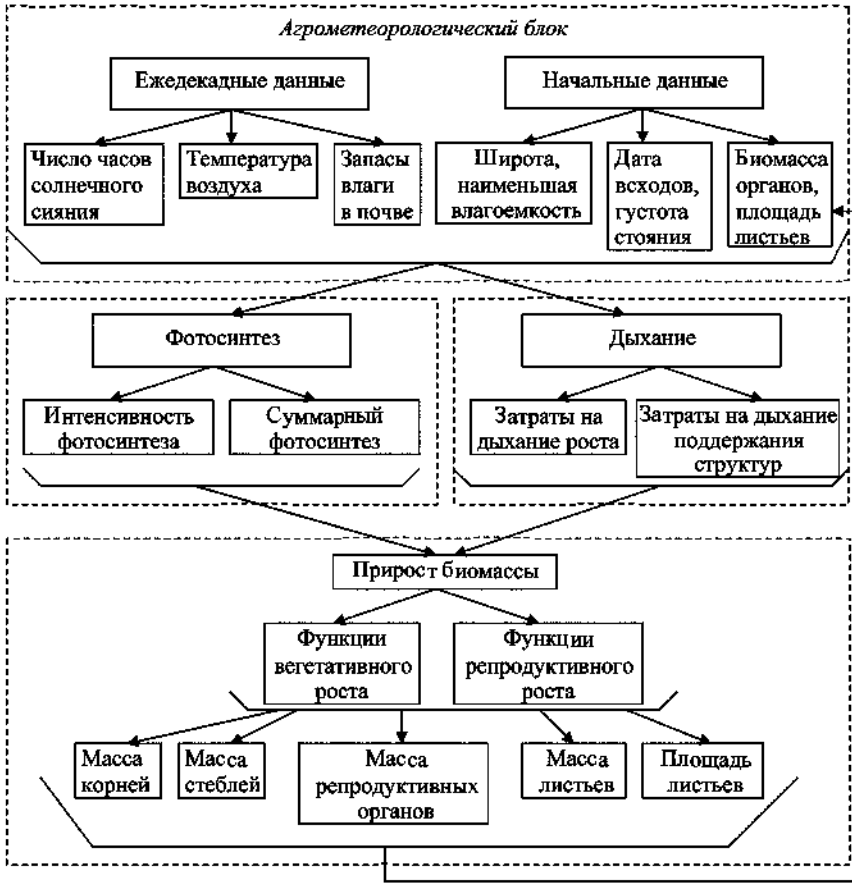


Рис. 3.1. Структурная схема формирования урожая (Полевой А.Н., 1988)

При описании процесса фотосинтеза за основу взято уравнение Монси и Саэки (1953) (уравнение световой кривой фотосинтеза):

$$\Phi_0^j = \frac{kbI^j}{k + bI^j}, \tag{3.17}$$

где Φ_0^j – интенсивность фотосинтеза листьев при оптимальных условиях тепло- и влагообеспеченности в реальных условиях освещенности; k – интенсивность фотосинтеза при световом насыщении; b – начальный наклон световой кривой фотосинтеза; I^j – интенсивность фотосинтетически активной радиации (ФАР); j – номер расчетной декады.

Фотосинтетически активная радиация (ФАР) – биологически активный участок коротковолновой радиации (в спектральной области 380–710 нм), используемой растениями в процессе фотосинтеза.

Общий вид световой кривой фотосинтеза приведен на рис. 3.2. Параметр k характеризует плато световой кривой фотосинтеза, а параметр b – наклон световой кривой фотосинтеза при малых интенсивностях ФАР и находится как тангенс угла наклона световой кривой.

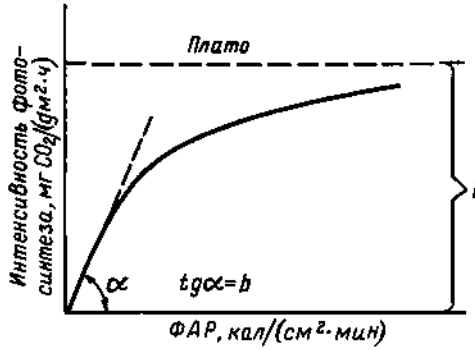


Рис. 3.2. Параметры световой кривой фотосинтеза (Тооминг Х.Г., 1977)

Уравнение (3.17) применимо для расчета фотосинтеза в биологически оптимальных условиях среды. Для расчета фотосинтеза в реальных условиях учитывается фаза развития растений и влияние факторов тепла и влаги.

Тогда для реальных условий среды уравнение (3.17) приобретает следующий вид:

$$\Phi_{\text{г}}^{j} = \Phi_{0}^{j} \alpha_{\Phi}^{j} \psi^{j} \gamma^{j}, \tag{3.18}$$

где Φ^{j} – фотосинтез в реальных условиях среды; α_{Φ} – онтогенетическая кривая фотосинтеза; ψ и γ – функции влияния температуры воздуха и влажности почвы.

Фотосинтетическая активность листьев различна на разных этапах онтогенеза отдельного листа и растения в целом. В онтогенезе целого растения наименьшей интенсивностью фотосинтеза обладают листья в фазе всходов у яровых культур и в фазе возобновления вегетации у озимых, когда анатомическая и морфологическая структура листа не обеспечивает оптимума фотосинтетической активности. К фазе колошения формируется оптимальная структура листьев.

Изменение фотосинтеза в онтогенезе учитывается через функцию α_{Φ}, которая описывает интенсивность фотосинтеза в зависимости от физиологического возраста растения.

Онтогенетическая кривая фотосинтеза представляет собой одновершинную кривую (рис. 3.3), описываемую выражением:

$$\alpha_{\Phi}^{j} = e^{-a\left(\frac{TS_2 - \Sigma t_{l_1}}{10}\right)^2}, \tag{3.19}$$

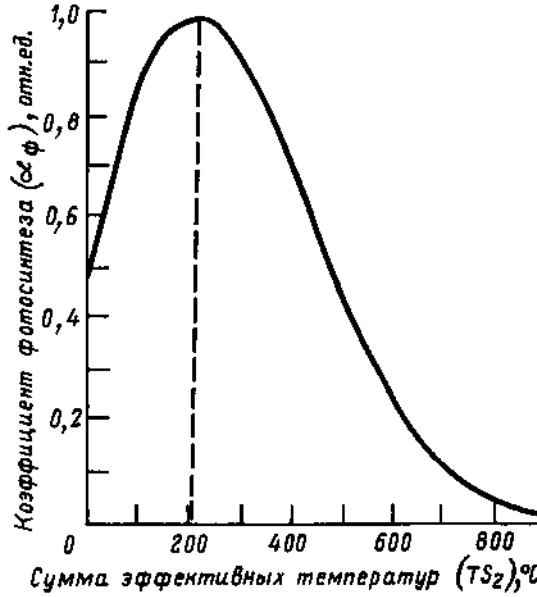


Рис. 3.3. Онтогенетическая кривая фотосинтеза

в которой параметр a находится с помощью формулы:

$$a = \frac{-100 \ln \alpha_{\Phi_0}}{(\sum t_{l_1})^2}, \qquad (3.20)$$

где TS_2 – сумма эффективных температур нарастающим итогом; $\sum t_{l_1}$ – сумма эффективных температур, при которой наблюдается максимальная интенсивность фотосинтеза листьев; α_{Φ_0} – начальная интенсивность фотосинтеза по отношению к максимально возможной на начало вегетации при TS_2 = 0.

Температурная кривая фотосинтеза аппроксимирована выражением

$$\psi = \left(\frac{\theta^j + 0,0001}{2}\right)^{7,74\left(\frac{\theta^j - 1}{10}\right)} \left(\frac{\left|1,4 - \theta^j\right|}{0,4}\right)^{38\left(\frac{\theta^j - 1}{10}\right)}, \qquad (3.21)$$

в котором:

$$\theta^j = \frac{t^j}{t_{опт.q}}, \qquad (3.22)$$

где t – средняя температура воздуха; $t_{опт.\,q}$ – оптимальная для q-го периода вегетации температура воздуха. На рис. 3.4. приведена температурная кривая фотосинтеза озимой пшеницы.

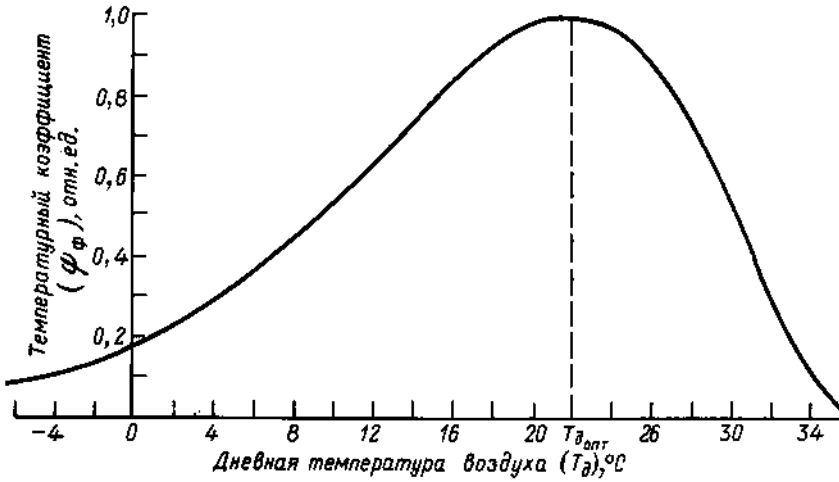


Рис. 3.4. Температурная кривая фотосинтеза озимой пшеницы ($T_{д_{опт.}}$ – оптимальная дневная температура воздуха для фотосинтеза озимой пшеницы)

Кривая, характеризующая влияние влажности почвы на фотосинтез (рис. 3.5), аппроксимирована выражением:

$$\gamma^j = -1{,}163\left(\frac{W^j}{k_q W_{нв}}\right)^2 + 2{,}187\left(\frac{W^j}{k_q W_{нв}}\right), \qquad (3.23)$$

где W – запасы продуктивной влаги в почве; $W_{НВ}$ – наименьшая влагоемкость; k_q –параметр, характеризующий изменение оптимальных для q-го периода вегетации значений влажности почвы.

Для учета влияния температуры воздуха и влажности почвы используются функции влияния этих показателей, меняющиеся от 0 до 1 (рис. 3.4, 3.5).

Выход сухой массы из описанного процесса фотосинтеза рассчитывается на относительную площадь ассимилирующей поверхности листьев за светлое время суток:

$$\Phi^j = \varepsilon \Phi_\tau^j L^j \tau_д^j, \qquad 3.24)$$

где Φ_τ – сухая масса посева, г·м^2·сут$^{-1}$; L – относительная площадь ассимилирующей поверхности листьев, м^2·м$^{-2}$; ε – коэффициент пересчета в единицы сухой массы, г·мг$^{-1}$ CO_2; $\tau_д$ – продолжительность светлого времени суток, ч.

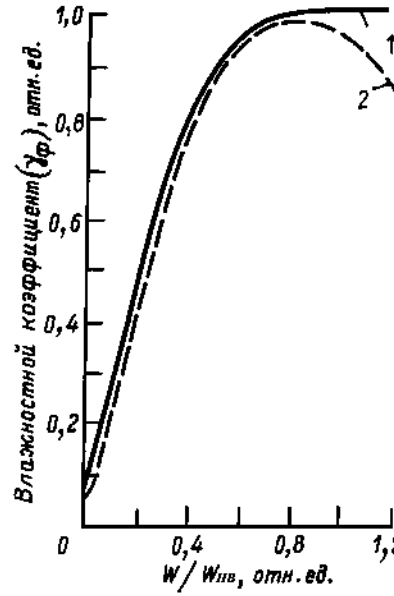


Рис. 3.5. Функция воздействия влажности почвы на фотосинтез: 1 – супесчаные почвы; 2 – суглинистые почвы

3.4.2. Блок дыхания

Энергетические затраты на дыхание количественно устанавливаются по потерям сухой массы растений с 1 м^2 в зависимости от возраста растения. Общепринятым при моделировании дыхания является подход, основанный на разделении дыхания на дыхание роста (связано с передвижением веществ, с фотосинтезом и созданием новых структурных единиц: белков, липидов, клеточных стенок и т.д.) и дыхание поддержания структур органов растения (Тооминг Х.Г., 1977). Весьма существен при этом учет изменения интенсивности дыхания в онтогенезе. Хорошо известно, что наиболее интенсивно дышат молодые, растущие ткани; при старении уровень дыхательного газообмена снижается. В принятой структуре модели изменение дыхательной активности растений в целом оценивается через онтогенетическую кривую дыхания α_R, характеризующую влияние возраста растения на интенсивность дыхания. Онтогенетическая кривая дыхания имеет вид, аналогичный онтогенетической кривой фотосинтеза и описывается выражением, аналогичным (3.19), (3.20). Положение максимума онтогенетической кривой дыхания определяется суммой эффективных температур $\sum t_{l_3}$, при которой наблюдается максимальная интенсивность дыхания (Полевой А.Н., 1988).

Энергетические затраты на дыхание R определяются по выражению:

$$R^j = \alpha_R^j (C_1 M^j + C_2 \Phi^j), \tag{3.25}$$

где M – сухая биомасса посева, г·м$^{-2}$; C_1 и C_2 – соответственно коэффициенты затрат на дыхание, связанное с поддержанием структур органов растения и дыханием роста.

3.4.3. Блок роста

В динамике общий прирост биомассы посева ΔM за расчетный период времени Δt определяется как разность между интенсивностью фотосинтеза посева за светлое время суток и затратами на дыхание:

$$\frac{\Delta M^j}{\Delta t} = \Phi^j - R^j. \tag{3.26}$$

Решающее значение при моделировании процесса формирования урожая приобретает определение прироста биомассы отдельных органов, в том числе и репродуктивных, т.е. распределение ассимилятов между органами.

Для описания скорости изменения сухой биомассы отдельных органов в течение вегетационного периода принята следующая система уравнения:

$$\left.\begin{aligned} m_i^{j+1} &= m_i^j + \left(\beta_i^j \frac{\Delta M^j}{\Delta t} - \upsilon_i^j m_i^j\right) n \\ m_p^{j+1} &= m_p^j + \left(\beta_p^j \frac{\Delta M^j}{\Delta t} - \sum_i^{l,s,r} \upsilon_i^j m_i^j\right) n \end{aligned}\right\}, \tag{3.27}$$

$$i \in l, s, r, p$$

где m_i – общая сухая биомасса отдельных органов (l – листья, s – стебли, r – корни, p – репродуктивные органы); β_i – функция распределения «свежих», вновь созданных ассимилятов; υ_i – функция перераспределения между органами «старых», ранее запасенных ассимилятов; n – число дней в расчетной декаде.

Ростовые функции периода вегетационного роста при этом

$$\beta_i^j \geq 0, \quad i \in l, s, r, p,$$

$$\beta_i^j + \beta_r^j + \beta_s^j + \beta_p^j = 1.$$

Функции периода репродуктивного роста также имеют ограничения:

$$\upsilon_i^j \leq 0, \quad i \in l, s, r.$$

В течение вегетационного периода ростовые функции рассчитываются по методу, предложенному А.Н. Полевым (1983).

Вид предлагаемых ростовых функций зависит от суммы эффективных температур, равной половине всей суммы, необходимой для завершения

роста каждого органа: $\sum t_{l_2}$ – сумма листьев, $\sum t_{s_2}$ – сумма стеблей, $\sum t_{r_2}$ – сумма корней, $\sum t_{p_2}$ – сумма колоса, клубней, коробочки; $\sum t_p$ – сумма эффективных температур, с которой начинается рост репродуктивных органов. На рис. 3.6. в качестве иллюстрации показан вид функций периода вегетативного роста у озимой пшеницы.

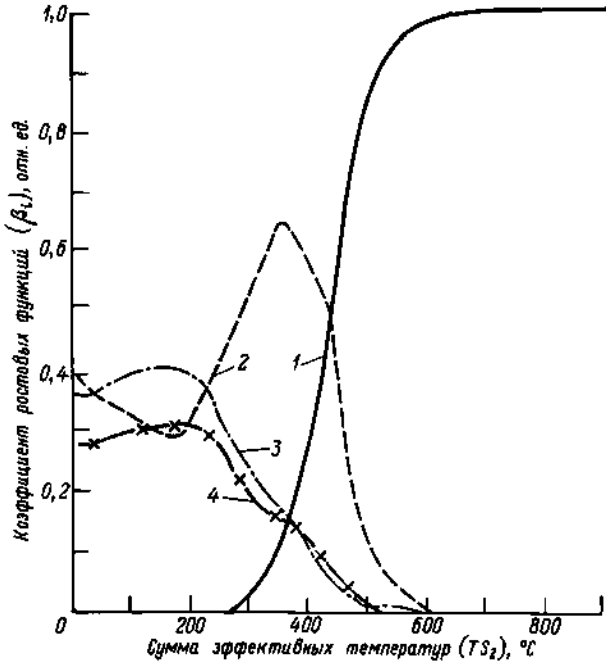


Рис. 3.6. Ростовые функции периода вегетативного роста озимой пшеницы: 1 – репродуктивных органов (β_p); 2 – стеблей (β_s); 3 – листьев (β_l); 4 – корней (β_r)

На рис. 3.7 показана динамика накопления биомассы вегетативных и репродуктивных органов растения.

Перераспределение «старых» ассимилятов υ из листьев, стеблей и корней в репродуктивные органы начинается с момента завершения роста каждого из этих органов:

$$\upsilon_i^j = \frac{0,3\,TS_1^j}{(2t^2_{p\,опт.} - t_p) - 2t^2_{i\,опт.}}, \qquad (3.28)$$

где TS_1 – средняя температура воздуха за декаду; $t^2_{p\,опт.}$ – оптимальная сумма температур для роста репродуктивных органов; t_p – сумма средних декадных температур, с накопления которой начинается формирование репродуктивных органов.

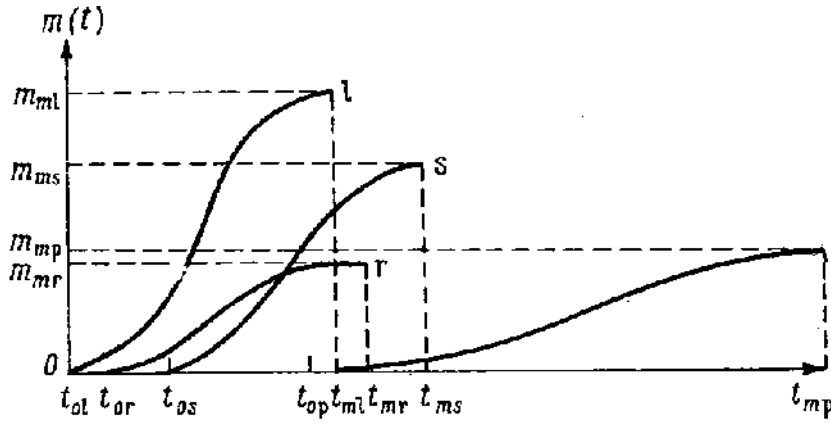


Рис. 3.7. Динамика накопления биомассы вегетативных и репродуктивных органов растения: t_{0l}, t_{0s}, t_{0r} и t_{0p} – соответственно время начала роста листьев, стеблей, корней и репродуктивных органов; t_{ml}, t_{ms}, t_{mr} и t_{mp} – время завершения роста листьев, стеблей, корней и репродуктивных органов

Масса всего растения за расчетную декаду:

$$M^j = m_l^j + m_s^j + m_r^j + m_p^j. \qquad (3.29)$$

Продуктивность посевов определяется площадью ассимилирующей поверхности растений, от которой зависит эффективность использования ФАР и в конечном счете интенсивность фотосинтеза посевов.

Рост площади листьев посева определяется при положительном приросте биомассы листьев по формуле (Галямин Е.П., 1981):

$$L^{j+1} = L^j + \frac{\Delta m_l^j}{\Delta t}\frac{l}{Z_l} \quad \text{при} \quad \frac{\Delta m_l^j}{\Delta t} \geq 0, \qquad (3.30)$$

где Z_l – удельная поверхностная плотность листьев.

Уравнение для расчета площади ассимилирующей поверхности при «старении» листьев имеет следующий вид (Полевой А.Н., 1983):

$$L^{j+1} = L^j + \frac{\Delta m_l^j}{\Delta t}\frac{l}{Z_l k_s} \quad \text{при} \quad \frac{\Delta m_l^j}{\Delta t} < 0, \qquad (3.31)$$

где k_s – параметр, характеризующий критическое значение уменьшения живой биомассы листьев, при котором начинается ее отмирание.

3.4.4. Агрометеорологический блок

Для расчета скорости фотосинтеза необходимы данные об интенсивности фотосинтетически активной радиации (ФАР) в посеве. Поглощенная

посевом ФАР I^j вычисляется по формуле А.И. Будаговского (Росс Ю.К., 1975):

$$I^j = \frac{I_0^j}{1 + cL^j}, \tag{3.32}$$

где I_0^j – интенсивность ФАР на верхней границе посева в расчетной декаде, кал·см$^{-2}$·мин$^{-1}$; c – эмпирическая постоянная.

Поток ФАР на верхнюю границу посева определяется по формуле:

$$I_0^j = 0{,}5Q^j \Big/ 60\tau_\partial^j, \tag{3.33}$$

где Q – суммарная солнечная радиация, кал·см$^{-2}$·сут$^{-1}$; τ_∂ – продолжительность светлого времени суток, ч.

Суммарная солнечная радиация рассчитывается по данным наблюдений за продолжительностью солнечного сияния по формуле С.И. Сивкова (1968):

$$Q^j = 12{,}66\,(S^j)^{1{,}31} + 315\,(\sin(h_n^j))^{2{,}1}, \tag{3.34}$$

где S – продолжительность солнечного сияния; h_n – полуденная высота Солнца, которая определяется по формуле:

$$\sin h_n^j = A^j + B^j, \tag{3.35}$$

где $A = \sin\varphi \cdot \sin\delta$; $B = \cos\varphi \cdot \cos\delta$; φ – географическая широта станции; δ – склонение Солнца.

Таблица склонений Солнца для весенних и летних месяцев аппроксимирована полиномом (Абашина Е.В., Просвиркина А.Г., Сиротенко О. Д., 1977):

$$\delta = [0{,}473(t_0 + \mathrm{j}) - 0{,}196 \cdot 10^{-2}\,(t_0 + \mathrm{j})^2 - 0{,}407 \cdot 10^{-5}\,(t_0 + \mathrm{j})^3 - 0{,}616] \cdot 0{,}017453, \tag{3.36}$$

где t_0 – число дней от 20 марта до дня появления всходов; j – номер дня расчетного периода (только для этой формулы).

Склонение Солнца вычисляется за каждый j-й день и осредняется за расчетную декаду. Продолжительность светлой части суток τ_∂ (ч) определяется по формулам:

$$\tau_\partial = \tau_з - \tau_в, \tag{3.37}$$

$$\tau_з = 12 + \frac{12}{\pi}\arccos\left(-\frac{A^j}{B^j}\right), \tag{3.38}$$

$$\tau_в = 24 - \tau_з, \tag{3.39}$$

где $\tau_в$ и $\tau_з$ – время восхода и захода Солнца соответственно.

Сумма эффективных температур (TS_2) – сумма средних суточных температур воздуха в расчетной декаде, уменьшенных на величину биологического минимума температуры с начала вегетационного периода нарастающим итогом, °С. Биологический минимум температуры (биологический ноль) – это нижний уровень температуры, при котором

происходит начало жизнедеятельности и активное развитие растений. Для большинства культурных растений умеренного климата биологический минимум температуры находится в пределах 3–5 °С; для растений южного происхождения (кукуруза, рис) – в пределах 10–15 °С.

Настройка модели проводится на средних многолетних данных сети агрометеорологических наблюдений для всех субъектов Российской Федерации. При этом используется следующая средняя многолетняя информация: средняя декадная температура воздуха, средняя декадная продолжительность солнечного сияния, средние декадные запасы продуктивной влаги в почве, густота стояния на декаду всходов и даты наступления фаз развития растений. Средняя многолетняя динамика биомассы посева рассчитывалась от даты всходов (возобновления вегетации) до даты восковой спелости культуры. Так как скорость развития растений в значительной мере зависит от скорости накопления сумм эффективных температур, то в качестве аргумента ростовых функций использовалась временная шкала, выраженная суммой эффективных температур выше биологического ноля. Модель настраивается на получение среднего уровня урожайности культуры в конкретном субъекте Российской Федерации.

Для модели зерновых и зернобобовых культур в целом необходимо учитывать следующее (Русакова Т.И. и др., 2006):

– числовые параметры, входящие константами в формулы, и биометрические параметры, присущие определенной сельскохозяйственной культуре, для зерновых и зернобобовых культур были установлены путем осреднения этих же параметров, определенных для основных культур по отдельности;

– функциональные параметры, характеризующие влияние изменения возраста растения на процессы фотосинтеза, дыхания и роста, выраженные через суммы эффективных температур и устанавливающие точки перегиба, максимума и минимума в функциональных зависимостях, вычисляют в зависимости от средних многолетних дат наступления фаз развития отдельных культур;

– за биологический ноль для этой группы культур принято значение среднесуточной температуры, равной 5 °С;

– начало расчета по модели определяется самой ранней среднемноголетней датой возобновления вегетации озимых культур, а окончание – самой поздней датой восковой спелости поздней теплолюбивой культуры на территории субъекта Российской Федерации.

Далее выполняется верификация модели (проверка ее истинности, адекватности) на конкретных годах с учетом погодичных значений урожайности, и в результате создается динамическая модель, позволяющая рассчитывать ежедекадную оценку условий вегетации сельскохозяйственных растений.

3.5. Динамико-статистические методы прогноза урожайности

3.5.1. Разработка методов прогноза урожайности на основе динамической модели

В системе оперативного агрометеорологического обеспечения сельского хозяйства Росгидрометом был разработан комплекс динамико-статистических методов прогнозов урожайности основных сельскохозяйственных культур.

С течением времени используемые в оперативной практике методы «устаревают» и перестают удовлетворять современным требованиям к качеству, возможностям и заблаговременности составления прогнозов. Для поддержания должного уровня оправдываемости оперативных агрометеорологических прогнозов необходимо разрабатывать новые и усовершенствовать действующие методы прогнозов.

В конце 90-х годов прошлого столетия появилась необходимость разработки нового комплекса динамико-статистических методов агрометеорологических прогнозов урожайности основных сельскохозяйственных культур, обусловленная рядом причин. Главные из них следующие:

– изменение статистической отчетности Федеральной службы государственной статистики (переход на урожайность в доработанном весе);

– сокращение числа агрометеорологических станций и объема наблюдений;

– нерепрезентативность осредненных данных агрометеорологических наблюдений вследствие сокращения числа станций-корреспондентов и объема выполненных на сети станций наблюдений.

В ФГБУ «ВНИИСХМ» за последнее десятилетие был разработан модернизированный комплекс динамико-статистических методов прогнозов урожайности основных сельскохозяйственных культур (озимой ржи, озимой пшеницы, ярового ячменя, яровой пшеницы, зерновых и зернобобовых культур в целом, картофеля). Основная цель разработки нового комплекса методов прогнозов урожайности – обеспечить оперативные подразделения Росгидромета современными методами прогнозов, реализованными на персональном компьютере.

Разработка динамико-статистических методов прогнозов включает ряд этапов:

– установление научно-методических основ разрабатываемого метода;

– теоретические исследования;

– создание динамической модели;

– реализация метода на независимом материале;

– проведение авторских и производственных испытаний метода;

– внедрение методов в оперативную работу структурных подразделений Росгидромета.

В качестве теоретической основы при создании нового комплекса методов были использованы методологические принципы моделирования воздействия условий внешней среды на продуктивность сельскохозяйственных культур, разработанные А.Н. Полевым (1983, 1988, 1991).

Проведение расчетов по базовой модели, описанной в 3.4, в оперативном режиме с учетом текущих погодных условий, включающих перечисленную выше входную информацию с учетом ее осреднения по территории субъекта, в настоящее время невозможно из-за сокращения наземной сети как по количеству наблюдательных пунктов, так и по объему материалов наблюдений. В связи с этим была выполнена корректировка модели с целью сокращения объема исходной оперативной информации, закладываемой в прогностическую модель. При этом степень детализации математического описания моделируемых процессов не изменилась.

Базовая модель претерпела ряд значительных изменений (Т.И. Русакова, Т.А. Гончарова).

1. Повышена чувствительность модели к функциональным параметрам, определяющим влияние возраста растений на интенсивность фотосинтеза, дыхания и ростовые функции, через использование накапливаемой суммы эффективных температур за текущий вегетационный период (ранее это учитывалось через константы в виде среднемноголетних значений сумм температур).

2. Проведенная оценка чувствительности модели к изменению начальных значений биомассы посева и числа часов солнечного сияния позволила оставить в моделях значения этих параметров константами среднемноголетних значений.

3. Продуктивность посевов сельскохозяйственных культур в наибольшей мере определяется метеорологическими факторами, в частности тепло- и влагообеспеченностью вегетационного периода. С этой целью была повышена чувствительность модели к этим входным параметрам через новые функции влияния температуры воздуха и суммы осадков на интенсивность фотосинтеза.

В температурных кривых фотосинтеза, принятых для основных сельскохозяйственных культур, используется такой биологический параметр, как оптимальная для фотосинтеза температура воздуха. Численные значения этого параметра определялись по литературным данным в зависимости от вида и возраста культуры, а принятые значения использовались в моделях в виде констант независимо от почвенно-климатических условий региона.

Функция влияния температуры воздуха на интенсивность фотосинтеза устанавливается по кусочно-линейной интерполяции трех значений температуры воздуха: средней многолетней, оптимальной для периода

развития культуры и декадных погодичных значений температуры воздуха для каждого субъекта Российской Федерации.

Функция влияния влажности почвы на интенсивность фотосинтеза была заменена на функцию влияния осадков. Для этого по каждому субъекту был проведен численный эксперимент и получены погодичные соотношения количества средних декадных осадков за последние десять лет к средним многолетним осадкам. Полученные значения соотношений были нормированы и «уложены» в функцию имеющейся влажностной кривой запасов влаги. Дополнительно полученные кривые функции влияния осадков по субъектам Российской Федерации корректируются в зависимости от периода вегетации растений.

4. Анализ чувствительности модели к входным параметрам и численные эксперименты позволили свести объем входной оперативной информации, закладываемой в модель, к двум основным элементам: средней декадной температуре воздуха и сумме осадков за декаду.

Таким образом, полученные модернизированные динамико-статистические модели продуктивности сельскохозяйственных культур (озимой ржи, озимой пшеницы, ярового ячменя, яровой пшеницы, зерновых и зернобобовых культур в целом, картофеля) описывают влияние погодных условий на основные процессы жизнедеятельности растений, в результате которых формируется их продуктивность.

Разработанные в ФГБУ «ВНИИСХМ» методики прогноза урожайности на основе модернизированной модели прошли производственные испытания и в настоящее время успешно используются в оперативной практике УГМС и ЦГМС, а также в Гидрометцентре России.

Разработка методов прогноза урожайности базируется на следующих принципах:

– единая методическая основа для составления оценок и прогнозов для всех сельскохозяйственных культур;

– оптимальный объем исходной оперативной информации, обеспеченной системой наблюдений Росгидромета;

– новые ряды урожайности сельскохозяйственных культур с уборочных площадей в весе после доработки;

– поэтапное прогнозирование в течение периода вегетации культур;

– единые сроки составления оценок и прогнозов по сельскохозяйственным культурам;

– автоматизированная технология составления оценок и прогнозов на персональном компьютере;

– единая технология оценки оправдываемости прогнозов.

3.5.2. Прогнозирование урожайности в оперативном режиме

Динамико-статистические прогнозы урожайности составляются в оперативных структурных подразделениях Росгидромета согласно Плану выпуска оперативных агрометеорологических прогнозов.

В оперативном режиме прогнозы урожайности озимой ржи и озимой пшеницы составляются 21 мая и уточняются 21 июня; яровой пшеницы, ярового ячменя – 21 июня и уточняются 21 июля; зерновых и зернобобовых культур в целом составляются 21 мая и уточняются 21 июня и 21 июля; картофеля – 1 августа.

В ФГБУ «Гидрометцентр России» составление прогнозов включено в Информационно-прогностическую систему и осуществляется полностью в автоматизированном режиме для всех субъектов Российской Федерации (см. гл. 5).

В структурных подразделениях УГМС, ЦГМС составление прогнозов ожидаемой урожайности культур проводится на персональном компьютере с занесением вручную входных данных для относящихся к ним субъектов Российской Федерации. Для проведения расчетов разработано программное обеспечение и методические указания.

Последовательность операций при составлении прогноза урожайности сельскохозяйственных культур в оперативном режиме рассмотрим на примере расчета ожидаемой урожайности яровой пшеницы в Иркутской области. Для составления прогноза необходимо войти в основное меню программного комплекса и выбрать первый пункт «Прогноз урожайности» (рис. 3.8).

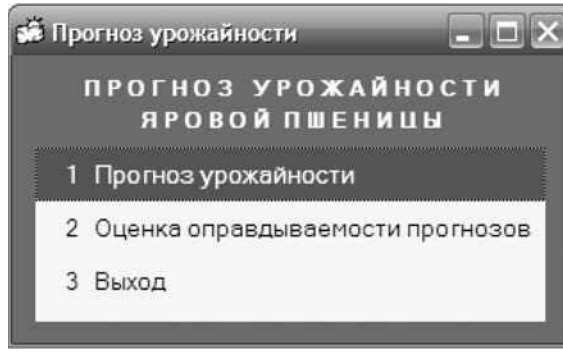


Рис. 3.8. Основное меню программного комплекса

Для подготовки файла исходной информации в оперативные сроки в подменю «Входные данные для прогноза» (рис. 3.9) необходимо задать год и срок составления прогноза и в открывшемся файле занести входные данные для прогноза.

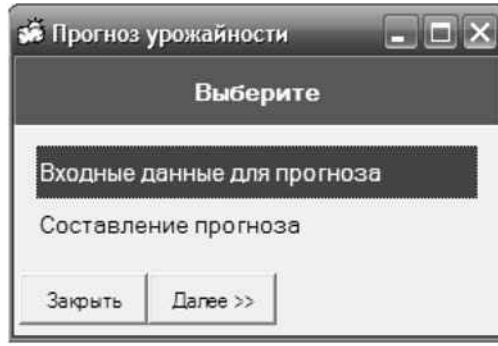


Рис. 3.9. Пункт меню «Входные данные для прогноза»

Для каждой области необходимо дополнить файл данных исходной информацией прогнозируемого года: значениями фактической урожайности культуры за предшествующий год, средними декадными значениями температуры воздуха и суммами осадков за соответствующие декады (рис. 3.10). Строка комментариев t35, t16 и т.д. означает: t – температура воздуха, 3 – номер декады, 5 – номер месяца. Строка комментариев r35, r16 и т.д. означает: r – сумма осадков, 3 – номер декады, 5 – номер месяца. При этом останутся незаполненными три столбца, которые будут заполнены при уточнении прогноза урожайности (при создании файла входных данных для прогноза на второй срок).

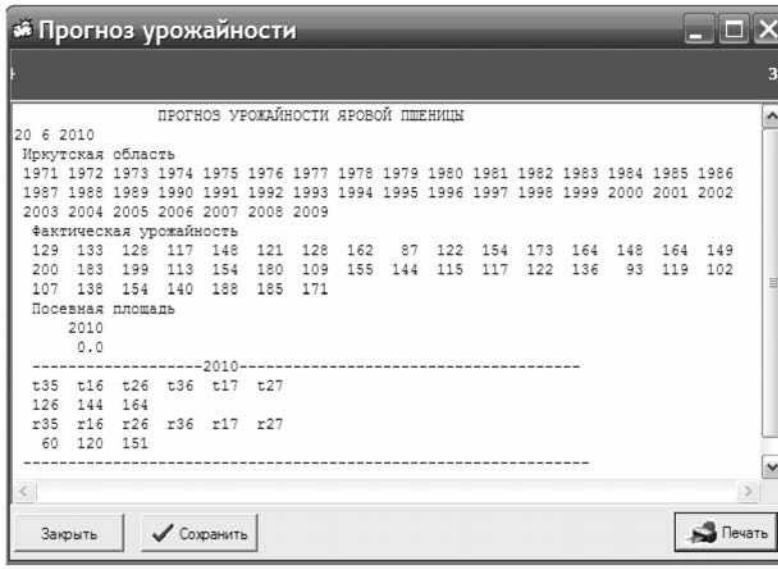


Рис. 3.10. Файл входных данных

После занесения данных входной файл необходимо сохранить и в появившемся меню (см. рис. 3.9) выбрать пункт меню «Составление прогноза», на экране появится файл с результатами расчетов (рис. 3.11).

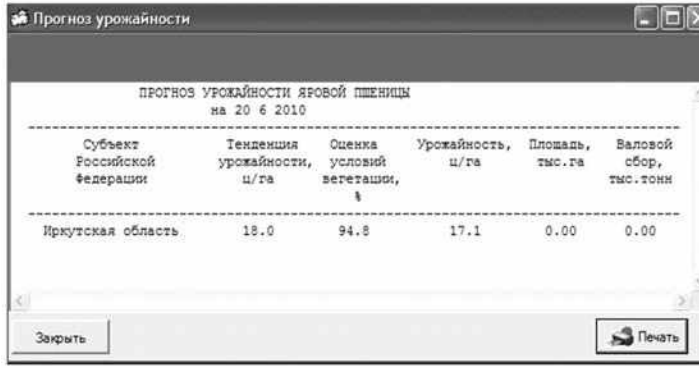


Рис. 3.11. Результат составления прогноза на 20 июня 2010 года

Для составления прогноза урожайности на второй срок прогноза – на 20 июля 2010 года – необходимо отредактировать файл входных данных, созданный в первый срок прогноза (ввести значения средней декадной температуры и сумм осадков за период с третьей декады июня по вторую декаду июля).

После получения данных о фактической урожайности можно оценить качество методики прогноза согласно РД 52.27.284–91 (см. гл. 1). Пример входного файла для оценки оправдываемости метода приведен на рис. 3.12. Результаты оценки качества прогнозов урожайности представлены на рис. 3.13.

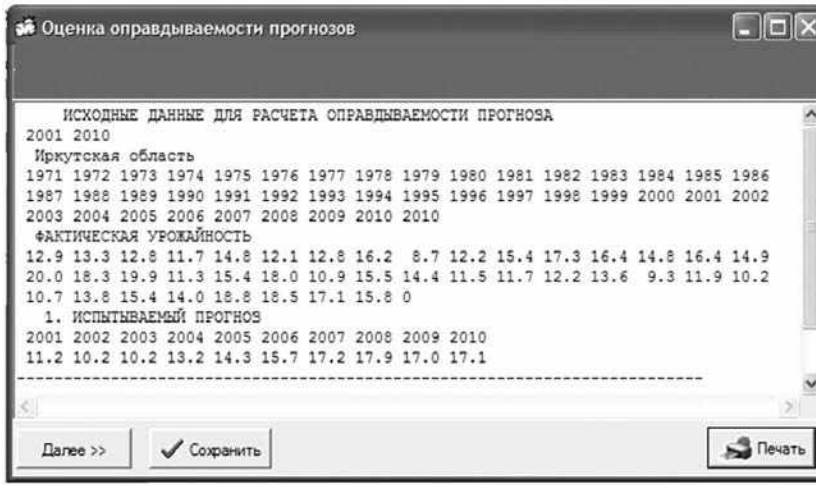
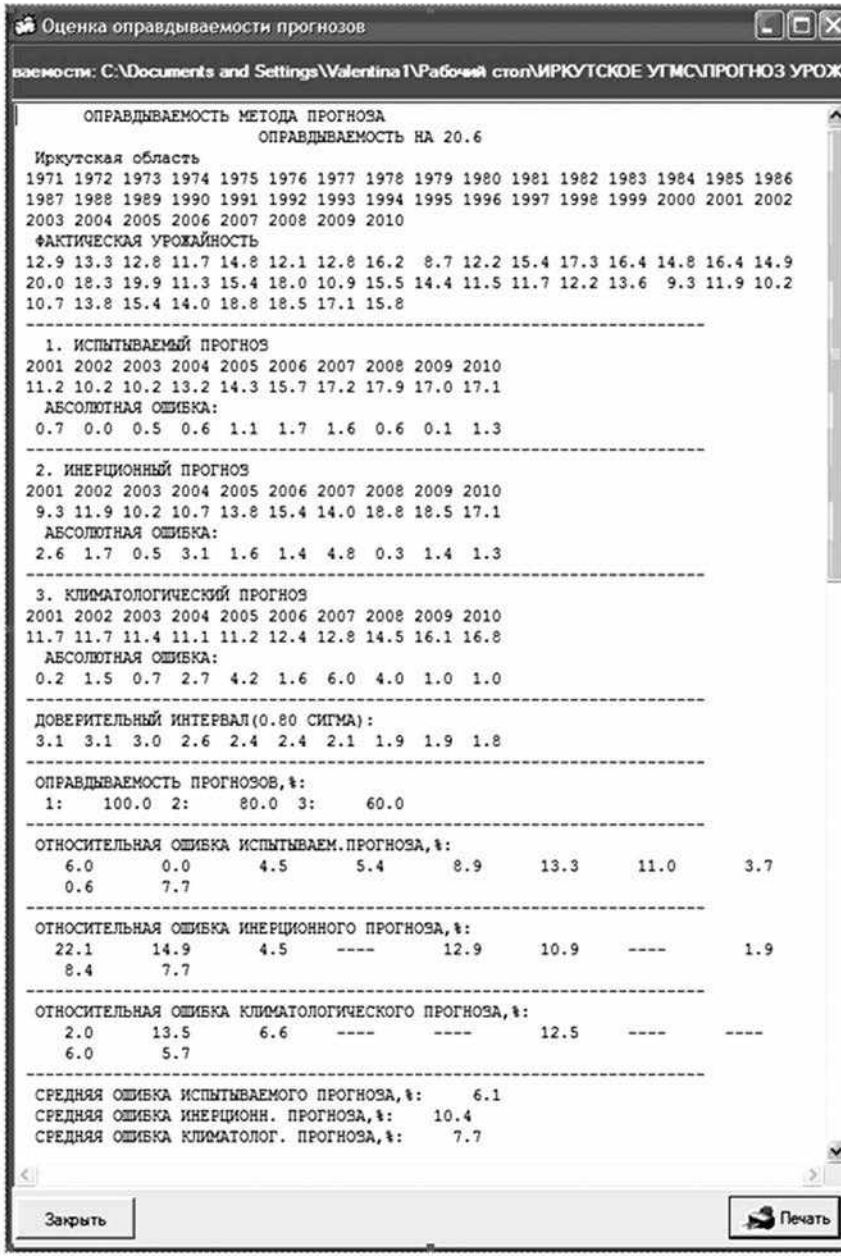


Рис. 3.12. Файл входных данных для расчета оправдываемости прогнозов после редактирования



Оценка оправдываемости прогнозов

ваемости: C:\Documents and Settings\Valentina1\Рабочий стол\ИРКУТСКОЕ УГМС\ПРОГНОЗ УРОЖА

```
      ОПРАВДЫВАЕМОСТЬ МЕТОДА ПРОГНОЗА
                        ОПРАВДЫВАЕМОСТЬ НА 20.6
 Иркутская область
1971 1972 1973 1974 1975 1976 1977 1978 1979 1980 1981 1982 1983 1984 1985 1986
1987 1988 1989 1990 1991 1992 1993 1994 1995 1996 1997 1998 1999 2000 2001 2002
2003 2004 2005 2006 2007 2008 2009 2010
 ФАКТИЧЕСКАЯ УРОЖАЙНОСТЬ
12.9 13.3 12.8 11.7 14.8 12.1 12.8 16.2  8.7 12.2 15.4 17.3 16.4 14.8 16.4 14.9
20.0 18.3 19.9 11.3 15.4 18.0 10.9 15.5 14.4 11.5 11.7 12.2 13.6  9.3 11.9 10.2
10.7 13.8 15.4 14.0 18.8 18.5 17.1 15.8
-----------------------------------------------------------------------
  1. ИСПЫТЫВАЕМЫЙ ПРОГНОЗ
2001 2002 2003 2004 2005 2006 2007 2008 2009 2010
11.2 10.2 10.2 13.2 14.3 15.7 17.2 17.9 17.0 17.1
  АБСОЛЮТНАЯ ОШИБКА:
 0.7  0.0  0.5  0.6  1.1  1.7  1.6  0.6  0.1  1.3
-----------------------------------------------------------------------
 2. ИНЕРЦИОННЫЙ ПРОГНОЗ
2001 2002 2003 2004 2005 2006 2007 2008 2009 2010
 9.3 11.9 10.2 10.7 13.8 15.4 14.0 18.8 18.5 17.1
  АБСОЛЮТНАЯ ОШИБКА:
 2.6  1.7  0.5  3.1  1.6  1.4  4.8  0.3  1.4  1.3
-----------------------------------------------------------------------
 3. КЛИМАТОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОГНОЗ
2001 2002 2003 2004 2005 2006 2007 2008 2009 2010
11.7 11.7 11.4 11.1 11.2 12.4 12.8 14.5 16.1 16.8
  АБСОЛЮТНАЯ ОШИБКА:
 0.2  1.5  0.7  2.7  4.2  1.6  6.0  4.0  1.0  1.0
-----------------------------------------------------------------------
 ДОВЕРИТЕЛЬНЫЙ ИНТЕРВАЛ(0.80 СИГМА):
 3.1  3.1  3.0  2.6  2.4  2.4  2.1  1.9  1.9  1.8
-----------------------------------------------------------------------
 ОПРАВДЫВАЕМОСТЬ ПРОГНОЗОВ,%:
  1:    100.0  2:     80.0  3:     60.0
-----------------------------------------------------------------------
 ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ОШИБКА ИСПЫТЫВАЕМ.ПРОГНОЗА,%:
    6.0       0.0       4.5       5.4       8.9      13.3      11.0       3.7
    0.6       7.7
-----------------------------------------------------------------------
 ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ОШИБКА ИНЕРЦИОННОГО ПРОГНОЗА,%:
   22.1      14.9       4.5      ----      12.9      10.9      ----       1.9
    8.4       7.7
-----------------------------------------------------------------------
 ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ОШИБКА КЛИМАТОЛОГИЧЕСКОГО ПРОГНОЗА,%:
    2.0      13.5       6.6      ----      ----      12.5      ----      ----
    6.0       5.7
-----------------------------------------------------------------------
 СРЕДНЯЯ ОШИБКА ИСПЫТЫВАЕМОГО ПРОГНОЗА,%:     6.1
 СРЕДНЯЯ ОШИБКА ИНЕРЦИОНН. ПРОГНОЗА,%:    10.4
 СРЕДНЯЯ ОШИБКА КЛИМАТОЛОГ. ПРОГНОЗА,%:     7.7
```

Закрыть

Печать

Рис. 3.13. Результаты оценки качества прогноза урожайности яровой пшеницы по Иркутской области, составленные на первый срок прогноза (20 июня)

3.5.3. Усовершенствование динамико-статистических методов прогнозирования урожайности

В настоящее время научные исследования в области динамико-статистического прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур в ФГБУ «ВНИИСХМ» проводятся в нескольких направлениях:

– разрабатываются динамико-статистические методы прогноза урожайности для других сельскохозяйственных культур по субъектам Российской Федерации;

– разрабатываются новые динамико-статистические методы с использованием спутниковой информации;

– проводится усовершенствование разработанных ранее методов прогнозов к изменяющимся климатическим условиям;

– проводится адаптация разработанных ранее методов прогнозов к новым сортам сельскохозяйственных культур, имеющих другие биологические особенности и, соответственно, другие уровни урожайности.

Многочисленные исследования показали, что параметры посевов сельскохозяйственных культур, такие как площадь листовой поверхности, биомасса, густота стояния и др., во многих случаях оказывают влияние на отражательные характеристики посевов в отдельных участках спектра и, таким образом, могут быть восстановлены по измерениям указанных характеристик. В этой связи появилась возможность усовершенствования современных методов прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур, основанных на динамических моделях продукционного процесса растений. По орбитальным изображениям сканера MODIS (спутник «Terra») вычисляется вегетационный индекс NDVI (Normalized Difference Vegetation Index):

$$NDVI = (NIR - RED)/(NIR + RED),$$

где NIR и RED – измеряемые яркости инфракрасного и красного каналов сканера MODIS.

Исследование возможностей использования спутниковой информации в динамических моделях прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур позволило сделать следующие выводы:

– сезонный ход NDVI пахотных земель хорошо согласуется с онтогенетической кривой интенсивности фотосинтеза;

– использование NDVI пахотных земель в блоке расчета фотосинтеза в действующей модели прогнозирования урожайности яровой пшеницы дало положительные результаты;

– замена теоретической кривой «сезонного хода фотосинтеза» на измеренные значения вегетационного индекса, получаемого в оперативном режиме со спутника, позволяет повысить точность оценки состояния растений и агрометеорологических условий формирования урожая, особенно в годы с экстремальными условиями.

Таким образом, результаты проведенных исследований показали, что включение спутниковой информации в динамическую модель позволит учитывать важнейший фактор – текущее состояние посевов, что может способствовать повышению качества составляемых прогнозов урожайности сельскохозяйственных культур (Клещенко А.Д., Найдина Т.А., Гончарова Т.А., 2010).

ВОПРОСЫ

1. *Расскажите о прогнозировании тенденции урожайности с помощью метода гармонических весов.*
2. *Как производится оценка условий вегетации сельскохозяйственных культур с помощью динамической модели формирования урожая?*
3. *Что такое фотосинтез?*
4. *Расскажите о блоке дыхания в базовой динамической модели формирования урожая.*
5. *Как определяется общий прирост биомассы посева за расчетный период времени?*
6. *Расскажите об агрометеорологическом блоке в базовой динамической модели формирования урожая.*
7. *Какие этапы включает разработка динамико-статистических методов прогнозов урожайности сельскохозяйственных культур?*
8. *Какие основные принципы используются при разработке методик прогноза урожайности основных сельскохозяйственных культур на основе модернизированной модели?*
9. *В какие сроки составляются прогнозы основных сельскохозяйственных культур в оперативном режиме?*
10. *По каким направлениям проводится работа по дальнейшему усовершенствованию динамико-статистических методов прогнозов урожайности?*

ГЛАВА 4
СИНОПТИКО-СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПРОГНОЗОВ

4.1. Использование синоптико-статистического подхода для оценки ожидаемой урожайности сельскохозяйственных культур

Методы прогнозов урожайности, изложенные в главах 2 и 3, позволяют предсказывать величину ожидаемого урожая лишь по истечении значительной части вегетационного периода. Для зерновых культур дата составления окончательного прогноза, как правило, приходится на период колошения. В этом случае в качестве предсказателей выступают характеристики состояния посевов к моменту составления прогноза, а значит, известные прогнозисту агрометеорологические условия. Такая информация обеспечивает приемлемую точность агрометеорологических прогнозов урожайности, но снижает их эффективность, так как заблаговременность составления прогноза в этом случае ограничена 1–2 месяцами.

Для увеличения заблаговременности и надежности прогноза урожая сельскохозяйственных культур проводится учет осенних и весенних влагозапасов, количество осадков в предшествующий осенне-зимний период и т. д. Однако такая информация не отражает в достаточной степени особенности циркуляции атмосферы и погоду в прогнозируемом году. Поэтому в ряде работ большое внимание уделено оценке особенностей циркуляции в месяцы, предшествующие вегетации растений и обоснованию возможности составления таких долгосрочных прогнозов.

Проведенные исследования в 80-х годах прошлого столетия показали, что параметры циркуляции атмосферы и тепловое состояние поверхности океанов в определенных районах Северного полушария в осенне-зимний период отражают особенности циркуляции атмосферы и характер погоды в предстоящий период вегетации. Последние, в свою очередь, влияют на урожайность сельскохозяйственных культур в том или ином регионе. Это влияние проявляется либо на температурном режиме, либо на количестве осадков вегетационного периода, от которых, прежде всего, зависит продуктивность растений. Для ряда сельскохозяйственных культур в различных регионах получены статистически значимые связи между геопотенциалом на уровне 500 гПа в осенне-зимний период и температурой поверхности воды океанов, с одной стороны, и температурой воздуха, суммой осадков, урожайностью – с другой (Пасов В.М. и др. 1982, 1985, 1986).

Основанием для создания методик прогнозов урожайности сельскохозяйственных культур большой заблаговременности является положение,

согласно которому длительные аномалии в циркуляции атмосферы не возникают внезапно, а подготавливаются всем предыдущим развитием атмосферных процессов в пределах Северного полушария и во всей толще атмосферы. Атмосфера рассматривается как единая система, существенное изменение параметров которой в одном из районов через некоторое время может сказаться в большей или в меньшей степени на ее состоянии в другом районе, иногда весьма удаленном от первого. При этом важную роль играет гидросфера Земли, которая, взаимодействуя с атмосферой, аккумулирует и перераспределяет энергию между отдельными районами земного шара.

Для более четкого усвоения синоптико-статистического метода прогноза урожайности сельскохозяйственных культур ниже приведены пояснения синоптических терминов, используемых в настоящей главе: *циркумполярный вихрь, барическая ложбина, барический гребень, циклон, антициклон, синоптическая карта, геопотенциал, геопотенциал изобарической поверхности, геопотенциальная поверхность, карта барической топографии* (см. словарь терминов и определений на стр. 204).

4.2. Синоптико-статистический метод прогноза урожайности яровой пшеницы до сева в основных районах ее возделывания (на примере Восточно-Сибирского региона)

Согласно результатам исследований В.М. Пасова, Е.А. Аксариной, В.П. Зинченко (1982) оценка особенностей циркуляции атмосферы над Северным полушарием в предвегетационный период позволяет рассчитать прогнозируемую урожайность зерновых культур еще до сева яровых или к моменту возобновления вегетации озимых. Этот подход был использован для разработки методики прогноза урожайности яровой пшеницы до сева в основных районах ее возделывания (в Уральском, Западно-Сибирском, Поволжском, Восточно-Сибирском экономических районах).

При этом анализируются особенности циркуляции атмосферы над Северным полушарием в декабре – феврале на уровнях 100 гПа (≈16 км) и 500 гПа (≈5 км). Основное внимание уделяют исследованию крупных барических образований: положению и интенсивности циркумполярного вихря и связанной с ним ложбины, атлантического и тихоокеанского гребней.

Суть синоптико-статистического метода прогноза урожайности яровой пшеницы заключается в том, что на основе синоптического анализа месяцев, предшествующих вегетации (декабрь – февраль), в годы с экстремальными урожаями яровой пшеницы по картам барической топографии H_{500} (ΔH_{500}) и H_{100} (ΔH_{100}) выявляют особенности циркуляции атмосферы, приводящие в конечном итоге к различным условиям формирования урожая данной культуры. Эти особенности используются для получения

количественных оценок перечисленных барических образований, а также для установления связи между этими оценками и урожайностью яровой пшеницы.

Для примера рассмотрим особенности циркуляции атмосферы над Северным полушарием в годы с различной урожайностью яровой пшеницы в Восточной Сибири.

Восточная Сибирь представляет собой самостоятельный регион, особенности подстилающей поверхности и циркуляции атмосферы в котором в конечном итоге сказываются на условиях формирования погоды, а значит, и на урожайности сельскохозяйственных культур.

В результате анализа особенностей циркуляции атмосферы в зимний период над Северным полушарием в годы с экстремальными урожаями яровой пшеницы в Восточной Сибири на основе выявленных закономерностей была разработана методика прогноза урожайности этой культуры. Авторами выделены определенные типы синоптических процессов, характерных для лет с низкими, средними и высокими урожаями.

По картам H_{100} и ΔH_{100} было установлено, что в *годы с низкими урожаями* яровой пшеницы в Восточной Сибири наблюдается один из двух описанных ниже типов циркуляционных процессов.

Первый тип (рис. 4.1 а). В арктических районах севернее 60° с. ш. располагается очаг наибольших над Северным полушарием отрицательных аномалий. Из этого очага отрицательные аномалии распространяются на юг, чаще всего в районы Атлантики и Сибири, достигая 40–45° с. ш. При этом над северными районами Тихого океана (30–60° с. ш.) располагается полоса положительных аномалий с очагом $\Delta H \geq 10$ дам (в геопотенциальных декаметрах), достигающая 120–180° в. д. Одновременно над Западной Европой, чаще над северной ее половиной, наблюдается очаг положительных аномалий ($\Delta H \geq 10$ дам).

Второй тип (рис. 4.1 б). Весь арктический бассейн (севернее 70° с. ш.) или большая его часть занята очагом положительных аномалий с $\Delta H \geq 10$ дам. Одновременно положительными аномалиями заняты северные районы Тихого океана, где полоса указанных аномалий находится между 130° в. д. и 170° з. д. Часто эти два района связаны между собой, образуя единую зону положительных аномалий.

В *годы с высокими урожаями* яровой пшеницы в Восточной Сибири на уровне 100 гПа часто наблюдается следующая ситуация (рис. 4.1 в).

Над арктическими районами, севернее 60° с. ш. находится очаг отрицательных аномалий, из которого отрицательные аномалии распространяются на Тихий океан и (или) Дальний Восток. При этом над Европой или (и) Северной Атлантикой, или (и) Северной Америкой наблюдается очаг положительных аномалий ($\Delta H \geq 10$ дам). Нулевая изогипса, ограничивающая эти очаги, достигает 75° с. ш. Если при отмеченных выше условиях

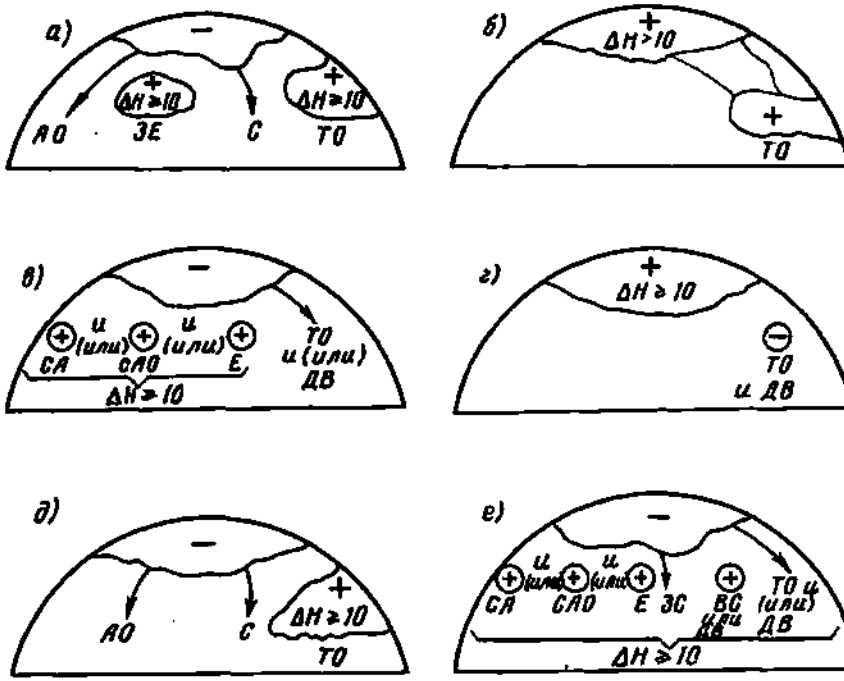


Рис. 4.1. Схема циркуляции атмосферы над Северным полушарием в годы с различной урожайностью яровой пшеницы в Восточно-Сибирском экономическом районе: *а*, *б*, – I и II типы низкого урожая соответственно, *в* – высокий урожай, *г, д, е* – I, II, III типы среднего урожая соответственно АО – Атлантический океан, ЗЕ – Западная Европа, С – Сибирь, ТО – Тихий океан, СА – Северная Америка, сАО – север Атлантического океана, Е – Европа, ДВ – Дальний Восток, ЗС – Западная Сибирь, ВС – Восточная Сибирь

наблюдается еще очаг положительных аномалий над Дальним Востоком или Восточной Сибирью, то отрицательные аномалии от очага в Арктике не должны распространяться на Западную Сибирь.

Поле геопотенциала на уровне 100 гПа в годы со средними урожаями имеет некоторые черты, характерные для лет с экстремальными урожаями, но полностью не повторяет обстановку, складывающуюся в эти годы.

В *годы со средними урожаями* наблюдаются следующие три типа процессов.

Первый тип (рис. 4.1 г). Арктические районы заняты положительными аномалиями с очагом ($\Delta H \geq 10$ дам), а над Дальним Востоком и северными районами Тихого океана наблюдаются отрицательные аномалии.

Второй тип (рис. 4.1 д). Сохраняются почти все условия, характерные для первого типа лет с низкими урожаями, но отсутствует очаг положительных аномалий над Западной Европой.

Третий тип (рис. 4.1 е). Кроме одного признака, наблюдаются условия, характерные для лет с высокими урожаями. Отличие этого типа состоит в том, что если над Восточной Сибирью или Дальним Востоком наблюдается очаг положительных аномалий ($\Delta H \geq 10$ дам), то от наибольшего очага отрицательных аномалий в Арктике аномалии распространяются на Западную Сибирь.

Для количественной оценки особенностей циркуляции атмосферы на уровне 100 гПа в годы с различной урожайностью яровой пшеницы в Восточной Сибири получена зависимость, имеющая вид:

$$\theta'_i = A\beta_0 + B_1\gamma' + B_{2,1}\gamma' + B_{2,2}\gamma''', \qquad (4.1)$$

где: θ'_i – количественная оценка особенностей циркуляции атмосферы в один из трех зимних месяцев (декабрь – февраль); A – величина и знак аномалий в наибольшем над Северным полушарием очаге, расположенном в арктическом районе севернее 60° с. ш.; B_1 – величина и знак аномалий в очаге над северной половиной Тихого океана; $B_{2,1}$ – величина и знак аномалий в очагах над Северной Америкой, Атлантикой либо Европой; $B_{2,2}$ – величина и знак аномалий в очаге над Восточной Сибирью:

$$\beta_0 = \varphi(\beta, \gamma), \qquad (4.2)$$

β_0 – характеризует район, на который распространяются из Арктики аномалии геопотенциала того или иного знака. Величина β может быть представлена в виде $\beta_1 \div \beta_4$ (β_1 – отрицательные аномалии распространяются на Атлантику и Сибирь либо на прилегающие к ним районы Америки и Европы; β_2 – отрицательные аномалии, распространяются на Тихий океан и Западную Сибирь; β_3 – отрицательные аномалии, распространяются на Тихий океан и (или) Дальний Восток; β_4 – в арктическом районе наблюдаются положительные аномалии); γ – характеризует местоположение очагов аномалий геопотенциала над Северным полушарием и может быть представлено в виде $\gamma_1 \div \gamma_5$ (γ_1 – над Западной Европой и Тихим океаном наблюдаются очаги положительных аномалий; γ_2 – над севером Тихого океана и Дальним Востоком очаг отрицательных аномалий, не связанный с циркумполярным вихрем; γ_3 – над Дальним Востоком или Восточной Сибирью очаг положительных аномалий; γ_4 – над Европой или Северной Америкой, или Северной Атлантикой очаг положительных аномалий, иногда эти районы связаны между собой полосой положительных аномалий; γ_5 – над северными районами Тихого океана между 130° в. д. и 170° з. д. располагается полоса положительных аномалий).

Таким образом, для того чтобы дать количественную оценку циркуляции атмосферы в том или ином месяце (декабрь – февраль), необходимо

по картам барической топографии (ΔH_{100}) определить тип циркуляции (рис. 4.1 а–4.1 е), а затем по соответствующим формулам рассчитать θ'_i.

Оценка циркуляции атмосферы за весь зимний сезон θ'_c:

$$\theta'_c = \theta'_д + \theta'_я + \theta'_ф, \tag{4.3}$$

где $\theta'_д$, $\theta'_я$, $\theta'_ф$ – оценки циркуляции атмосферы за декабрь, январь, февраль соответственно.

Для расчета урожайности яровой пшеницы в Восточной Сибири Z_{BC} используется уравнение регрессии, в котором отклонение урожайности яровой пшеницы от тренда связано с величиной θ'_c:

$$Z_{BC} = 0,0012\,\theta'_c + 0,02356. \tag{4.4}$$

4.3. Прогноз урожайности ярового ячменя по субъектам Российской Федерации до сева яровых культур

Во ВНИИСХМ в рамках синоптико-статистического подхода разработана методика прогноза урожайности ярового ячменя по отдельным субъектам федерации. Целью такого подхода является увеличение заблаговременности прогноза урожайности культуры.

В качестве предикторов для расчета ожидаемой урожайности ярового ячменя по субъектам Российской Федерации использовались коэффициенты разложения средних месячных значений геопотенциала на уровне 500 гПа по 11 секторам Северного полушария (рис. 4.2) за пять месяцев (октябрь–февраль), предшествующих периоду вегетации. Эта процедура позволяет сконцентрировать исходную информацию о значениях геопотенциала в секторе в небольшом числе коэффициентов разложения и отфильтровать «шумовые эффекты» (Мещерская А.В., Руховец Л.В. и др., 1970). Для построения уравнений использована информация за тридцатилетний период.

После процедуры просеивания (для исключения тех из них, которые связаны между собой высокой парной корреляцией) отбираются 7–10 наиболее значимых предикторов и строятся уравнения множественной регрессии для расчета ожидаемой урожайности ярового ячменя. Прогноз составляется в марте, корреляционные связи между предикторами и предиктантами рассчитываются заново для каждого последующего года с учетом вновь поступившей информации.

Прогноз составляется 10–15 марта, после получения средних месячных карт значений геопотенциала на уровне 500 гПа из Гидрометцентра России. Все расчеты проводятся в автоматизированном режиме. Исходные файлы по урожайности дополняются значением фактической урожайности ярового ячменя за предшествующий год, а файлы со значениями геопотенциала – значениями геопотенциала в 198 узлах регулярной сетки в соответствующие месяцы. В выходном файле получают прогностическое значение урожайности ярового ячменя по субъекту федерации

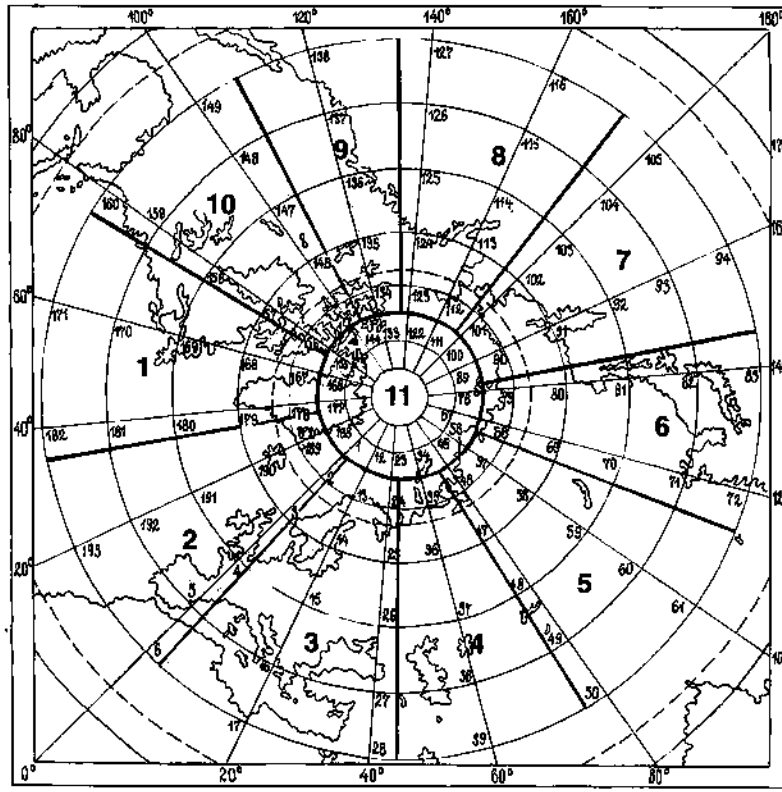


Рис. 4.2. Схема расположения 11 секторов в Северном полушарии

на соответствующий год. Блок-схема синоптико-статистического метода прогноза урожайности ярового ячменя представлена на рис. 4.3.

По результатам производственных испытаний метод прогноза урожайности ярового ячменя внедрен в оперативную практику в качестве основного в Курской, Белгородской, Воронежской, Липецкой, Тамбовской, Брянской, Орловской, Волгоградской областях и Республике Калмыкия; в качестве вспомогательного метода – в Ростовской области, Ставропольском и Краснодарском краях; в качестве консультативного метода – в Свердловской, Пермской, Челябинской, Курганской, Архангельской, Волгоградской областях и в Республике Коми.

В качестве примера приведен расчет прогностической урожайности ярового ячменя в Курской области в 2003 году.

1. В исходный файл с рядом фактической урожайности с 1955 по 2001 год заносится значение фактической урожайности ярового ячменя в Курской области в 2002 году и указывается год составления прогноза.

Рис. 4.3. Блок-схема метода прогноза урожайности ярового ячменя

2. Для прогноза по Курской области используются значения геопотенциала за три зимних месяца (декабрь – февраль), поэтому три соответствующих файла с исходной информацией необходимо дополнить значениями геопотенциала за декабрь 2002 г. и январь – февраль 2003 года.

3. В автоматизированном режиме рассчитывается прогностическое значение урожайности ярового ячменя на 2003 г. в Курской области:

1) рассчитываются отклонения урожайности от гармонического тренда фактических значений урожайности за 30-летний период и значение тренда урожайности на 2003 год – 23,8 ц/га;

2) поля среднемесячных значений геопотенциала за 30-летний период, с 1973 по 2002 г., для трех месяцев (декабрь – февраль) раскладываются по естественным ортогональным составляющим по каждому из 11 секторов (схема расположения секторов приведена на рисунке 4.3);

3) рассчитывается матрица корреляции и отбираются ряды значений коэффициентов разложения, связь которых с отклонениями урожайности от тренда выше 1%-ного уровня значимости;

4) оценивается степень взаимной корреляции между потенциальными предикторами и после их просеивания в 2003 году отобрано 8 коэффициентов разложения для расчета прогнозируемой урожайности (табл. 4.1);

Таблица 4.1

Коэффициенты разложения, отобранные для прогнозирования урожайности ярового ячменя в Курской области

Месяц	Номер сектора	Номер коэффициента разложения
Декабрь	2 3 8	4 5 3
Январь	1 4 10	4 1 6
Февраль	1 4	3 5

5) строится уравнение регрессии и рассчитывается прогностическое значение отклонения от тренда урожайности на 2003 г.:

$$\Delta y = -0{,}0968 \cdot A_{\text{д, 2-4}} + (-0{,}1306) \cdot A_{\text{д, 3-5}} + (-0{,}0952) \cdot A_{\text{д, 8-3}}) + 0{,}0101 \cdot A_{\text{я, 1-4}} +$$
$$+ 0{,}0549 \cdot A_{\text{я, 4-1}} + 0{,}1629 \cdot A_{\text{я, 10-6}} + 0{,}0367 \cdot A_{\text{ф, 1-3}} + (-0{,}0893) \cdot A_{\text{ф, 4-5}} - 0{,}0037.$$

$\Delta y = = 0{,}01;$

6) рассчитывается прогностическое значение урожайности ярового ячменя (ц/га):

$$23{,}8 + 23{,}8 \cdot 0{,}01 = 24{,}0 \ (ц/га).$$

Фактическая урожайность ярового ячменя в 2003 г. – 22,4 ц/га. Относительная ошибка прогноза составила 7 %.

4.4. Усовершенствование синоптико-статистического метода прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур

Методы долгосрочного прогноза урожайности зерновых культур.

Во ВНИИСХМ разработаны и проходят производственные испытания методы долгосрочного прогноза урожайности озимой ржи, озимой пшеницы, озимого ячменя, зерновых и зернобобовых культур в целом по федеральным округам и России в целом.

Синоптико-статистический метод прогноза урожайности зерновых и зернобобовых культур основан на сочетании двух прогнозов: прогноза тренда урожайности с помощью метода гармонических весов и оценки отклонений урожайности от тренда, выполняемой с помощью синоптико-статистических методов оценки агрометеорологических условий формирования урожая.

При выборе потенциальных предикторов для долгосрочных прогнозов учитываются современные представления о факторах, влияющих на формирование циркуляции атмосферы в вегетационный период, а

также реальная возможность получения значений параметров циркуляции в тот или иной период в оперативном режиме к моменту составления прогнозов. Для прогнозирования урожайности зерновых культур до сева яровых используются следующие потенциальные предикторы: значения геопотенциала на уровне 500 гПа; температура поверхности воды Тихого и Атлантического океанов; индексы Южного и Североатлантического колебаний.

Температура поверхности воды Тихого и Атлантического океанов. Атмосфера и океан находятся в тесном непрерывном взаимодействии. Солнечные лучи, падая на поверхность океана, нагревают воду, и океан накапливает огромные запасы тепловой энергии, особенно в тропических водах, где лучи Солнца падают почти вертикально. Поверхность океана передает свою теплоту воздуху и насыщает его водяными парами, которые поднимаются вверх в процессе испарения поверхностных слоев воды. Пары, содержащиеся в воздухе, обладают значительным запасом потенциальной энергии в виде скрытой теплоты, которая высвобождается при конденсации пара в облаках. Погода и климат умеренных широт в значительной степени находятся под влиянием океана.

Большие тепловые запасы океана обусловливают его большую тепловую память и способность отдавать тепло атмосфере и таким образом длительно влиять на распространение в ней температуры, влажности и т.п. Поэтому идея использования данных о колебаниях теплозапасов вод океанов для прогноза колебания состояния атмосферы в различные сезоны представляется перспективной для разработки долгосрочных метеорологических прогнозов.

В средних широтах, где воздушные массы движутся с запада на восток, климат находится под влиянием океана и западных ветров одновременно. Океан влияет на выпадение осадков над материком. Когда в атмосфере ощущается недостаток влаги, увеличивается испарение с поверхности океана, и насыщенные влагой воздушные массы надвигаются на сушу, принося с собой дожди и грозовые ливни – над материками «зависают» мощные циклоны. Циркуляция атмосферы над Восточной Атлантикой и связанные с ней аномалии температуры поверхности океана существенно влияют на аномалии температуры воздуха и осадков в Европе. Установлены связи между аномалиями температуры поверхности тропической зоны Тихого океана и аномалиями сумм осадков над всем Северным полушарием, умеренной зоной Северного полушария и умеренной зоной Евразии. Океаны влияют на распределение дождей, засух, наводнений, на региональный климат и развитие штормов, ураганов и тайфунов.

Индексы Южного и Североатлантического колебаний. Среди явлений планетарного масштаба, наблюдающихся в системе Земля–

атмосфера – океан, наибольший интерес в последние десятилетия вызывает Эль-Ниньо – Южное колебание (ЭНЮК). Являясь характерной чертой Тихого океана, Эль-Ниньо и Ла-Нинья представляют собой температурные флуктуации поверхностных вод в тропиках восточной части Тихого океана. Ла-Нинья характеризуется необычайно холодной температурой в восточной экваториальной части по сравнению с Эль-Ниньо, который, в свою очередь, характеризуется необычайно высокой температурой в том же регионе.

Эль-Ниньо и Ла-Нинья официально определены как длительные морские поверхностные температурные аномалии величиной большей чем 0,5 °С, пересекающие Тихий океан в его центральной тропической части. Когда соблюдается условие +0,5 °С (-0,5 °С) на протяжении пяти месяцев или дольше, то это классифицируется как эпизод Эль-Ниньо (Ла-Нинья). Последнее происходит с нерегулярными промежутками в 2 – 7 лет и, обычно, продолжается один – два года.

Южное колебание (ЮК) – это межгодовые изменения полей приземного атмосферного давления, ветра и осадков, имеющие противоположные знаки аномалий в тропических зонах Восточного и Западного полушарий.

Североатлантическое колебание (САК), как и Южное колебание, – явление крупномасштабного взаимодействия атмосферы и океана, влияющее на характер синоптических процессов и формирование погоды над внеэкваториальными широтами Северного полушария. Это явление может быть описано количественными характеристиками взаимодействия североатлантических центров действия атмосферы (Исландского минимума и Азорского максимума).

В качестве индекса САК используется разность нормализованных аномалий среднесезонного давления на станциях Понта-Делгада (Азорские острова) и Акурейри (Исландия), поскольку эти станции находятся в районах среднего многолетнего положения Азорского максимума и Исландского минимума.

Особенности влияния параметров циркуляции атмосферы и теплового состояния океанов на урожайность озимых и яровых зерновых культур.

Анализ матриц парных коэффициентов корреляции отклонений урожайности зерновых культур с геопотенциалом на уровне 500 гПа показал наиболее тесную связь урожайности с геопотенциалом:

– в районах повышенного давления у побережья Европы;

– в районе повышенного давления у побережья Северной Америки;

– в ложбинах пониженного давления над Азией.

Анализ матриц парных коэффициентов корреляции показал, что урожайность зерновых и зернобобовых культур по федеральным округам

имеет наиболее тесную связь с температурой поверхности воды Атлантического океана в районах наиболее активного и интенсивного теплообмена между океаном и атмосферой, в энергетически активных зонах (Норвежская, Ньюфаундлендская, зона Гольфстрима, Атлантическая тропическая), а также с температурой поверхности воды в районах расположения течений в Тихом океане (Куросио, Северо-Тихоокеанское, Северное пассатное, Экваториальное).

Влияние Южного и Североатлантического колебаний на метеорологический режим России в зависимости от региона проявляется в равной мере через положительные и отрицательные связи. Наибольшие изменения после явления Эль-Ниньо – Южное колебание обнаруживается в умеренных широтах на второй, а в некоторых случаях на третий год. Для их учета матрицы парных коэффициентов между прогнозируемой урожайностью и температурой поверхности океанов рассчитываются дважды (без сдвига, и со сдвигом в один год).

В связи с тем, что установленные однажды статистические связи некоторых предикторов с урожайностью нарушаются, оценка взаимной корреляции предикторов с предиктантом и их фильтрация проводятся ежегодно с учетом вновь поступившей информации. В качестве математического аппарата для расчета прогностических отклонений урожайности от тренда используется метод разложения случайных полей по естественным ортогональным составляющим (Мещерская А.В., Руховец Л.В. и др., 1970).

На рис. 4.4 представлена блок-схема метода прогноза урожайности и валового сбора зерновых культур по федеральным округам и России в целом.

На основе синоптико-статистического подхода ежегодно в течение ряда лет составляется опытно-производственный прогноз валового сбора зерновых и зернобобовых культур по федеральным округам и России в целом. В табл. 4.2 приведены фактические и прогностические значения валового сбора зерновых и зернобобовых культур по Российской Федерации.

Средняя относительная ошибка опытно-производственных прогнозов за восьмилетний период составляет 8,5 %. Особое место занимает опытный долгосрочный прогноз урожайности и валового сбора зерновых и зернобобовых культур, рассчитанный в марте 2010 г. Ожидаемый по прогнозу валовой сбор зерновых и зернобобовых культур по Российской Федерации в целом составил 93 млн т. Установившаяся в центральной части России летом 2010 г. аномальная жара является абсолютно уникальным явлением. Причиной аномально высокой температуры воздуха, установившейся на столь длительный срок, является, так называемый, «блокирующий антициклон» – обширный малоподвижный, длительно существующий антициклон, который не пропускает другие воздушные массы на занимаемую им территорию. Установившись во второй декаде июня на юге России и в

Рис. 4.4. Блок-схема метода прогноза урожайности и валового сбора зерновых культур по федеральным округам и России в целом

Восточной Украине, антициклон сначала вызвал там небывалую жару, а к началу июля распространился и на средние широты России, закачивая раскаленный воздух из пустынь Туркменистана. Необычно длительный срок существования этого антициклона привел к длительному разогреву воздуха до рекордных значений. В настоящее время спрогнозировать создавшиеся в июне – августе условия не представляется возможным. В связи с этим прогноз урожайности и валового сбора зерновых культур на 2010 г. имеет низкую оправдываемость. В таких случаях необходимо проведение корректировок прогноза в мае – июле.

Таблица 4.2

Оправдываемость опытно-производственных долгосрочных прогнозов зерновых и зернобобовых культур в целом по Российской Федерации. Срок составления прогноза: 20 марта – 5 апреля

Год	Валовой сбор, млн т		Относительная ошибка прогноза,%
	Синоптико-статистический прогноз	Фактический валовой сбор	
2003	66 – 75	67,1	5,1
2004	69 – 75	78,1	7,8
2005	72 – 81	78,2	1,8
2006	69 –74	78,6	9
2007	76 – 80	81,7	4,5
2008	78 – 83	108,2	25,6
2009	90–95	97,1	4,7
2010	91 – 95	61,0	51,6
2011	83 – 87	94,2	9,8

Примечание. Для расчета валового сбора зерновых и зернобобовых культур используются данные о фактических посевных площадях за предшествующий прогнозу год.

Метод долгосрочного прогноза теплообеспеченности вегетационного периода.

Надежный долгосрочный прогноз теплообеспеченности вегетационного периода может быть использован агрометеорологами и органами сельскохозяйственного управления при планировании и принятии многих оперативно-хозяйственных решений в процессе сельскохозяйственного производства, например:

– при определении посевных площадей под те или иные сельскохозяйственные культуры и их сорта, различные по скороспелости;

– при уточнении сроков и норм высева;

– при уточнении сроков уборки урожая;

– при уточнении сроков и норм полива;

– при уточнении начала и окончания периода выпаса скота;

– при уточнении заготовки кормов на стойловый период содержания животных.

Долгосрочный синоптико-статистический прогноз теплообеспеченности вегетационного периода разработан во ВНИИСХМ на основе синоптико-статистического подхода. В качестве потенциальных предикторов используются те же предикторы, что и для прогноза урожайности зерновых культур. Прогнозируемой величиной в этом случае являются суммы температур выше 10 °С (для субъектов Уральского УГМС) или суммы температур за летний период (для Республики Коми). Методики прогноза теплообеспеченности вегетационного периода успешно прошли испытания и используются в оперативной работе Уральского УГМС и ЦГМС Республики Коми.

ВОПРОСЫ

1. *Какие предикторы используются в синоптико-статистических методах агрометеорологических прогнозов?*
2. *Какие типы циркуляции характерны для лет с низкими урожаями яровой пшеницы в Восточной Сибири?*
3. *Какие типы циркуляции характерны для лет с высокими урожаями яровой пшеницы в Восточной Сибири?*
4. *Какая предварительная обработка значений геопотенциала на уровне 500 гПа проводится для долгосрочного прогноза урожайности ярового ячменя?*
5. *Расскажите об основных направлениях усовершенствования агрометеорологических синоптико-статистических методов прогнозов.*

ГЛАВА 5
РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДОВ ОЦЕНОК И ПРОГНОЗОВ НА ОСНОВЕ СОВРЕМЕННЫХ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Функционирующая в настоящее время система агрометеорологического обеспечения центральных органов власти и управления агропромышленным комплексом на федеральном и региональном уровнях формируется таким образом, чтобы не только предоставлять потребителям достоверную и качественную информацию об особенностях роста, развития и формирования урожая сельскохозяйственных культур, но и с достаточной заблаговременностью прогнозировать их урожайность. Такие прогнозы могут реально влиять на конъюнктуру рынка продовольствия, способствовать правильной организации выгодных закупок сельскохозяйственной продукции как внутри страны между отдельными регионами, так и на внешних рынках.

В региональных оперативных подразделениях для подготовки информации используются данные всех гидрометеорологических станций региона.

Развитие рыночных отношений в стране, создание фермерских хозяйств, изменение форм собственности и состава потребителей потребовали новых подходов в совершенствовании сложившейся специализированной системы оперативного обеспечения сельского хозяйства, совершенствования всего комплекса услуг, предоставляемого потребителям.

В полной мере проводить обслуживание в таком объеме и с высоким качеством можно лишь при наличии специализированной автоматизированной системы, в которую входят подсистема поступления и автоматизированной обработки оперативной агрометеорологической информации, банки данных, комплекс программ по обеспечению аграрного сектора, комплекс сервисных программ, с помощью которых ведется обработка информации, обращение к банкам данных и управление пакетом прикладных программ. Основная цель разработки такой системы – создание единой технологической цепочки автоматизированной подготовки оперативной агрометеорологической продукции.

Агрометеорологическая продукция – это полученная в результате обработки данных наблюдений гидрометеорологических станций обобщенная аналитическая информация о сложившихся и ожидаемых агрометеорологических условиях, предназначенная для распространения потребителям, а также различного вида агрометеорологические прогнозы. Новые научно-прикладные разработки в области агрометеорологии и

оснащение ПЭВМ всех отраслей народного хозяйства позволили создать новую технологию подготовки оперативной информационно-прогностической продукции на основе современных компьютерных технологий.

Новая система оперативных услуг должна предоставлять потребителю сведения об агрометеорологических условиях вегетации и видах на урожай основных сельскохозяйственных культур по субъектам Российской Федерации, федеральным округам и России в целом (Русакова Т.И. и др. 2004, 2005). В основе такой системы – оперативная агрометеорологическая информация, поступающая с сети гидрометеорологических станций, банки данных агрометеорологической, агроклиматической и статистической информации «Российского государственного статистического управления», комплекс методов агрометеорологических оценок и прогнозов, реализуемых на основе этой информации (рис. 5.1).

Рис. 5.1. Блок-схема усовершенствованной системы оперативного агрометеорологического обслуживания потребителей

При разработке современной технологии агрометеорологического обслуживания необходимо было решить две основные задачи:

– усовершенствовать существующий комплекс оперативных агрометеорологических услуг путем создания новых форм представления информации, обновления комплекса методов оценок и прогнозов, разработки новых видов прогнозов и использования новых видов информации;

– реализовать усовершенствованный комплекс услуг для территории Российской Федерации путем создания информационно-прогностической

системы (ИПС), разработанной на основе современных компьютерных технологий.

Для реализации системы оперативных агрометеорологических услуг необходима специализированная автоматизированная система, в которую входят: подсистема поступления и автоматизированной обработки оперативной агрометеорологической информации; банки данных; комплекс программ по обеспечению аграрного сектора; комплекс сервисных программ, с помощью которых ведется обработка информации, обращение к банкам данных и управление пакетом прикладных программ. Основная цель разработки такой системы – создание единой технологической цепочки автоматизированной подготовки оперативной агрометеорологической продукции.

5.1. Цели и задачи информационно-прогностических систем (ИПС)

В первые годы XXI века во ВНИИСХМ Т.И. Русаковой, Т.А. Гончаровой, М.А. Королевым и др. были разработаны специализированные информационно-прогностические системы (ИПС) в двух вариантах: для обслуживания сельскохозяйственных органов на уровне территориальных управлений по гидрометеорологии и для обслуживания в целом по территории России. ИПС для территориальных управлений по гидрометеорологии обеспечивает автоматизированную обработку агрометеорологических телеграмм, формирование таблиц декадного и месячного бюллетеней, годового обзора, составление всех видов оценок и прогнозов, используемых в оперативной работе.

Создание ИПС для обслуживания всей территории России имеет свои особенности и сложности, связанные с потоком значительных объемов информации, поступающей с гидрометеорологических станций России; большой территорией обслуживания с неоднородными климатическими условиями; едиными сроками составления оценок и прогнозов по всем субъектам Российской Федерации; необходимостью разработки (или обновления) комплекса методов оценок и прогнозов на единой методической основе по всей территории России и по всем основным сельскохозяйственным культурам; обобщением информационных и прогностических данных по субъектам Российской Федерации, федеральным округам и России в целом.

Основными функциями ИПС являются:

– автоматизированная обработка, контроль и занесение в базу данных системы оперативной информации, поступающей с гидрометеорологических станций по каналам связи в действующем коде (КН-21);

– составление информационных таблиц;

– ежедекадное получение оценки и выдача количественной оценки сложившихся агрометеорологических условий произрастания сельскохозяйственных культур в период вегетации по территории субъектов Российской Федерации;

– составление и выдача всех видов агрометеорологических прогнозов по территории субъектов Российской Федерации, федеральным округам и России в целом;

– расчеты оценки качества составленных агрометеорологических прогнозов.

Автоматизированные информационно-прогностические агрометеорологические системы реализованы на компьютере и предназначены для автоматизации работ по составлению и формированию информационной и прогностической продукции. ИПС автоматизирует работу отделов агрометеорологических прогнозов территориальных управлений и Гидрометцентра России, связанную с обработкой оперативной информации агрометеорологических наблюдений, организацией и проведением расчетов оценки условий вегетации и всех видов агрометеорологических прогнозов на базе этой информации по субъектам Российской Федерации, федеральным округам, России в целом, составлением информационных таблиц.

Использование ИПС в оперативной работе позволяет выйти на качественно новый уровень получения агрометеорологической прогностической информации, существенно уменьшить затраты рабочего времени оперативных работников на выполнение работ по составлению прогнозов, раскодированию информации, подготовке материалов для оперативного обслуживания потребителей. В системе предусмотрена возможность оценки качества оперативных прогнозов при получении данных из Росстата о фактической урожайности сельскохозяйственных культур.

5.2. Структура информационно-прогностической системы

Общая структура ИПС может быть представлена в виде трех составляющих частей (рис. 5.2). ИПС состоит из *информационной базы*, содержащей все необходимые данные для организации и проведения расчетов и *комплекса компьютерных программ* для пополнения базы и использования данных при прогнозировании и обслуживании. В качестве входной информации используются декадные телеграммы, поступающие с сети гидрометеорологических станций, и статистические данные с электронных источников Федеральной службы государственной статистики Российской Федерации (Росстат).

Основными компонентами информационной базы являются справочная, оперативная и агроклиматическая базы данных (БД). *Справочная БД* содержит каталоги культур, гидрометеорологических станций, а также каталоги субъектов и округов Российской Федерации. *Оперативная БД* содержит оперативные агрометеорологические данные, полученные в результате обработки телеграмм, поступающих в закодированном виде (код КН-21), и ряды погодичных значений урожайности, валового сбора, посевной площади сельскохозяйственных культур с 1955 г. по данным Федеральной службы государственной статистики Российской Федерации.

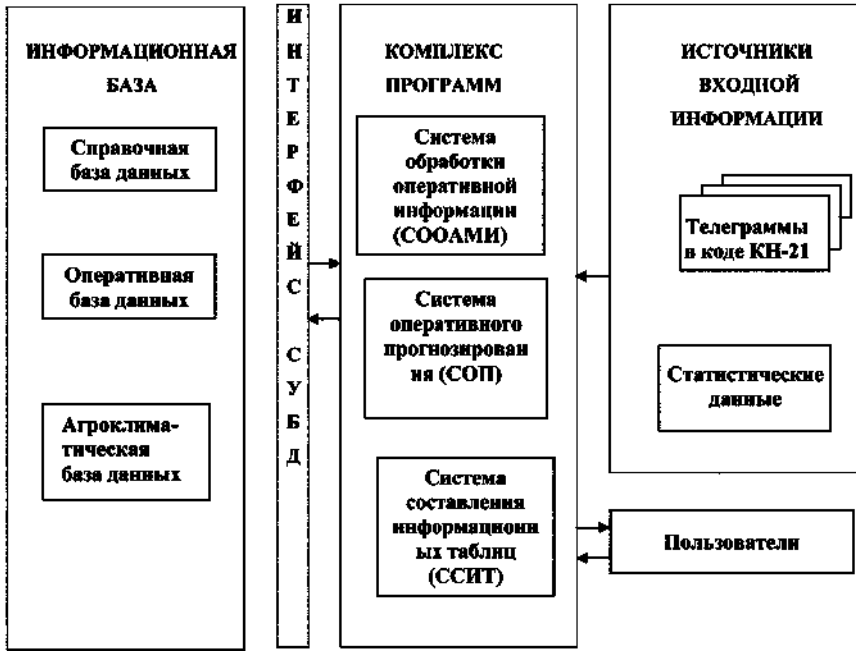


Рис. 5.2. Общая структура агрометеорологической информационно-прогностической системы

Агроклиматическая БД содержит декадные нормы метеорологических и агрометеорологических элементов по субъектам Российской Федерации, необходимых для оперативного обслуживания.

Комплекс программ автоматизированной информационно-прогностической системы состоит из трех блоков:

– системы обработки оперативной агрометеорологической информации (СООАМИ);

– системы оперативного прогнозирования (СОП), открытой для замены устаревших методик прогнозов новыми методами;

– системы составления информационных таблиц (ССИТ).

СООАМИ осуществляет регулярное пополнение оперативной базы данных вновь поступающими по каналам связи данными наблюдений. СООАМИ получает в качестве входных данных файл принятых телеграмм в коде КН-21; выполняет синтаксический анализ телеграмм и поэлементный синтаксический контроль (проверка телеграмм и выявление ошибок); обеспечивает корректировку телеграмм оператором и их повторную обработку; преобразует иерархическую структуру телеграмм в реляционную структуру используемой Системы управления базами данных (СУБД) и записывает информацию в оперативную базу данных.

Система оперативного прогнозирования (СОП) является центральным компонентом ИПС и представляет собой комплекс программ для автоматизированного расчета ежедекадной оценки условий вегетации, оперативных агрометеорологических прогнозов, оценки качества составленных прогнозов.

Система составления информационных таблиц (ССИТ) состоит из комплекса программ, позволяющих пользователю в любое время составить установленные таблицы, необходимые в оперативной работе для справок и отчетов. В предлагаемой системе в автоматизированном режиме реализовано составление информационных таблиц, содержащих метеорологические, агрометеорологические и статистические данные.

В таблицах метеорологических данных содержится декадная оперативная агрометеорологическая информация по станциям, субъектам, округам Российской Федерации и России в целом.

ИПС позволяет формировать таблицы со статистическими данными Росстата России (посевные площади, урожайность и валовой сбор сельскохозяйственных культур) по субъектам, округам РФ, России в целом с 1955 года. Ряды урожайности сельскохозяйственных культур в ИПС занесены в доработанном весе (зерно очищено и приведено к стандартной влажности), рассчитанные по посевным площадям, а также с 2000 года рассчитанные по уборочным площадям. Аналогичная информация может быть получена за любой конкретный год.

Пополнение оперативной базы данных ИПС происходит за счет информации, поступающей по каналам связи, и статистической информации Росстата, которая заносится пользователем в базу ИПС в автоматизированном режиме (Русакова Т.И. и др., 2007).

5.3. Информационное обеспечение оценок и прогнозов

Проведение расчетов по методам оценки и прогноза урожайности сельскохозяйственных культур основывается на оперативной агрометеорологической информации.

Оперативная агрометеорологическая информация – это текущая агрометеорологическая информация о фактическом состоянии посевов сельскохозяйственных культур, естественной пастбищной растительности, почвы и о метеорологических условиях в реальном масштабе времени, включающая определенный набор количественных и качественных характеристик и передаваемая по каналам связи в коде КН-21. Эта информация накапливается и хранится в оперативной базе данных ИПС. Кроме того, для проведения расчетов необходимы среднемноголетние данные о средней декадной температуре воздуха, количестве осадков за декаду, густоте стояния и датах наступления фаз развития растений и т.д. Вся необходимая агроклиматическая информация заносится вручную и хранится в агроклиматической базе данных системы. Для реализации расчетов по методам прогноза урожайности и валового

сбора сельскохозяйственных культур используются данные о посевных площадях, урожайности и валовом сборе культур. Эти данные заносятся в оперативную базу данных с электронных источников Росстата или вводятся вручную (предварительные данные о посевных площадях в прогнозируемом году). Статистические ряды по субъектам Российской Федерации хранятся в оперативной (статистической) базе данных и ежегодно пополняются.

Программы, с помощью которых осуществляется расчет агрометеорологических оценок и прогнозов, обращаются к данным, хранящимся в оперативной и агроклиматической базах данных ИПС.

Из оперативной базы используются данные:

а) текущего года:

– декадные данные по субъекту, появляющиеся в базе в результате обработки и осреднения данных декадных телеграмм по станциям;

– оперативные статистические данные по субъекту Российской Федерации о размерах посевных площадей, занятых сельскохозяйственными культурами в текущем сельскохозяйственном году;

б) ряды урожайности с 1955 года по год прогноза.

Из агроклиматической базы данных используются средние многолетние данные вегетационного периода сельскохозяйственной культуры по субъекту Российской Федерации: средняя декадная температура воздуха, сумма осадков за декады, густота стояния растений на первое определение, даты фаз развития культуры и т.д., т.е. все то, что необходимо для настройки и работы модели по культуре в определенных почвенно-климатических условиях субъекта.

5.4. Эксплуатация ИПС

Работа с системой осуществляется через ее основное меню (рис. 5.3), в котором приведена последовательность шагов, выполняемых ИПС под управлением пользователя в стандартном режиме.

Прием информации с каналов связи и выбор агрометеорологических телеграмм из общего потока не входит в контур ИПС и выполняется с помощью аппаратуры и программного обеспечения, существующих в конкретном центре обработки данных (ФГБУ «Гидрометцентр России»). К моменту начала работы ИПС декадные агрометеорологические телеграммы должны быть приняты и накоплены в отдельном текстовом файле.

Пункт меню «Обработка телеграмм в коде КН-21». Система обработки оперативной агрометеорологической информации (СООАМИ) получает в качестве входных данных файл текстов телеграмм в коде КН-21 и после их автоматизированной обработки информация заносится в оперативную базу данных ИПС. Обработка телеграмм с помощью СООАМИ проходит в несколько этапов.

1. *Контроль входной информации* – производится поэлементный синтаксический и частичный логический контроль телеграмм, в итоге

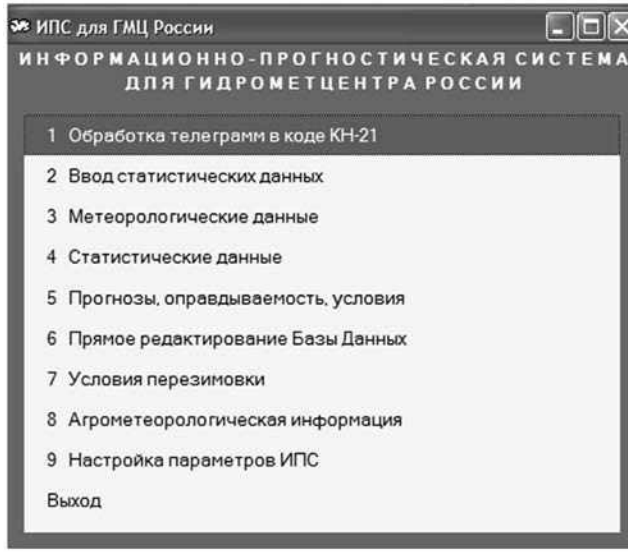


Рис. 5.3. Основное меню информационно-прогностической системы

формируется файл результатов, содержащий тексты телеграмм и диагностику ошибок.

2. *Отделение телеграмм с ошибками*: автоматически проводится разделение верных телеграмм и телеграмм с ошибками. При этом телеграммы без ошибок накапливаются в отдельном файле, а файл телеграмм с ошибками передается для корректировки пользователю.

3. *Корректировка ошибок в телеграммах*: системой автоматически вызывается текстовый редактор с загруженным в него файлом ошибочных телеграмм. Пользователь (агрометеоролог) анализирует тексты телеграмм и диагностику и исправляет ошибки. Как показывает практика, обычно большинство ошибок носит синтаксический (структурный) характер, т. е. ошибки, допущенные при кодировании, легко исправляются. Исправленные телеграммы вновь подаются на вход (пункт 1) для контроля. Такое повторение шагов (пункты 1 – 3) происходит до тех пор, пока пользователь либо не исправит все ошибки, либо не откажется от дальнейшей корректировки телеграмм.

4. *Разбор верных/исправленных телеграмм*: выполняется повторный синтаксический анализ накопленных таким образом телеграмм и формируются файлы элементов, подготовленные к занесению в базу данных.

5. *Занесение информации в буферную БД*: подготовленные данные заносятся в, так называемую, буферную базу данных. Буферная БД содержит только ту информацию, которая была извлечена из последней порции обработанных телеграмм, т.е. информация в ней не накапливается.

Операции обработки над такой базой выполняются быстрее, чем над накапливаемой оперативной БД, и, кроме того, в результате отделения текущей порции данных за время выполнения последовательных шагов (пункты 6–8) повышается безопасность основной базы данных.

6. *Формирование «зонных» таблиц*: занесенная в буферную БД информация оформляется в виде «зонных» таблиц, которые могут быть просмотрены на экране и распечатаны. «Зонные» таблицы названы так в соответствии с основным принципом их построения. Каждой зоне кода КН-21 соответствует своя таблица. Исключениями из этого правила являются группы кода КН-21, которые могут повторяться внутри зоны: такие группы оформляются в виде отдельных таблиц. «Зонные» таблицы имеют упрощенную шапку: графы названы именами элементов кода КН-21, и в них содержится вся поступившая в буферную БД информация.

7. *Визуальный контроль «зонных» таблиц*. Главная цель формирования «зонных» таблиц – предоставить пользователю возможность удобного визуального контроля поступившей информации, но они могут использоваться в дальнейшей и самостоятельно, в оперативной работе.

8. *Корректировка ошибок в буферной БД* – корректируются ошибки, обнаруженные в буферной БД на предыдущем шаге.

9. *Занесение информации в оперативную БД* – проверенная информация буферной базы данных заносится в оперативную БД и тем самым становится доступной для всех остальных компонент ИПС.

Пункт меню «Ввод статистических данных» предназначен для ввода в информационную базу ИПС данных, отсутствующих в коде КН-21, но используемых прикладными программами, предназначенными для агрометеорологического прогнозирования.

Ввод данных по каждому из элементов обеспечивается одной программой ввода. Ответив на уточняющие вопросы системы, пользователь получает на экране специально разработанную форму (бланк), в рамках которой осуществляется весь процесс ввода информации. Программа, обеспечивающая процесс ввода данных, создает промежуточную таблицу, над которой и выполняются необходимые действия. По окончании ввода информация из промежуточной таблицы переносится в основную таблицу оперативной БД.

В целом, процесс работы с формой ввода интуитивно понятен и не требует дополнительных пояснений.

В *автоматизированном режиме* через пункт подменю «Автоматизированный ввод» заносится статистическая информация с электронных таблиц, предоставляемых Росстатом. Для этого в папке «STAT» рабочего диска ИПС необходимо создать папку с номером года, за который будет вводиться информация, например «2011», и скопировать в нее статистические данные в электронном виде. Далее войти в пункт «Автоматизированный ввод» и сделать выбор субъектов Российской Федерации, культуры и года, за который вводится статистическая информация (рис. 5.4).

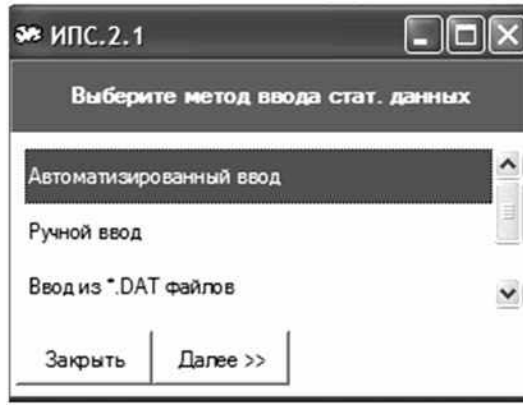


Рис. 5.4. Подменю ввода статистической информации

После этого появляется заполненная таблица ввода данных, которую необходимо просмотреть и при необходимости сверить с первоисточником (рис. 5.5).

Рис. 5.5. Фрагмент таблицы ввода статистических данных

Для введения информации *в ручном режиме* необходимо войти в пункт подменю «Ручной ввод» и отметить с помощью подпунктов появившегося горизонтального меню «Субъекты Российской Федерации», по которым будет вводиться информация. На следующем этапе аналогичным образом делается выбор сельскохозяйственной культуры, а затем номера

года. После этого появляется таблица ввода данных, в которую заносится статистическая информация. Сохранение и сброс занесенной информации в оперативную БД осуществляется через кнопку «Сохранить». Следует помнить, что в год составления прогноза для расчета прогностического валового сбора по субъектам Российской Федерации, урожайности и валового сбора по федеральным округам и России в целом необходимы данные о посевных площадях под сельскохозяйственными культурами. Поэтому перед составлением прогноза заносится *плановая посевная площадь*, которую необходимо обязательно исправить при поступлении из Росстата сведений о *фактических посевных площадях*, урожайности и валовом сборе. Нельзя составлять прогноз, если не занесены фактические статистические данные по урожайности за предшествующий прогнозу год.

Пункт меню «Метеорологические данные» позволяет формировать таблицы и выводить на печатающее устройство таблицы с оперативными данными текущего года и нормами (средними многолетними значениями) метеорологических элементов (рис. 5.6). Этот пункт меню позволяет сделать выбор года, выбор таблиц, сформировать и распечатать отмеченные таблицы. Таблицы заносятся в отдельный файл, который можно просмотреть на экране перед печатью (рис. 5.7).

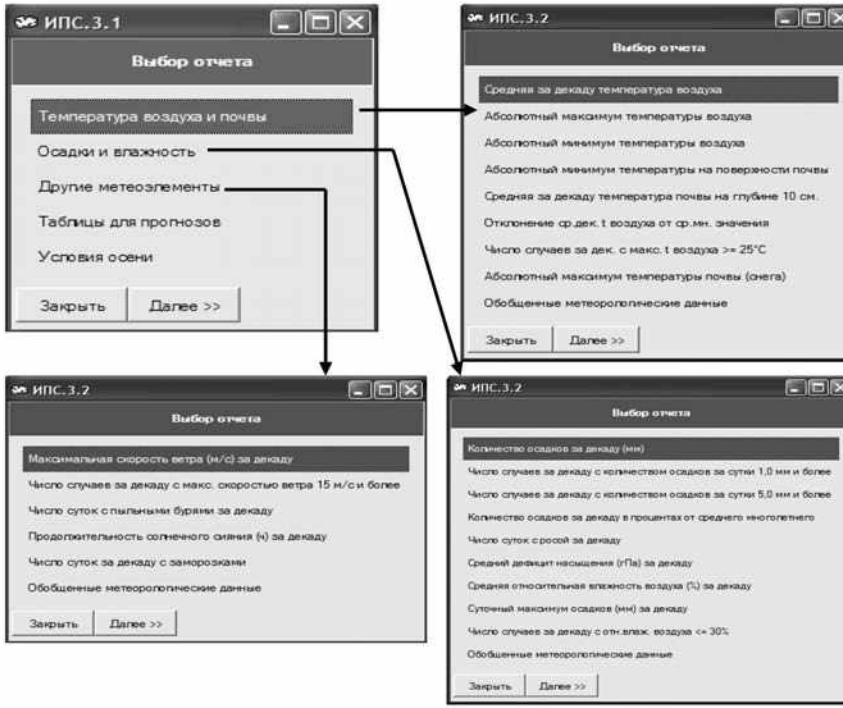


Рис. 5.6. Меню и подменю метеорологической информации

Средняя за декаду температура воздуха, °С Архангельская обл. 2011 год (январь-июль)

Таблица 1.1.1а

№ п/п	Индекс станции	Станция	I			II			III			IV			V			VI			VII		
			1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	22867	Вельск	-10,0	-8,4	-18,1	-11,9	-22,3	-16,4	-4,3	-2,9	-4,0	3,8	2,5	5,7	11,3	7,6	14,5	16,5	12,5	19,5	20,5	20,7	24,0
2	22889	Виногодеков	-9,8	-12,4	-19,4	-13,8	-26,9	-22,3	-5,9	-3,7	-4,6	1,6	3,6	4,5	10,8	6,7	14,1	15,3	12,1	19,5	19,4	19,4	22,1
3	22656	Емецк	-11,7	-9,6	-20,0	-18,1	-24,9	-18,1	-3,8	-4,5	-5,5	1,8	1,9	3,9	9,0	6,6	13,6	16,8	11,9	18,9	19,5	19,7	21,9
4	22845	Каргополь	-11,4	-7,8	-16,2	-11,4	-20,9	-16,2	-4,2	-3,5	-5,8	2,4	1,5	4,7	9,4	7,5	13,8	16,5	12,4	18,4	20,0	20,2	22,5
5	22559	Холмогоры	-12,4	-9,6	-19,5	-19,0	-23,4	-16,0	-4,0	-3,9	-5,3	1,8	2,0	3,4	8,1	6,6	13,2	16,7	11,6	19,0	18,8	19,8	21,4
6	22869	Шенкурск	-10,3	-8,5	-17,4	-12,3	-23,0	-17,1	-4,9	-2,5	-4,5	3,0	2,1	4,9	11,1	7,0	14,3	15,4	12,3	19,2	20,1	19,7	22,9
7	22768	Шенкурск	-10,5	-8,0	-19,3	-15,2	-24,2	-15,6	-4,1	-3,8		3,5	2,6	4,6	11,6	6,9	15,0	16,7	12,8	19,6	20,3	20,2	22,9
8	22798	Яренск	-10,0	-11,4	-20,0	-16,6	-25,0	-20,1	-5,9	-3,8	-4,8	1,5	3,1	2,7	11,0	5,4	14,2	16,8	11,9	20,0	18,6	19,5	22,5
Средняя по субъекту РФ			-10,8	-9,5	-18,7	-14,8	-23,8	-17,7	-4,6	-3,6	-4,9	2,4	2,4	4,3	10,3	6,8	14,1	16,3	12,2	19,5	19,6	19,9	22,5
Норма			-14,4	-15,2	-15,5	-15,4	-15,0	-13,9	-12,8	-11,4	-9,5	-7,0	-4,4	-2,2	0,0	1,9	3,9	6,4	8,5	10,3	11,8	12,4	12,4

Рис. 5.7. Фрагмент таблицы с данными о средней декадной температуре воздуха по станциям, по субъектам и средними многолетними значениями (норма) температуры воздуха по субъектам

Пункт меню «Статистические данные» предназначен для информационного обеспечения пользователя ИПС статистической информацией в различных вариациях. Этот пункт дает возможность выбрать информацию по сельскохозяйственной культуре и виду статистической информации (рис. 5.8).

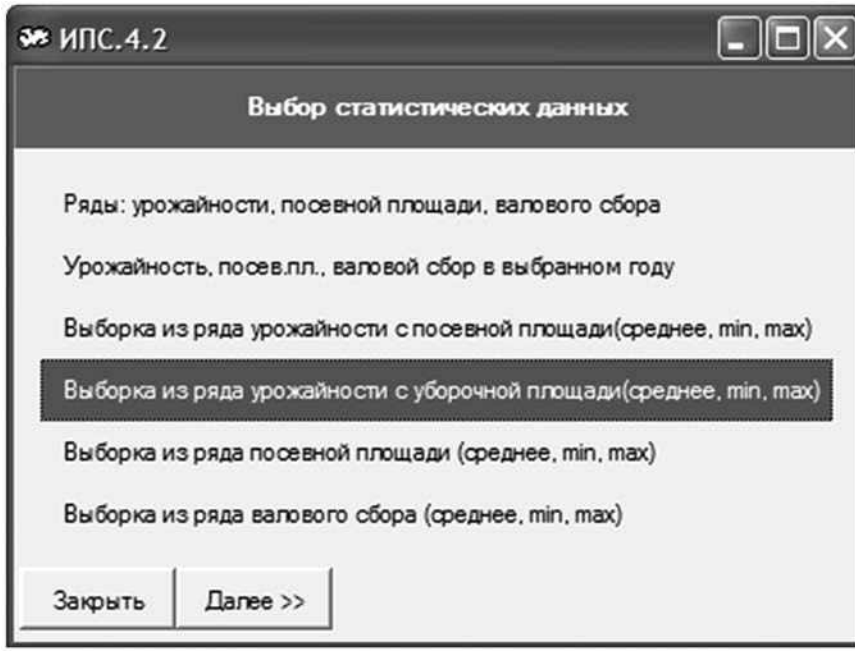


Рис. 5.8. Подменю формирования статистической информации

Пример выходных данных статистической информации представлен на рис. 5.9.

Пункт меню «Прогнозы, оценки, оправдываемость» позволяет для выбранной культуры рассчитать оценку условий вегетации, составить агрометеорологические прогнозы на основе динамико-статистических методов прогноза (рис. 5.10) или оценить оправдываемость составленных прогнозов согласно «Инструкции по оценке оправдываемости агрометеорологических прогнозов». Прикладные программы, используя оперативную и статистическую информацию, производят необходимые расчеты и формируют файл результатов, который можно просмотреть на экране дисплея и вывести на печать.

На рис. 5.11 представлен фрагмент файла выходных данных с результатами расчета прогнозируемой урожайности зерновых и зернобобовых культур.

13.01.2012 **ПШЕНИЦА ОЗИМАЯ** Стр. 1/2

Выборка из ряда урожайности с уборочной площади

Федеральный округ, субъект РФ, входящий в округ	Фактическая урожайность, ц/га				
	в 2010г	Средняя за последние		Максимальная значение - год	Минимальная значение - год
		5 лет	10 лет		
РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ	24,9	28,8	28,2	33,9-2008	21,30-2003
ЦЕНТРАЛЬНЫЙ ОКРУГ	19,8	28,3	27,2	36,8-2008	19,20-2000
Белгородская обл.	20,7	30,8	30,0	45,2-2008	19,30-2003
Брянская обл.	22,3	24,8	23,0	28,0-2009	16,60-2000
Владимирская обл.	18,3	24,8	23,2	29,1-2009	17,60-2003
Воронежская обл.	15,4	25,5	25,9	38,4-2008	15,40-2010
Ивановская обл.	22,0	20,9	19,2	22,0-2010	15,60-2000
Калужская обл.	21,9	22,2	20,9	25,3-2002	15,70-2001
Костромская обл.	15,2	18,0	17,4	25,1-2006	14,60-2009
Курская обл.	21,7	28,9	26,9	36,6-2008	17,90-2000
Липецкая обл.	20,5	32,4	31,2	41,8-2008	16,10-2000
Московская обл.	22,8	28,1	25,8	31,6-2007	19,00-2003
Орловская обл.	25,0	30,7	29,1	35,1-2009	22,10-2000
Рязанская обл.	15,9	27,9	25,8	33,5-2008	15,90-2010
Смоленская обл.	15,8	19,1	17,8	22,4-2007	13,40-2001
Тамбовская обл.	15,7	25,7	25,0	34,3-2008	15,70-2010
Тверская обл.	16,5	20,7	17,9	25,0-2006	10,70-2001
Тульская обл.	19,5	27,5	25,5	32,6-2009	19,30-2000
Ярославская обл.	17,4	22,4	20,0	26,3-2009	15,90-2001

Рис. 5.9. Фрагмент выходных статистических данных

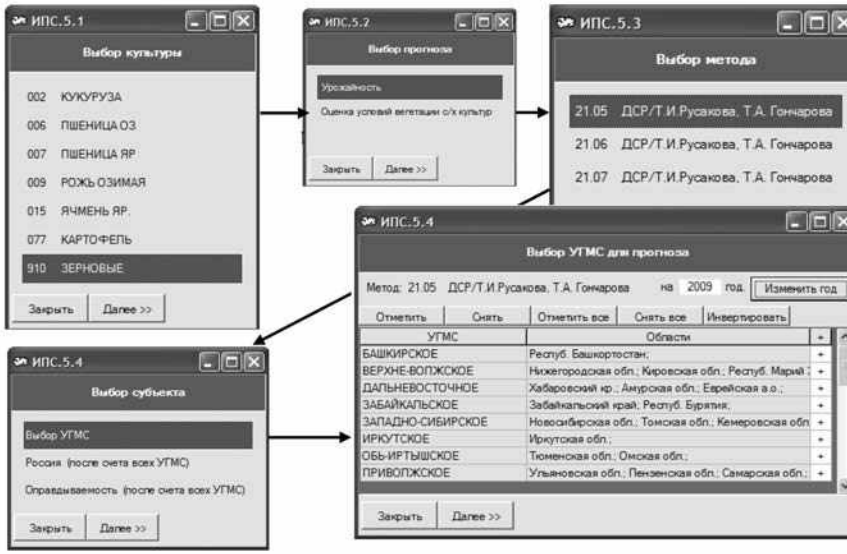


Рис. 5.10. Подменю формирования отчетов с прогностической информацией

ИПС позволяет провести расчеты оправдываемости составленных прогнозов в соответствии с действующим РД по оценке оправдываемости оперативных прогнозов. Автоматизированная оценка оправдываемости прогнозов проводится после получения и введения в информационную базу системы фактических значений урожайности, площадей, занятых под культурами и валового сбора по данным Федеральной службы государственной статистики (рис. 5.12).

Пункт меню «Условия перезимовки». Отдельным блоком выделена информация для оценки условий перезимовки. Перечень информации за зимний период содержит все необходимые метеорологические и агрометеорологические данные, которые характеризуют условия зимнего периода (рис. 5.13). Наиболее важный показатель перезимовки – температура почвы на глубине узла кущения по станциям (рис. 5.14). После получения поэлементных таблиц можно сформировать две обобщенные таблицы по всем субъектам. В первой таблице представляются все осредненные показатели зимнего периода по субъектам, а во второй – обобщенные результаты отращивания зимующих культур.

Пункт меню «Агрометеорологическая информация» позволяет формировать таблицы с оперативными агрометеорологическими данными в соответствии с подменю этого пункта системы (рис. 5.15): фазы развития сельскохозяйственных растений, высота, густота и состояние посевов; элементы продуктивности и структура урожая; повреждения

Прогноз урожайности ЗЕРНОВЫЕ И ЗЕРНОБОБОВЫЕ В ЦЕЛОМ на 21.05.2009
Метод: ДСР / Т.И. Русакова, Т.А. Гончарова

Субъект федерации	Тенденции урожайности, ц/га	Оценка условий вегетации, %	Прогноз урожайности, ц/га	Посевная площадь, тыс. га	Прогноз валового сбора, тыс. тонн
ЦЕНТРАЛЬНЫЙ					
Белгородская область	28,8	95,0	27,40	821,00	2 247,37
Брянская область	20,0	84,2	16,80	312,76	526,79
Владимирская область	20,0	106,2	21,20	84,39	179,27
Воронежская область	30,0	95,1	28,50	1 390,85	3 968,94
Ивановская область	20,0	79,0	15,80	68,37	107,96
Калужская область	21,0	106,8	22,40	92,95	208,45
Костромская область	14,0	84,7	11,90	63,42	75,21
Курская область	30,0	91,4	27,40	1 001,83	2 747,44
Липецкая область	35,0	99,6	34,90	808,89	2 819,57
Московская область	26,0	105,8	27,50	84,08	231,34
Орловская область	29,0	96,5	28,00	796,18	2 228,00
Рязанская область	30,0	93,6	28,10	523,90	1 471,81
Смоленская область	18,0	107,1	19,30	101,01	194,75
Тамбовская область	27,0	97,6	26,30	965,38	2 543,68
Тверская область	14,0	101,2	14,20	87,43	123,91
Тульская область	28,0	101,1	28,30	525,35	1 486,52
Ярославская область	18,0	106,0	19,10	55,49	105,86
			27.3	**7 783,28**	**21 261,01**

Рис. 5.11. Фрагмент файла выходных данных ИПС с результатами расчета прогнозируемой урожайности зерновых и зернобобовых культур

Оправдываемость метода прогноза урожайности ЗЕРНОВЫЕ И ЗЕРНОБОБОВЫЕ В ЦЕЛОМ на 21.05.2009
Метод: ДСР / Т.И. Русакова, Т.А. Гончарова

Субъект федерации	Прогноз урож., ц/га	Фактическая урож., ц/га	Относительная ошибка, %	Оправдываемость прогноза, %
Архангельская обл.	17.0	16.8	1,2	98.8
Респуб.Коми	6.4	6.5	1,5	98.5
Вологодская обл.	19.3	18.0	7,2	92.8
Респуб.Карелия	18.1	21.8	17,0	83.0
Ленинградская обл.	33.5	29.1	15,1	84.9
Псковская обл.	14.5	15.2	4,6	95.4
Новгородская обл.	13.3	13.8	3,6	96.4
Тверская обл.	14.2	13.9	2,2	97.8
Смоленская обл.	19.3	16.5	17,0	83.0
Калининградская обл.	32.8	36.5	10,1	89.9
Московская обл.	27.5	28.2	2,5	97.5
Брянская обл.	16.8	19.5	13,8	86.2
Орловская обл.	28.0	30.1	7,0	93.0
Липецкая обл.	34.9	33.7	3,6	96.4
Тамбовская обл.	26.3	27.3	3,7	96.3
Курская обл.	27.4	30.5	10,2	89.8
Белгородская обл.	27.4	29.0	5,5	94.5
Воронежская обл.	28.5	25.0	14,0	86.0
Калужская обл.	22.4	21.2	5,7	94.3
Тульская обл.	28.3	28.1	0,7	99.3
Ярославская обл.	19.1	18.5	3,2	96.8

Рис. 5.12. Фрагмент файла выходных данных ИПС с результатами расчета оправдываемости прогнозов урожайности зерновых и зернобобовых культур

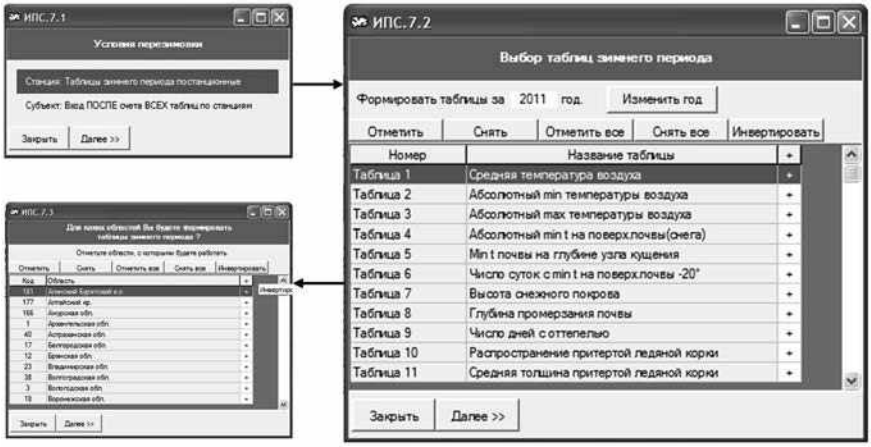


Рис. 5.13. Подменю формирования отчетов с данными, характеризующими условия перезимовки

метеорологическими явлениями, болезнями и вредителями; сельскохозяйственные работы; запасы продуктивной влаги в почве. В качестве примера на рис 5.16 показан выходной файл с обобщенными данными о датах наступления фаз развития.

Таким образом, ИПС – это многофункциональный технологический комплекс, включающий программное обеспечение, различные базы данных; при этом он является вспомогательным инструментом для получения агрометеорологической информации и составления прогнозов. Использование ИПС в оперативной работе позволяет в кратчайшие сроки проводить обработку поступающих оперативных телеграмм и получать всю необходимую информацию и прогнозы для проведения анализа и составления справок и агрометеорологических обзоров. При этом выходная агрометеорологическая продукция представляется в электронном виде, что принципиально важно для всего процесса оперативного обеспечения потребителей текущей и прогностической информацией.

В Гидрометцентре России в связи с особенностями подготовки агрометеорологической информации по очень большой территории ИПС успешно используется только для составления прогноза урожайности сельскохозяйственных культур по субъектам РФ.

Для обеспечения качественного уровня предоставления визуальной информации и других аналитических материалов центральным органам власти Российской Федерации и АПК России в 2011 году в Гидрометцентре России создана технология, обеспечивающая не только полный цикл обработки поступающей с сетевых наблюдательных органов агрометеорологической информации, но и визуализацию агрометеорологической

Минимальная температура почвы на глубине узла кущения,°С 2010-2011 гг.

Московская обл.

Таблица 5

№ п/п	Индекс станции	Станция	ноябрь			декабрь			январь			февраль			март		
			1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
49	27502	Волоколамск	1,0	2,0	-2,0	-5,0	-2,0		-1,0	-1,0	-1,0	0,0	-1,0	-1,0	-1,0	0,0	0,0
50	27419	Дмитров	0,0	1,0	-3,0	-7,0	-5,0		-2,0	-2,0	-2,0	-1,0	-2,0	-2,0	-2,0	-1,0	-1,0
51	58907	Загорск			0,0	-5,0	-1,0	-1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
52	27627	Кашира	0,0	1,0	-4,0	-4,0	-1,0		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
53	27417	Клин	1,0	1,0	-1,0	-3,0	-1,0		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
54	27625	Коломна				-6,0	-2,0		-1,0	-1,0	-2,0	-1,0	-2,0	-3,0	-2,0	-1,0	-1,0
55	27509	Можайск	1,0	1,0	-4,0	-10,0	-3,0		0,0	0,0	-1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
56	27515	Немчиновка			-5,0	-10,0	-3,0		-1,0	-4,0	-2,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	0,0
57	27511	Ново-Иерусалим	0,0	1,0	-6,0	-11,0	-4,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	0,0
58	27523	Павловский Посад	2,0	3,0	-1,0	-6,0	-3,0		-1,0	-1,0	-1,0	0,0	-1,0	-1,0	-1,0	0,0	0,0
59	27618	Серпухов М	1,0	3,0	-2,0	-4,0	-1,0	-1,0	-2,0	-1,0	-1,0	0,0	-1,0	0,0	0,0	0,0	0,0
60	58910	Солнечногорск	1,0	1,0	-3,0	-6,0	-2,0		-1,0	-1,0	-1,0	0,0	-1,0	0,0	0,0	0,0	0,0
61	27538	Черусти					10,0	-1,0								0,0	0,0
Минимум по субъекту			0,0	1,0	-6,0	-11,0	-5,0	-1,0	-2,0	-4,0	-2,0	-1,0	-2,0	-3,0	-2,0	-1,0	-1,0
Максимум по субъекту			2,0	3,0	0,0	-3,0	10,0	-1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Среднее по субъекту			0,8	1,6	-2,8	-6,4	-1,4	-1,0	-0,8	-1,0	-1,0	-0,3	-0,8	-0,8	-0,7	-0,3	-0,2

Рис. 5.14. Пример выходного файла с данными о минимальной температуре на глубине узла кущения

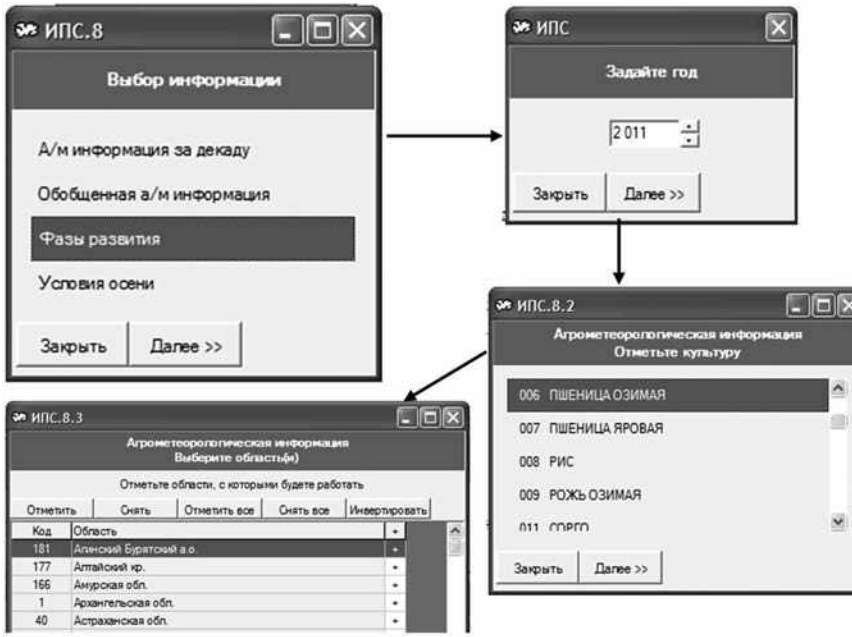


Рис. 5.15. Меню и подменю агрометеорологической информации

информации в виде метеорологических и агрометеорологических карт на базе программно-технологического комплекса обработки гидрометеорологической информации PROMETEI. Технология включает многоуровневую обработку данных, формирование обобщенных таблиц и обеспечивает расчеты отдельных необходимых для анализа статистических агрометеорологических характеристик.

Примеры метеорологических и агрометеорологических карт, получаемых при использовании комплекса PROMETEI, представлены на рис. 5.17 и 5.18.

ВОПРОСЫ

1. *Дайте определение термина «агрометеорологическая продукция».*
2. *Назовите основные направления усовершенствования системы оперативного агрометеорологического обслуживания.*
3. *Каковы основные функции информационно-прогностической системы (ИПС)?*
4. *Что такое информационная база ИПС?*
5. *Какие информационные таблицы можно получить с помощью ИПС?*

Даты наступления фаз развития озимых культур осенью.
ПШЕНИЦА ОЗИМАЯ, Воронежская обл., 2 011

Индекс станции	Станция	№ участка	Фазы развития							
			посев	прорастание зерна	всходы	3-й лист	образование узловых корней	кущение	прекращение вегетации	возобновление вегетации
34 121	Нижнедевицк	2	05 сен	14 сен	18 сен	06 окт			05 ноя	30 окт
34 123	Воронеж ЦГМ	38	15 сен	18 сен	20 сен	02 окт	22 окт	26 окт	05 ноя	
34 146	Борисоглебск	5	08 сен	14 сен	20 сен	24 сен	30 сен	04 окт	25 окт	
34 237	Павловск	10	10 сен	16 сен	18 сен	28 сен	02 окт	10 окт	25 окт	
34 238	Анна	3	20 сен	26 сен	28 сен	06 окт	12 окт		25 окт	
34 247	Калач	8	08 сен	18 сен	24 сен	02 окт	10 окт	14 окт	23 окт	
34 336	Богучар	3	12 сен	16 сен	24 сен	02 окт	06 окт	12 окт	24 окт	

Рис. 5.16. Пример выходного файла с обобщенными данными о датах наступления фаз развития озимой пшеницы осенью

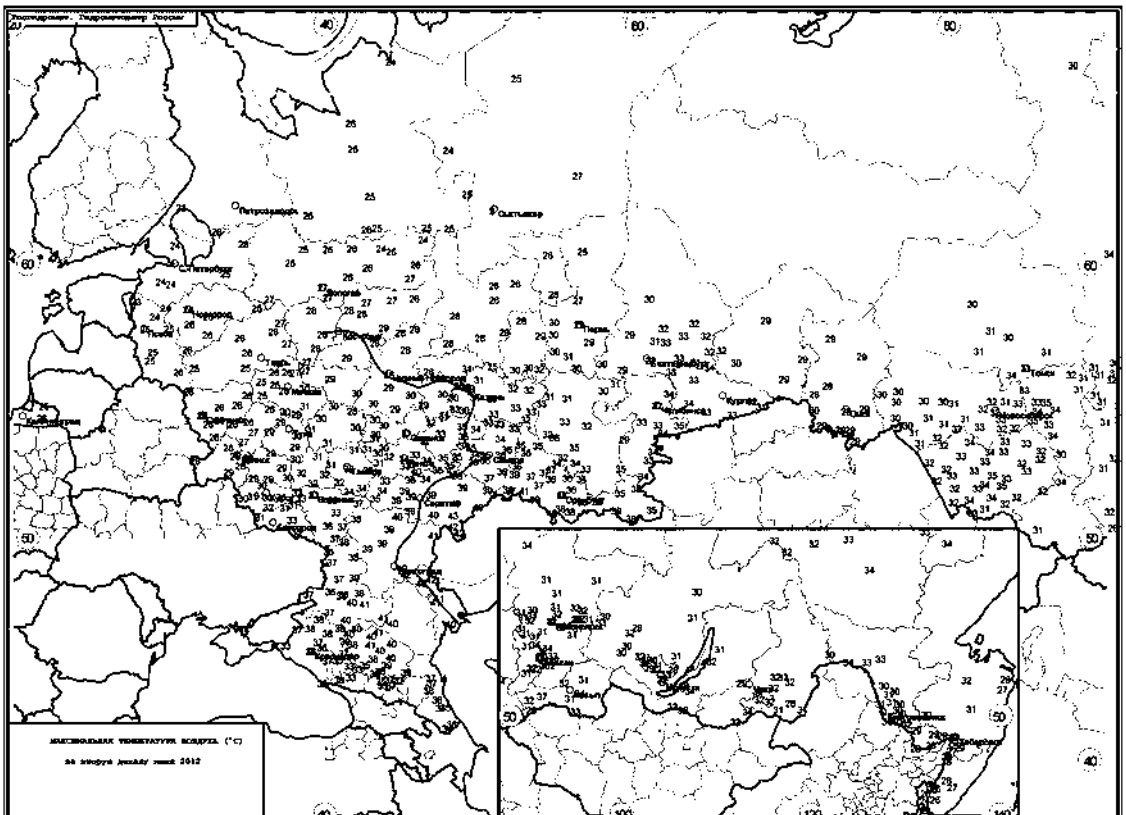


Рис. 5.17. Максимальная температура воздуха за вторую декаду июня 2012 г.

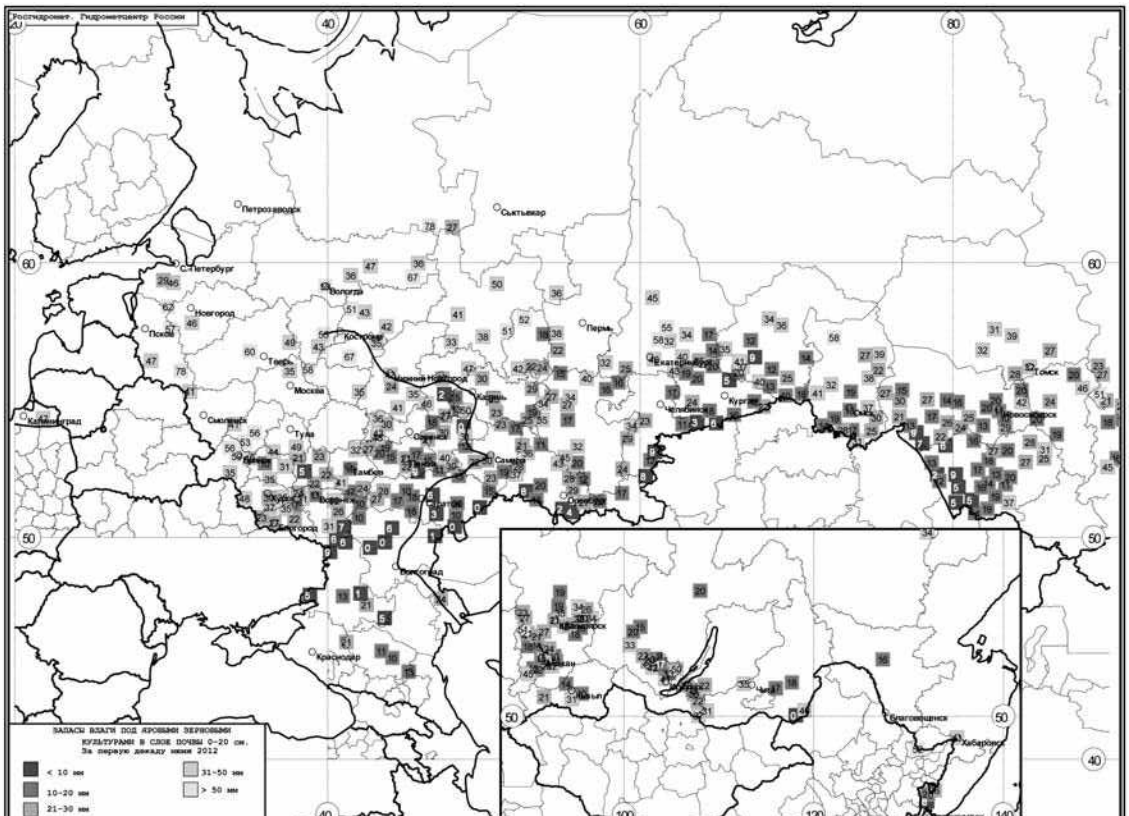


Рис. 5.18. Запасы продуктивной влаги под яровыми культурами в слое почвы 0–20 см за первую декаду июня 2012 г.

Словарь терминов и определений

Агрометеорологическая продукция – это полученная в результате обработки данных наблюдений гидрометеорологических станций обобщенная аналитическая информация о сложившихся и ожидаемых агрометеорологических условиях, предназначенная для распространения потребителям, а также различного вида агрометеорологические прогнозы.

Агрометеорологическая оценка – это качественная и количественная оценка, составляемая с помощью системы научно-методических приемов и позволяющая оценить влияние сложившихся и ожидаемых агрометеорологических условий на состояние, рост, развитие и формирование продуктивности растений на основе знания биологических особенностей растений, их потребности в условиях освещенности, увлажнения, теплового режима почвы и минерального питания.

Агрометеорологический прогноз – это научно обоснованное предположение о влиянии на состояние и продуктивность сельскохозяйственных растений или научно обоснованное предвидение или вероятностное суждение (заданной заблаговременности) о будущем состоянии или продуктивности сельскохозяйственных культур ожидаемых агрометеорологических условий.

Агрометеорологическое обеспечение – это система оперативного предоставления потребителю оперативной и режимной агрометеорологической (агроклиматической) информации, включая анализ сложившихся и прогноз ожидаемых агрометеорологических условий и их влияния на состояние, рост, развитие и формирование урожайности сельскохозяйственных культур, на проведение основных агротехнических и хозяйственных мероприятий в растениеводстве.

Антициклон – область повышенного атмосферного давления с замкнутыми концентрическими изобарами на уровне моря и с соответствующим распределением ветра по часовой стрелке в Северном полушарии. Изобары остаются в антициклоне замкнутыми до большей или меньшей высоты в зависимости от особенностей распределения температуры.

Барическая ложбина – вытянутая область пониженного давления с горизонтальной осью, т. е. линией сходимости барических градиентов и, следовательно, ветра. Изобары (линии на карте, соединяющие пункты с одинаковым значением давления) в области ложбины либо приблизительно параллельны, либо имеют вид латинской буквы V.

Барический гребень – область или полоса повышенного давления без замкнутых изобар (абсолютных изогипс). Очерчивается на карте либо малокриволинейными изобарами между двумя областями низкого давления, либо U-образными изобарами (абсолютными изогипсами). В последнем случае гребень есть периферийная часть антициклона.

Биологический минимум температуры – нижний уровень температуры, при котором происходит начало жизнедеятельности и активное развитие растений в той или иной фазе. Для большинства культурных растений умеренного климата биологический минимум температуры находится в пределах 3 – 5 °С; для растений южного происхождения (кукуруза, рис, хлопчатник) – в пределах 10 – 15 °С.

Выдувание посевов (почвы) – снос сильным ветром (более 10 – 12 м/с) верхнего слоя почвы на сельскохозяйственных полях, зачастую с посеянными семенами, всходами, а иногда и слабоукоренившимися растениями.

Вымерзание растений – повреждение или гибель зимующих растений в результате нарушения обмена веществ и образования кристаллов льда в протоплазме клеток при низких температурах почвы на глубине узла кущения озимых или корневой шейки

трав при недостаточно высоком снежном покрове или его отсутствии во время морозов. Озимые культуры гибнут при понижении температуры почвы на глубине узла кущения до критических для данного сорта значений.

Вымокание растений – повреждение или гибель озимых культур в результате нарушения процессов дыхания и фотосинтеза, недостатка кислорода и углекислого газа при затоплении растений водой в течение длительного времени, преимущественно в период снеготаяния весной.

Выпирание растений – повреждение посевов озимых культур в результате выноса узла кущения или верхней части корневой системы к поверхности почвы и их механического повреждения (разрыва) при неоднократных сменах оттепелей и морозной погоды.

Выпревание растений – повреждение или гибель озимых посевов в результате длительного пребывания их под высоким снежным покровом при температуре почвы на глубине узла кущения, близкой к 0 °С, без света при слабом промерзании почвы, когда растения интенсивно расходуют питательные вещества на дыхание, истощаются, а затем подвергаются грибковым заболеваниям, поражаются снежной плесенью, от которых окончательно погибают.

Геопотенциал – потенциальная энергия единицы массы (удельная потенциальная энергия) относительно уровня моря, определяемая положением этой массы в поле силы тяжести: $d\Phi = g dz$, $\Phi = \int_0^z g dz$. Геопотенциал в некоторой точке атмосферы численно равен работе, которую нужно затратить, чтобы поднять единицу массы в поле силы тяжести от уровня моря на данную точку. Геопотенциал на уровне моря принимается при этом за ноль.

Геопотенциал изобарической поверхности – значение геопотенциала в той или иной точке данной изобарической поверхности, т. е. в той или иной точке с определенным атмосферным давлением (например, 1000, 500 гПа и т. д.). Кроме абсолютного геопотенциала, различается еще относительный геопотенциал одной изобарической поверхности над другой, т. е. разность абсолютных геопотенциалов вышележащей и нижележащей поверхностей.

Геопотенциальная поверхность – поверхность, на которой потенциал силы тяжести (геопотенциал) имеет одно и то же значение. Направление силы тяжести во всякой точке поверхности уровня нормально к этой поверхности.

Динамико-статистические модели – это математические модели биологических систем, в которых сформулированы причинно-следственные связи развивающихся во времени процессов энерго- и массообмена растения с окружающей средой.

Инерционность – свойство живого организма или состояния среды сохранять определенную инерцию, медленно реагировать на изменения окружающих условий.

Карта барической топографии – высотная карта, синоптическая, средняя или климатологическая, на которую нанесены высоты (точнее – геопотенциалы) той или иной изобарической поверхности над уровнем моря (карта абсолютной барической топографии, АТ) или над уровнем нижележащей изобарической поверхности (карта относительной барической топографии, ОТ). На карте проводятся изогибсы – линии равного геопотенциала. Карта изогибс наглядно изображает рельеф изобарической поверхности. Обычно составляют карты для, так называемых, главных изобарических поверхностей, которые условно выбраны для давлений 1000, 850, 700, 500, 300, 200 и 100 гПа. Таким образом, карты АТ наглядно характеризуют распределение давления в атмосфере.

Качество урожая сельскохозяйственных культур – совокупность определенных (химических, физических, технологических, питательных и др.) свойств сельскохозяйственной продукции (сахаристость, жирность, белковость, волокнистость и т.д.),

обусловливающих ее способность удовлетворять конкретные запросы и требования потребителей.

Кустистость – показатель продуктивности злаковых растений – среднее количество всех стеблей, приходящихся на одно растение на 1 м^2 площади.

Ледяная корка – слой льда на поверхности почвы (притертая ледяная корка), образующаяся в результате чередующихся оттепелей и морозов. Повреждение растений происходит вследствие нарушения газообмена, имеют значение продолжительность залегания корки и механическое давление льда.

Продукционный процесс растений – это гармоничная совокупность отдельных взаимосвязанных процессов, из которых фундаментальными являются фотосинтез, дыхание и рост, в ходе которых происходит формирование урожая.

Синоптико-статистические модели – это математические модели, основанные на результатах исследований особенностей циркуляции атмосферы в различные периоды календарного года (по картам барической топографии в масштабе полушария) и установлении количественных связей между характеристиками циркуляционного режима и продуктивностью возделываемых культур.

Синоптическая карта – географическая карта, на которую цифрами и символами нанесены результаты наблюдений на сети метеорологических станций в определенные моменты времени.

Сумма активных температур – показатель, пропорциональный количеству тепла, выраженный суммой средних суточных температур воздуха или почвы, превышающих биологический минимум температуры, установленный для определенного периода развития растений.

Сумма эффективных температур – показатель, пропорциональный количеству тепла, выраженный суммой средних суточных температур воздуха или почвы, уменьшенных на величину биологического минимума температуры.

Фазы развития растений – последовательные этапы индивидуального развития растения: от прорастания семени до созревания новых семян и отмирания организма.

Фенологический прогноз – это предсказание, основанное на расчетах сроков наступления сезонных явлений и процессов в жизни растений (животных).

Фотосинтез – это процесс трансформации поглощенной растением электромагнитной энергии солнечного света в химическую энергию органических (и неорганических) соединений.

Фотосинтетически активная радиация (ФАР) – биологически активный участок коротковолновой радиации (в спектральной области 380–710 нм), используемой растениями в процессе фотосинтеза.

Циклон – атмосферное возмущение с пониженным давлением воздуха (минимальное давление в центре) и с циркуляцией воздуха вокруг центра против часовой стрелки в Северном полушарии и по часовой стрелке – в Южном. При этом в слое трения (от земной поверхности до высоты нескольких сот метров) ветер имеет составляющую, направленную внутрь циклона по барическому градиенту, убывающую с высотой. Изобары в циклоне – округлой или овальной, или вообще неправильной формы. Порядок величины поперечников внетропических циклонов от тысячи километров в начале развития циклона и до нескольких тысяч километров в случае, так называемого, центрального циклона. Барические градиенты в циклоне увеличены, и скорости ветра усилены.

Циркумполярный вихрь – общее вращение атмосферы вокруг полюса с запада на восток. На этот общий западный перенос вокруг полюса налагаются возмущения, обусловленные циклонической деятельностью.

Рекомендуемая литература к главе 1

1. *Грингоф И.Г., Пасечнюк А.Д.* Агрометеорология и агрометеорологические наблюдения. – Санкт-Петербург: Гидрометеоиздат, 2005. – 551 с.

2. *Инструкция* по оценке оправдываемости агрометеорологических прогнозов. – М.: Гидрометеоиздат, 1983. – 7 с.

3. *Методические* указания. Проведение производственных (оперативных) испытаний новых и усовершенствованных методов гидрометеорологических и гелиогеофизических прогнозов. – Л.: Гидрометеоиздат, 1991. – С. 98 – 107.

4. *Пасов В.М.* Изменчивость урожаев и оценка ожидаемой продуктивности зерновых культур. – Л.: Гидрометеоиздат, 1986. – 152 с.

5. *Полевой А.Н.* Теория и расчет продуктивности сельскохозяйственных культур. – Л.: Гидрометеоиздат, 1983. – 175 с.

6. *Развитие* сельскохозяйственной метеорологии в России. (Коллектив авторов под ред. А.Д. Клещенко и И.Г. Грингофа). – Обнинск, 2009. – 570 с.

7. *Толковый* словарь по сельскохозяйственной метеорологии / Под ред. проф. И.Г. Грингофа и д-ра эконом. наук А.М. Шамена. – Спб.: Гидрометеоиздат, 2002. 471 с.

Рекомендуемая литература к главе 2

1. *Вериго С.А., Разумова Л.А.* Почвенная влага (применительно к запросам сельского хозяйства). – Л.: Гидрометеоиздат, 1973. – 328 с.

2. *Грудева А.Я.* Об оценке агрометеорологических условий осенней вегетации озимых // Метеорология и гидрология. – 1966. – № 5 – С. 42 – 45.

3. *Давитая Ф.Ф.* Прогноз обеспеченности теплом и некоторые проблемы сезонного развития природы. – М.: Гидрометеоиздат, 1964. – 164 с.

4. *Деревянко А.Н.* Начало полевых работ и сроки сева ранних яровых культур. Агрометеорологические условия и продуктивность сельского хозяйства Нечерноземной зоны РСФСР. – Л.: Гидрометеоиздат, 1978. – С. 65 – 70.

5. *Козельцева В.Ф.* К прогнозу устойчивого перехода температуры воздуха через 5 и 0 °С осенью // Труды ГМЦ СССР. – 1982. – Вып. 227. – С. 78 – 85.

6. *Комоцкая Л.В., Страшная А.И.* Кукуруза. Основы метода долгосрочного прогноза урожайности и валового сбора зерна кукурузы с заблаговременностью от 1 до 3 месяцев // Методические указания по составлению долгосрочных прогнозов урожайности и валового сбора озимой пшеницы, ярового ячменя, кукурузы, картофеля, сахарной свеклы и подсолнечника в Черноземных районах Европейской части РСФСР. – Л.: Гидрометеоиздат, 1987. – С. 31 – 39.

7. *Краснянская В.П.* О предвычислении сроков наступления восковой спелости яровой пшеницы с большой заблаговременностью // Труды ДВНИИ. – 1978. – Вып. 74. – С. 9 – 14.

8. *Личикаки В.М.* Перезимовка озимых культур. – М.: Колос, 1974. – 208 с.

9. *Лосев А.П.* Сборник задач и вопросов по агрометеорологии. Л.: Гидрометеоиздат, 1988. – 144 с.

10. *Лубнин М.Г.* Влияние агрометеорологических условий на работу сельскохозяйственных машин и орудий. – Л.: Гидрометеоиздат, 1983. – 120 с.

11. *Мещанинова Н.Б.* Агрометеорологическое обоснование орошения зерновых культур. – Л.: Гидрометеоиздат, 1971. – С. 65 – 99.

12. *Моисейчик В.А.* Агрометеорологические условия и перезимовка озимых культур. – Л.: Гидрометеоиздат, 1975. – 295 с.

13. *Моисейчик В.А.* Агрометеорологические условия и перезимовка озимых культур. – Л.: Гидрометеоиздат, 1975. – 294 с.

14. *Моисейчик В.А., Богомолова Н.А.* Возможности физико-математических методов долгосрочных агрометеорологических прогнозов состояния озимых зерновых культур к весне по субъектам Российской Федерации и в целом по Российской Федерации в условиях глобального изменения климата // Труды ГУ «ВНИИСХМ». – 2007. – Вып. 36. – С. 133 – 149.

15. *Моисейчик В.А., Богомолова Н.А., Страшная А.И., Максименкова Т.А.* Влияние глобального изменения климата на агрометеорологические условия перезимовки и формирования урожая озимых зерновых культур в России за последние 50 лет // Труды ГУ «ВНИИСХМ». – 2007. – Вып. 36. – С. 106 – 132.

16. *Разумова Л.А.* Методика составления прогноза запасов продуктивной влаги в почве к началу вегетационного периода. // Сборник методических указаний по анализу и оценке сложившихся и ожидаемых агрометеорологических условий. – Л.: Гидрометеоиздат, 1957. – С. 19 – 27.

17. *Разумова Л.А., Мещанинова Н.Б.* Агрометеорологические расчеты и прогнозы оптимальных сроков и норм полива основных зерновых культур // Методическое пособие. – Л.: Гидрометеоиздат, 1977. – 120 с.

18. *Разумова Л.А., Мещанинова Н.Б.* Составление агрометеорологических расчетов и прогнозов оптимальных сроков и норм полива кукурузы // Методические указания. – Л.: Гидрометеоиздат, 1978. – 39 с.

19. *Руководство* по агрометеорологическим прогнозам. Л.: Гидрометеоиздат, 1984. – Т. 1. – 309 с.

20. *Страшная А.И.* Развитие методов агрометеорологических прогнозов урожайности зерна кукурузы // Агрометеорология XXI века: Материалы Международной научной конференции. – М.: Изд-во РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева, 2009. – С. 131 – 143.

21. *Страшная А.И.* Прогноз урожайности зерна кукурузы в экономических районах Европейской части СССР // Труды Гидрометцентра СССР. – Л: Гидрометеоиздат, 1991. – Вып. 325. – С. 34 – 42.

22. *Страшная А.И., Максименкова Т.А., Богомолова Н.А., Чуб О.В.* Об агрометеорологическом обеспечении сельского хозяйства в период уборки и осенней вегетации озимых зерновых культур в условиях потепления климата // Труды ГУ «ВНИИСХМ». – 2010. – Вып. 37. – С. 42 – 68.

23. *Страшная А.И.* Агрометеорологические условия перезимовки формирования семян многолетних сеяных трав на Европейской части СССР. – Л.: Гидрометеоиздат, 1988. – 158 с.

24. *Страшный В.Н.* Агрометеорологические условия и качество зерна озимой пшеницы в Центрально-Черноземной зоне.: автореф. дис. канд. с.-х. наук. – М., 1987. – 25 с.

25. *Страшный В.Н.* Влияние агрометеорологических условий на качество урожая озимой пшеницы // Метеорология и гидрология. – 1975. – № 10. – С. 92 – 98.

26. Тебуев Х.Х. Метод долгосрочного прогноза урожайности семян подсолнечника // Метеорология и гидрология, 1989. – №6. – С. 110 – 115.

27. *Толковый* словарь по сельскохозяйственной метеорологии / Под ред. проф. И.Г. Грингофа и д-ра эконом. наук А.М. Шамена. Спб.: Гидрометеоиздат, 2002. – 471 с.

28. *Туманов И.И.* Физиология закаливания и морозостойкости растений – М.: Наука, 1979. – 350 с.

29. *Уланова Е.С.* Агрометеорологические условия и урожайность озимой пшеницы. – Л: Гидрометеоиздат, 1975. – 302 с.

30. *Федосеев А.П.* Агротехника и погода. – Л.: Гидрометеоиздат, 1979. – 240 с.

31. *Чирков Ю.И.* Агрометеорологические условия и продуктивность кукурузы. Л.: Гидрометеоиздат, 1969. – 251 с.

32. *Шостак З.А., Федосеев А.П.* Влияние влажности почвы на эффективность летней подкормки азотом зерновых культур // Труды ИЭМ, 1976. – Вып. 9 (68). – С. 14 – 19.

Рекомендуемая литература к главе 3

1. *Абашина Е.В., Просвиркина А.Г., Сиротенко О.Д.* Упрощенная динамическая модель формирования урожая ярового ячменя // Труды ИЭМ, 1977. – Вып. 8 (67). – С. 54 – 68.

2. *Галямин Е.П.* Оптимизация оперативного распределения водных ресурсов в орошении. – Л.: Гидрометеоиздат, 1981. – 272 с.

3. *Грингоф И.Г., Русакова Т.И., Лебедева В.М., Шкляева Н.М.* Разработка автоматизированной информационно-прогностической системы обеспечения потребителей на примере Центрального федерального округа // Труды регионального конкурса научных проектов в области естественных наук. Калуга: Изд-во «Полиграф-Информ». – 2006. – Вып. 10. – С. 481 – 491.

4. *Клещенко А.Д., Гончарова Т.А., Найдина Т.А.* Использование спутниковой информации в динамических моделях прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур // Метеорология и гидрология. – 2012. – № 4. – С. 92 – 104.

5. *Методические* указания. Проведение производственных (оперативных) испытаний новых и усовершенствованных методов гидрометеорологических и гелиогеофизических прогнозов. – Л.: Гидрометеоиздат, 1991. – 150 с.

6. *Полевой А.Н.* Прикладное моделирование и прогнозирование продуктивности посевов. – Л.: Гидрометеоиздат, 1988. – 320 с.

7. *Полевой А.Н.* Теория и расчет продуктивности сельскохозяйственных культур. – Л.: Гидрометеоиздат, 1983. – 176 с.

8. *Полевой А.Н., Русакова Т.И. и др.* Прикладная динамическая модель формирования урожая сельскохозяйственных культур // Гидрометеорологическое обеспечение агропромышленного комплекса страны – Л.: Гидрометеоиздат. – 1991. – С. 15 – 31.

9. *Росс Ю.К.* Радиационный режим и архитектоника растительного покрова. – Л.: Гидрометеоиздат, 1975. – 341 с.

10. *Русакова Т.И., Лебедева В.М., Грингоф И.Г., Шкляева Н.М.* Современная технология поэтапного прогнозирования урожайности и валового сбора зерновых культур // Метеорология и гидрология. – 2006. – № 7. – С. 101 – 108.

11. *Русакова Т.И.* О создании новой технологии оперативного агрометеорологического обеспечения агропромышленного комплекса России // Метеорология и гидрология. – 2004. – № 12. – С. 82 – 89.

12. *Русакова Т.И., Лебедева В.М., Грингоф И.Г., Шкляева Н.М.* Исследование параметров общей циркуляции атмосферы с целью разработки новой компьютерной технологии поэтапного прогнозирования валового сбора зерновых культур. Опытная реализация на примере Центрального федерального округа // Труды регионального конкурса научных проектов в области естественных наук. Вып. 9. – Калуга: Изд-во АНО «Калужский научный центр», 2006. – С. 316 – 326.

13. *Сивков С.И.* Методы расчета характеристик солнечной радиации. – Л.: Гидрометеоиздат, 1968. – 232 с.

14. *Сиротенко О.Д.* Математическое моделирование водно-теплового режима и продуктивности агроэкосистем. – Л.: Гидрометеоиздат, 1981. – 168 с.

15. *Сиротенко О.Д., Абашина Е.В., Павлова В.Н.* Динамическая модель погода – урожай для яровых зерновых культур и ее использование при оценке агрометеорологических условий формирования урожаев в аридной зоне // Труды ВНИИСХМ. – 1985.– Вып. 10. – С. 42 – 61.

16. *Толковый* словарь по сельскохозяйственной метеорологии / Под ред. проф. И.Г. Григнгофа и д-ра эконом. наук А.М. Шамена. – Спб.: Гидрометеоиздат, 2002. – 471 с.

17. *Тооминг Х.Г.* Солнечная радиация и формирование урожая. – Л.: Гидрометеоиздат, 1977. – 194 с.

18. *Monsi, M., T. Saeki.* Uber den Lichtfaktor in den Pflanzengeselschaften und seine Bedeutung fur die Stoffproduction // Jap. J. Bot. – 1953. – Vol. 14., N. 1. – P. 22 – 52.

Рекомендуемая литература к главе 4

1. *Лебедева В.М.* Метод долгосрочного прогноза теплообеспеченности вегетационного периода // Метеорология и гидрология. – 2005. – № 9. – С. 93 – 99.

2. *Мещерская А.В., Руховец Л.В., Юдин М.И., Яковлева Н.И.* Естественные составляющие метеорологических полей. – Л.: Гидрометеоиздат, 1970. – 200 С.

3. *Пасов В.М.* Изменчивость урожаев и оценка ожидаемой продуктивности зерновых культур. – Л.: Гидрометеоиздат, 1986. – 107 с.

4. *Пасов В.М., Аксарина Е.А., Зинченко В.П.* Исследование структуры поля геопотенциала над Северным полушарием в связи с ожидаемой урожайностью пшеницы на территории США // Труды ВНИИСХМ. – Вып. 28. – 1991. – С. 48 – 61.

5. *Пасов В.М., Аксарина Е.А., Зинченко В.П.* Методические указания по составлению прогноза урожайности яровой пшеницы до сева в основных районах ее возделывания. – М.: Гидрометеоиздат, 1985. – 39 с.

6. *Пасов В.М., Аксарина Е.А., Зинченко В.П.* Методическое пособие по составлению прогноза урожая яровой пшеницы до сева в основных районах ее выращивания. – М.: Гидрометеоиздат, 1982. – 31 с.

7. *Пасов В.М., Аксарина Е.А., Лебедева В.М.* Исследование структуры поля геопотенциала над Северным полушарием в связи с ожидаемой урожайностью пшеницы на территории США // Труды ВНИИСХМ. – 1991. – Вып. 28. – С. 48 – 61.

8. *Российский* гидрометеорологический энциклопедический словарь / Под ред. А.И. Бедрицкого. – СПб.; М: Летний сад, 2009. – Т.1 – 336 с.

9. *Российский* гидрометеорологический энциклопедический словарь / Под ред. А.И. Бедрицкого. – СПб.; М: Летний сад, 2009. – Т. 2 – 312 с.

10. *Российский* гидрометеорологический энциклопедический словарь / Под ред. А.И. Бедрицкого. – СПб.; М: Летний сад, 2009. – Т. 3 – 216 с.

Рекомендуемая литература к главе 5

1. *Инструкция* по оценке оправдываемости агрометеорологических прогнозов. – М.: Гидрометеоиздат. – 1983. – 7 с.

2. *Развитие* сельскохозяйственной метеорологии в России. (Коллектив авторов под ред. А.Д. Клещенко и И.Г. Грингофа). – Обнинск, 2009. – 570 с.

3. *Русакова Т.И.* О создании новой технологии оперативного агрометеорологического обеспечения агропромышленного комплекса России // Метеорология и гидрология. – 2004. – № 12. – С. 82 – 89.

4. *Русакова Т.И., Лебедева В.М., Грингоф И.Г.* Разработка и реализация новой информационно-прогностической системы оперативного агрометеорологического обеспечения аграрного сектора экономики России // Труды ГУ «ВНИИСХМ». – 2007. – Вып. 36. – С. 92 – 105.

5. *Русакова Т.И., Лебедева В.М., Грингоф И.Г., Шкляева Н.М.* Разработка компьютерной технологии мониторинга состояния посевов основных сельскохозяйственных культур (оз. пшеницы, оз. ржи, ячменя и картофеля) и поэтапного прогнозирования их урожайности для субъектов Российской Федерации, входящих в Центральный округ // Труды регионального конкурса научных проектов в области естественных наук. Калуга: Изд-во АНО «Калужский научный центр». – 2007. – Вып. 12. – С. 378 – 393.

Оглавление

Предисловие 5

Глава 1. Научно-методологические основы составления агрометеорологических оценок и прогнозов 7

1.1. Роль количественных оценок и прогнозов в системе оперативного агрометеорологического обеспечения аграрного сектора страны 7

1.2. Научные основы методов агрометеорологических оценок и прогнозов 9

1.3. Статистические, динамико-статистические и синоптико-статистические методы оценок и прогнозов 12

1.4. Изменчивость урожаев сельскохозяйственных культур 18

1.5. Оправдываемость методов прогнозов урожайности сельскохозяйственных культур 22

1.5.1. Оценка оправдываемости новых и усовершенствованных методов прогнозов урожайности сельскохозяйственных культур 22

1.5.2. Оценка оправдываемости прогнозов урожайности в оперативно-производственных организациях Росгидромета 25

Вопросы 28

Глава 2. Статистические методы агрометеорологических оценок и прогнозов 29

2.1. Методы прогнозов оптимальных сроков сева и состояния озимых культур осенью 29

2.1.1. Методы прогноза агрометеорологических условий произрастания озимых в осенний период и оптимальных сроков сева по полям 30

2.1.2. Метод прогноза оптимальных сроков сева озимых с учетом изменения агроклиматических условий по субъектам Центрального и Приволжского федеральных округов 34

2.1.3. Метод прогноза состояния озимых культур ко времени прекращения их вегетации по территории области, края, республики 40

2.1.4. Усовершенствованный метод прогноза состояния озимых зерновых культур осенью 42

2.2. Методы прогноза перезимовки озимых культур 45

2.2.1. Методы прогноза площади вымерзания озимых культур по территории субъектов Российской Федерации (по осредненным показателям) 46

2.2.2. Метод прогнозирования площади вымерзания озимых культур по результатам отращивания проб растений (уточнение основного прогноза) 48

2.2.3. Техника и пример составления прогноза вымерзания озимых культур 49

2.2.4. Методы прогноза площади выпревания озимых культур по субъектам Российской Федерации 52

2.2.5. Уточнение прогноза выпревания по результатам отращивания проб 53
2.2.6. Метод прогноза гибели озимых культур от повреждения ледяной коркой 54
2.2.7. Комплексный метод долгосрочного прогноза перезимовки озимых культур на больших площадях (область, республика) 56
2.2.8. Усовершенствованный метод долгосрочного прогноза перезимовки озимых культур весной по субъектам РФ и в целом по России 58
2.2.9. Метод прогноза перезимовки многолетних сеяных трав 66
2.3. Метод прогноза запасов продуктивной влаги в почве весной к началу вегетационного периода озимых и яровых зерновых культур 69
2.4. Методы прогноза оптимальных сроков начала полевых работ и сева ранних яровых зерновых культур 73
2.5. Метод прогноза теплообеспеченности вегетационного периода 76
2.5.1. Прогноз теплообеспеченности вегетационного периода 77
2.5.2. Прогноз продолжительности вегетационного периода 78
2.6. Методы прогноза сроков наступления основных фаз развития и созревания сельскохозяйственных культур 79
2.6.1. Научные основы метода фенологических прогнозов 79
2.6.2. Прогноз сроков наступления восковой спелости яровой пшеницы 81
2.6.3. Прогноз продолжительности периода посев – восковая спелость яровой пшеницы в Приморском крае 85
2.7. Методы прогноза оптимальных доз азотных удобрений под зерновые культуры 86
2.7.1. Метод учета осадков осенне-зимнего периода при установлении оптимальных доз азотных удобрений под яровые зерновые культуры 88
2.7.2. Метод прогноза оптимальных доз весенней азотной подкормки озимых культур 89
2.7.3. Метод прогноза летней азотной подкормки зерновых культур 90
2.8. Методы прогноза оптимальных режимов орошения зерновых культур 92
2.8.1. Метод прогноза влагозарядковых поливов озимых культур 92
2.8.2. Метод прогноза норм орошения на предстоящий период вегетации основных зерновых культур 95
2.9. Методы прогноза урожайности и валового сбора основных сельскохозяйственных культур 98
2.9.1. Метод прогноза урожайности озимой пшеницы 98

2.9.2. Метод прогноза урожайности яровой пшеницы 104
2.9.3. Методы прогноза урожайности ярового ячменя..... 110
2.9.4. Методы прогноза урожайности зерна кукурузы.....111
2.9.5. Методы долгосрочного прогноза урожайности зерновых и зернобобовых культур..... 113
2.9.6. Прогноз урожайности и валового сбора зерновых и зернобобовых культур с учетом темпов уборки и динамики намолотов в целом по Российской Федерации 117
2.9.7. Методы прогноза урожайности семян подсолнечника..... 119
2.9.8. Методы прогноза урожайности сахарной свеклы..... 122
2.9.9. Методы прогноза средней областной урожайности и валового сбора семян многолетних трав..... 124
2.10. Методы оценки полегания зерновых культур..... 130
2.10.1. Прогноз полегания посевов ячменя 132
2.10.2. Прогноз полегания озимой пшеницы 133
2.11. Методы оценки агрометеорологических условий уборочного периода..... 134
2.12. Прогноз качества зерна озимой пшеницы в Центрально-Черноземных областях..... 137
Вопросы 139
Глава 3. Динамико-статистический метод оценки условий вегетации и прогнозирование урожайности сельскохозяйственных культур 142
3.1. Основные принципы прогнозирования урожайности 142
3.2. Прогнозирование тенденции урожайности 143
3.3. Оценка агрометеорологических условий вегетации..... 145
3.4. Базовая динамическая модель формирования урожая..... 146
3.4.1. Блок фотосинтеза 146
3.4.2. Блок дыхания 151
3.4.3. Блок роста 152
3.4.4. Агрометеорологический блок..... 154
3.5. Динамико-статистические методы прогноза урожайности..... 157
3.5.1. Разработка методов прогноза урожайности на основе динамической модели 157
3.5.2. Прогнозирование урожайности в оперативном режиме..... 160
3.5.3. Усовершенствование динамико-статистических методов прогнозирования урожайности..... 164
Вопросы 165
Глава 4. Синоптико-статистические методы агрометеорологических прогнозов..... 166
4.1. Использование синоптико-статистического подхода для оценки ожидаемой урожайности сельскохозяйственных культур 166

4.2. Синоптико-статистический метод прогноза урожайности яровой пшеницы до сева в основных районах ее возделывания (на примере Восточно-Сибирского региона) 167
4.3. Прогноз урожайности ярового ячменя по субъектам РФ до сева яровых культур 171
4.4. Усовершенствование синоптико-статистического метода прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур 174
Вопросы 180
Глава 5. Реализация методов оценок и прогнозов на основе современных компьютерных технологий 181
5.1. Цели и задачи информационно-прогностических систем (ИПС) 183
5.2. Структура информационно-прогностической системы 184
5.3. Информационное обеспечение оценок и прогнозов 186
5.4. Эксплуатация ИПС 187
Вопросы 200
Словарь терминов и определений 204
Рекомендуемая литература к главе 1 207
Рекомендуемая литература к главе 2 207
Рекомендуемая литература к главе 3 209
Рекомендуемая литература к главе 4 210
Рекомендуемая литература к главе 5 210

В.М. Лебедева, А.И. Страшная

Основы сельскохозяйственной метеорологии

Том II

Методы расчетов и прогнозов в агрометеорологии

Книга 2

Оперативное агрометеорологическое прогнозирование

Корректор: *Л.В. Гришкина*
Компьютерная верстка: *Н.Б. Хомченкова*

Оригинал-макет подготовлен в ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД»
249035, Калужская обл., г. Обнинск, ул. Королева, 6