



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра метеорологии климатологии и охраны атмосферы

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
магистерскую диссертацию

На тему: «Оценка методов прогнозирования агрометеорологических показателей»

Исполнитель Рыбалкин Владислав Сергеевич
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель кандидат географических наук, доцент
Абаников Виктор Николаевич
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
заведующий кафедрой


(подпись)

к. ф. - м. н., доцент

Сероухова Ольга Станиславовна

(фамилия, имя, отчество)

«14» 06 2022 г.

Санкт-Петербург
2022

СОДЕРЖАНИЕ

стр.

ВВЕДЕНИЕ	2
ГЛАВА 1. АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОГНОЗЫ	4
1.1. Агрометеорологические показатели	4
1.2. Прогноз неблагоприятных условий	8
1.3. Прогноз урожайности и качества урожая	19
ГЛАВА 2. АНАЛИЗ РЕЖИМА МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК	24
2.1 Анализ радиационного режима Воронежской области	24
2.2 Термический режим области	33
2.3 Режим увлажнения Воронежской области	64
ГЛАВА 3. ОПРАВДЫВАЕМОСТЬ АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПРОГНОЗОВ	67
3.1 Оценка прогноза суммы активных температур	67
3.2 Оценка прогноза урожайности	70
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	Error! Bookmark not defined.
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	78

ВВЕДЕНИЕ

Зависимость сельскохозяйственного производства от метеорологических и климатических условий достаточно сложна, так как не существует оптимальных условий, одинаково благоприятных для всех направлений сельского хозяйства и даже для всех культур, выращиваемых на данной территории.

Сельское хозяйство – одна из наиболее важных отраслей экономики, но и одновременно наиболее зависимая от климатических и погодных условий.

Актуальность исследования обосновывается тем, что существуют различные направления агрометеорологического прогнозирования: прогнозы формирования опасных агрометеорологических условий; прогнозы агрометеорологических характеристик и ресурсов; прогнозы урожайности. В основе прогнозов лежат различные подходы и методы – от синоптических до регрессионно-корреляционных методов. Вследствие этого возникает необходимость по определению наиболее точных методов прогнозирования агрометеорологических показателей и ресурсов для Воронежской области, а также методов прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур.

Целью данного исследования является изучение климатических условий Воронежской области за период с 2010 по 2015 год., анализ урожайности озимой пшеницы и оценка методов прогнозирования агрометеорологических параметров.

Целью данной работы является оценка методов прогнозирования агрометеорологических показателей и урожайности сельскохозяйственных культур.

Для достижения поставленной цели в работе установлены следующие задачи:

1. Проанализировать основные направления и методы агрометеорологического прогнозирования;

2. Провести анализ режима метеорологических характеристик, важных для сельскохозяйственного производства (приходящая солнечная радиация, температура воздуха, показатели увлажнения);
3. Разработка прогноза суммы активных температур и оценка полученных величин с реальными значениями.
4. Спрогнозировать урожайность пшеницы разными методами и сравнить с фактическими значениями;
5. Определить наиболее точные методы агрометеорологического прогнозирования для данного региона.

Объектом исследования является Воронежская область. Область расположена в умеренном климатическом поясе, где почти круглый год господствует умеренная воздушная масса и западный перенос.

Воронежская область занимает основные позиции в России по производству основных видов сельскохозяйственной продукции, как растениеводства, так и животноводства. Растениеводство является основной отраслью, на долю которой приходится более 60% валовой продукции сельского хозяйства.

Предметом исследования является – агрометеорологические условия на территории Воронежской области.

Для написания данной работы были использованы агроклиматические справочник Воронежской области, атласы по Воронежской области, руководства по агроклиматическим ресурсам, различная справочная и учебная литература, а также режимная метеорологическая информация с 2010 г. по 2015 г.

ГЛАВА 1. АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОГНОЗЫ

1.1. Агрометеорологические показатели

Для сельского хозяйства одним из важнейших видов агрометеорологических услуг является агрометеорологическое прогнозирование. Данное понятие подразумевает под собой научное прогнозирование изменений агрометеорологических условий, их непосредственного влияния как на состояние биологических объектов, так и на процессы сельскохозяйственного производства [1].

Правильно и количественно выраженную многофакторную зависимость процесса развития биологических объектов или же общих агрометеорологических условий в полной мере можно назвать научной основой агрометеорологического прогнозирования [1].

В процессе разработки методов агрометеорологического прогнозирования особое значение отводят отбору наиболее важных и ограничивающих факторов, определяющих конечный результат из общего комплекса агрометеорологических условий, в первую очередь учитываются инерционные факторы, то есть факторы, которые постепенно изменяются с течением времени, но определяют состояние объектов сельского хозяйства. К инерционным факторам относятся количество растений на единицу площади, запас продуктивной влаги, площадь поверхности листьев, количество колосков колоса и злаков. В результате, если во время закладки колосьев образовалось несколько зерен или колосков, то при наличии дальнейших оптимальных условиях, которые способствуют достаточному росту и развитию зерновых культур, их количество не увеличивается, и их корреляционно-регрессионный анализ непосредственно используется для выбора инерционных факторов, влияющих на предикторы. Предварительными данными для агрометеорологических прогнозов являются

наблюдения, связанные с погодными условиями и состоянием урожая в течение года, проводимые Гидрометеорологическим бюро, долгосрочные прогнозы погоды, агрометеорологические справочники и атласы. При необходимости используются данные Государственной статистической комиссии о размере площади гибели озимых зерновых и многолетних трав, об урожайности и общем сборе сельскохозяйственных культур [2].

По специальным программам на сети станций часто проводятся дополнительные наблюдения, потому что качество прогноза и непосредственно его достоверность зависят от точности исходной информации. Примером дополнительных мер служат наземные и авиационные обследования состояния посевов на больших площадях, которые в свою очередь значительно дополняют информацию на станциях. Предварительность агрометеорологических прогнозов составляет от 1 до 3 месяцев [1].

Обоснованность агрометеорологических прогнозов часто очень высока, так как составляются они в основном в Гидрометцентре, Межрегиональном управлении, Региональном центре Росгидромета, и при их составлении учитывается исходное состояние урожая, фактические агрометеорологические условия, сложившиеся на дату прогноза, и важнейшие инерционные факторы [1].

Работы по разработке и совершенствованию методов прогнозирования ведутся в Агрометеорологическом институте, Российском гидрометеорологическом исследовательском центре и многих других научно-исследовательских учреждениях [3].

Исходя из того, что каждый метод можно применить только лишь к определенным климатическим зонам, сортам и почвенным условиям, то можно сделать вывод о том, что методы агрометеорологического прогнозирования не могут считаться универсальными [1].

Агрометеорологические прогнозы по содержанию разделены на пять основных групп, включая прогнозирование погодных условий, фенологии,

состояния яровых и озимых культур, урожайности основных культур, качества трав и урожаев, а также эффективности отдельных сельскохозяйственных и мелиоративных мероприятий [1].

Основными агрометеорологическими показателями являются сумма продолжительности вегетационного периода, температуры и средней температуры, количество осадков, продуктивной влаги, активной температуры гидротермального коэффициента [1].

Прогнозы таких показателей вносят значительный вклад в сельское хозяйство и экономику, оттого оправдываемость этих прогнозов должна быть максимальной [1].

Были установлены разные системы для определения вегетационного периода. Почти по всей Европе полагается, что вегетационный период — это время от последнего весеннего заморозка до первого осеннего. Рассматривая другое определение, вегетационный период включает в себя все дни года, когда среднесуточная температура превышала $+5^{\circ}\text{C}$. В странах с мягким климатом допустим в Великобритании, он принимается за начало вегетационного периода, в течение первых 3 дней подряд при температуре выше $+5^{\circ}\text{C}$, а осенью - в течение первых 3 дней подряд при температуре ниже $+5^{\circ}\text{C}$. - как конец [1].

Средняя продолжительность вегетационного периода зависит от региона, высоты и микроклимата. В закрытой долине или горах полей он самый короткий [1].

Коэффициент гидротермального увлажнения Селенинова описывает уровень влагообеспеченности региона. Он был введен российским климатологом Г. Т. Селяниновым используется для определения целесообразности выращивания конкретной культуры с использованием общей оценки климата и сельскохозяйственной оценки для распределения площадей с различным уровнем влагообеспеченности [1].

Такой показатель как сумма активных температур представляет собой количество тепла. Его можно выразить как количество, необходимое для

развития определенного растения или как сумму среднесуточной температуры почвы или воздуха выше 0, 5, 10°C [1].

Данный показатель можно рассчитать, как сумму среднесуточной температуры в день, когда эта температура превышает заданное значение [7].

В результате в год, когда недостаток тепла велик, некоторым культурам не хватает времени, чтобы завершить вегетацию, поэтому в такой год нужно сеять более неопределенные культуры. При большой положительной тепловой аномалии рекомендуется расширять посевы сельскохозяйственных культур и культур сортов более теплолюбивых [1].

Исходя из вышесказанного, в практике агрометеорологических служб очень важно делать прогнозы теплообеспеченности. В вегетационный период прогнозы теплообеспеченности, которые действительно можно назвать надежными и долгосрочными, используются при определении посевных площадей определенных культур и их сортов с разной степенью зрелости; определении сроков и критериев посева, уборки урожая и заготовки кормов; принятии и принятии многих оперативных и экономических решений[1].

Ф.Ф. Давитая был разработчиком метода прогноза. Основание взаимосвязи строиться на сумме дат активных температур с устойчивым переходом среднесуточной температуры воздуха от 10 °С к более раннему наступлению этой даты [1].

Для определения этой связи уравнения в общем случае имеют следующий вид:

$$\sum t_{>10^{\circ}\text{C}} = a - bD, \quad (1.1)$$

где $\sum t_{>10^{\circ}\text{C}}$ — прогнозируемая сумма активных температур, °С; а и b — числовые коэффициенты, которые зависят от места расположения района; D — дата весеннего перехода среднесуточной температуры воздуха через 10 °С,

выраженная числом дней от 01.03 или 01.04 в зависимости от того, на какой месяц приходится самая ранняя дата перехода температуры через 10 °С.

Минусом данного метода является то, что следующий теплый период не будет учитывать ранние осенние заморозки, когда прогноз оправдан и дает основания предполагать, что культура развивалась в течение всего периода, в результате чего развитие растения может остановиться [2].

В регионах, где влажность недостаточна и нестабильна, а осенние запасы влаги часто намного ниже, чем самая низкая влагоемкость, к началу вегетационного периода составляется прогноз запасов продуктивной влаги в почве. Спланировать сроки посева яровых культур, а также выбрать способ обработки почвы перед посевом можно с помощью этого прогноза, определив какие именно культуры лучше всего высевать в данном году [2].

Разумовой Л.А. была разработана методика прогнозирования, в основе которой лежал тот факт, что весенние запасы влаги в почве зависят от осенне-зимних осадков и осенних запасов. В слое почвы 0...100 см ожидаемые запасы продуктивной влаги рассчитываются по формуле:

$$W_{\text{вес}} = W_{\text{ос}} + \Delta W \quad (1.2)$$

где $W_{\text{ос}}$ — влагозапасы в слое от 0 до 100 см на дату последнего их определения, мм; ΔW — изменение влагозапасов за период от даты последнего определения влажности почвы осенью до даты перехода среднесуточной температуры воздуха через 5 °С весной.

1.2. Прогноз неблагоприятных условий

В зависимости от того, насколько агрометеорологические условия благоприятны для сельскохозяйственных культур, будут в достаточной мере изменяться качество и величина урожайности данных культур. Такие явления

считаются неблагоприятными для сельского хозяйства в неурожайные годы [2].

Такие явления, как заморозки и суховеи, дождь и град, засухи и песчаные бури, относятся опасным агрометеорологическим явлениям по отношению к сельскохозяйственному производству. Опасными их называют потому, что каждое из них благодаря своей интенсивности, продолжительности воздействия, ареала распространения или времени возникновения способно нанести поистине сильный ущерб животноводству и сельскохозяйственным культурам [2].

Так как около 70% пахотных земель находится в районах, в которых увлажнение недостаточно и нестабильно, то такое явление как засуха создает проблему для эффективного использования Российских сельскохозяйственных угодий. При данном явлении нарушается равновесие между поступлением влаги из почвы растению и непосредственно потребностью растения в ней. Это происходит при продолжительном отсутствии осадком, посредством чего нарушается достаточное снабжение водой растений [2].

Под суховеями принято поднимать явление, при котором возникновение ветра обусловлено высокой температурой (всегда выше 25°C) и влажностью (относительная влажность менее 30%). Ветер приобретает восточное или юго-восточное направление, а скорость его составляет выше 5 м/с [2].

В связи с возникновением данного явления тканям растений приходится терять достаточно много влаги, а это в свою очередь приводит к различным метаболическим нарушениям: нарушение процесса фотосинтеза и дыхания, нарушение как белкового, так и углеводного обмена. Чтобы различить ожоги на растениях достаточно обратить внимание на появление пятен (белых, красных, желтых или бесцветных) [2].

Возникновение засух и суховеев в России зависит от атмосферной циркуляции. Это в свою очередь приводит к длительной антициклональной

погоде. В большинстве случаев это малоподвижный и обширный антициклон, доходящий до западной части России [3].

В целом засухи в зависимости от того, когда они происходят, можно разделить на весенние, летние и осенние [2].

Возникновение весенней засухи можно объяснить малой относительной влажностью и низкими температурами, суховеями, а также малыми продуктивными запасами воды. В связи с этим задерживается прорастание семян и появление всходов, а это влечет за собой ослабление укоренения рассады. Наиболее восприимчивыми к такому типу засух являются яровые культуры из-за слабости развития их корневой системы. Затянувшиеся весенние засухи могут в значительной мере снизить конечный урожай [2].

Для летней засухи характерны низкая относительная влажность, высокая температура воздуха и сильное испарение. Последствия такой засухи тяжелее, т.к. наравне с уменьшением урожая ухудшается и качество возвращенных культур [2].

Осенняя засуха связаны с низкой влажностью и температурой воздуха. Очень восприимчивыми к осенней засухе являются озимые культуры. Как правило, это происходит после уборки зерновых культур и в период окончания вегетации некоторых других культур [3].

Следующая формула предложена В.Г. Нестеровым для определения засушливости по гидротермическому показателю предложил В.Г. Нестеров:

$$K_n = \sum (td) \quad (1.3)$$

где t — температура воздуха в 13 ч, °С; d — дефицит влажности воздуха в 13 ч, гПа.

Показатель K_n необходимо вычислять по данным, вычисленным в день прохождения последнего дождя.

Для того, чтобы рассчитать начало засухи, используют показатель засушливости Н.В. Бова:

$$K_B = \frac{10(W_{\text{пр}} + r)}{\sum t} \quad (1.4)$$

где $W_{\text{пр}}$ — запасы продуктивной влаги в слое почвы 0...100 см весной, мм; r — количество осадков, выпавших с весны до момента расчета, мм; $\sum t$ — сумма температур от даты перехода температуры воздуха через 0 °С весной до наступления засухи, °С.

Период, когда K_B уменьшается до 1,5 мм/°С, принято считать началом засухи. В этот момент на юго-востоке европейской части России начинается негативное воздействие засухи на яровую пшеницу [2].

Пользуясь формулой Н.В. Бовы нужно учитывать следующий момент: корневая система культур в первую половину вегетации развита мало, поэтому в данный период следует учитывать не полный запас влаги в почве, а всего 65-70%. Недостатками использования данной формулы является то, что не учитывается степень пахотного горизонта [2].

Для юго-восточных районов европейской части России характеристикой засух является гидротермический коэффициент (ГТК) Г.Т. Селянинова.

Таблица 1.1 – Характеристика гидротермического коэффициента Г.Т. Селянинова.

Засуха	ГТК
Слабая	0,9...0,6
Средняя	0,6...0,5
Сильная	0,5...0,4
Очень сильная	< 0,4

Тот момент, что в расчетах не учитывается запас влаги в почве, является недостатком данного метода.

Следующий коэффициент увлажнения предложили использовать для общей оценки засух Е.С. Уланова:

$$K_y = \frac{W_{\text{пр}} + r_{05...06}}{0,01 \sum t_{05...06}}, \quad (1.5)$$

где $W_{\text{пр}}$ — запасы продуктивной влаги в слое почвы 0...100 см во время устойчивого перехода средней суточной температуры воздуха через 5 °С весной, мм; $r_{05...06}$ — сумма осадков за май–июнь, мм; $\sum t_{05...06}$ — сумма средних суточных температур воздуха за май–июнь, °С.

Представленные ниже коэффициенты увлажнения соответствуют различным степеням:

$K_y < 15$	очень сильная засуха
$15 \leq K_y < 20$	сильная засуха
$20 \leq K_y < 25$	средняя засуха

Довольно опасным явлением являются заморозки. Заморозки - явление, которое обуславливается понижением температуры воздуха ниже -2 °С [2].

Данное явление чаще всего наблюдается при прохождении антициклона, осенью и весной при повышенном атмосферном давлении и повышенном эффективном излучении подстилающей поверхности, а также несильном ветре [2].

Заморозки делятся на несколько видов, а именно: слабые, средние и сильные. При слабых заморозках температура опускается не ниже -2 °С. При средних заморозках температура снижается уже до -3. . .-4 °С. При сильных заморозках температура опускается до -5 °С, охватывая слой воздуха до высоты 1,5. . . 2 м [2],

По продолжительности заморозки разделяются на длительные, среднепродолжительные, кратковременные [2]. В зависимости от характера процесса, вызывающего заморозки, их разделяют на три вида [2].

В результате вторжения и активного притока холодных арктических воздушных масс, а также перестройки сезонной циркуляции атмосферы обычно возникают адвективные заморозки. Их обычно наблюдают при низких температурах, в период ранней весны или поздней осени, обычно при сильном ветре и не менее сильной облачности [2].

Радиационные заморозки часто образуются тихими безоблачными ночами из-за относительно низкой среднесуточной температуры. Принцип образования радиационных заморозков принципиально связано с охлаждением подстилающей поверхности [2].

Своевременные предупреждения о сроках образования заморозков и их предполагаемой интенсивности могут помочь уменьшить ущерб и, в некоторых случаях, избежать серьезного воздействия на урожайность. Для предупреждения заморозков разработаны различные методы их прогнозирования и расчета [2].

Чтобы рассчитать формирование заморозков, применяются эмпирические методы, учитывая показания сухого и смоченного термометров, расчеты точки росы, суточных амплитуд [3].

Следующее уравнение Михалевский предложил использовать для расчета минимальной температуры почвы:

$$t_{\min} = t' - (t - t')C \pm A, \quad (1.6)$$

$$t_{\min} = t' - (t - t')2C \pm A,$$

где t' — температура по смоченному термометру в 13 ч, °С; t — температура по сухому термометру в 13 ч, °С; C — коэффициент, который зависит от относительной влажности воздуха f .

A — поправка на облачность, которая вводится после наблюдений в 19 ч: если небо ясное, то $A = -2$ °С, при средней облачности - $A = 0$, при облачности 8-10 баллов $A = +2$ °С.

Если рассчитать t_{\min} , и она будет равна ниже -2 °С, то заморозок прогнозируется; вероятен заморозок при t_{\min} от -2 до $+2$ °С; маловероятным заморозок считается при t_{\min} выше 2 °С.

Р.М. Меджитов предложил следующие формулы, при помощи которых можно рассчитать ожидаемые минимальные температуры воздуха $t_{\min в}$ и почвы $t_{\min п}$ на почвах северо-западных и западных областей России:

$$t_{\min в} = 0,8t + 0,09f - 14,1, \quad (1.7)$$

$$t_{\min п} = 0,78t + 0,11f - 18,3,$$

Где t и f — температура и относительная влажность воздуха в 13ч.

По графику П.И. Броунова можно рассчитать ожидаемую ночную температуру воздуха на высоте 2 м.

При этом методе используются 13-часовые и 21-часовые наблюдения за температурой. Для определения образования заморозков нужно отложить по горизонтальной оси дневную и вечернюю разность температур, а по вертикальной оси - вечернюю температуру. Пересечение указывает на вероятность образования заморозка [4].

Ливневые дожди наносят основательный ущерб растениеводству. Климатическими показателями являются сумма осадков и число дней с осадками за декаду, месяц, сезон, год. Суточный максимум осадков чаще всего приходится на теплые месяцы [3].

Под интенсивностью осадков принимается тот объём осадков, который выпадает за единицу времени. Среднесуточную интенсивность осадков за определенный промежуток времени рассчитывается, как среднее количество

осадков, которое выпадает за день [3].

В период вегетации сельскохозяйственных культур при средней влажности свыше 60-80% от общей влажности слоя почвы 30-50 см наблюдается такое агрометеорологическое явление, как сильное увлажнение почвы, которое для сельскохозяйственных культур является достаточно опасным. [3].

Потери урожая на тяжелосуглинистых почвах для картофеля могут составлять 56-84%, для зерновых культур – 32-48%, для многолетних культур – 24-36% [3].

Проливные дожди и сильные ветра часто вызывают полегание зерна на 20-30% посевных площадей. Полегание - это потеря культурами способности к поддержанию нормального прямостоячего положения. Полегание зерновых культур может быть вызвано неблагоприятными метеорологическими условиями, что впоследствии может приводит к существенным потерям урожая и урожайности до 20-30% [3].

Ветра со скоростью более 4 м/с оказывают наибольшее влияние на полегание зерна после прохождения осадков, но при мороси (с отсутствием ветра) или сухих погодных условиях полегание посевов не наблюдается [3].

В момент сильного дождя именно кинетическая энергия капель воды может привести к полеганию. Следующие неравенства, согласно мнению Т.И. Русаковой, являются требованиями, которые необходимы для полегания:

$$U_k \geq A,$$
$$A = (k_y E l_x) / 1 \quad (1.8)$$

где U_k – кинетическая энергия капле, которая вызывает изгиб растений, $H \cdot м$; A представляет собой работу, необходимую совершить капле дождя, чтобы вызвать максимальное отклонение растения от вертикального положения, $H \cdot м$.

От продолжительного намочения во время дождя масса растения увеличивается, и это изменение массы можно рассчитать по следующей

формуле:

$$P_H = P k_H , \quad (1.9)$$

где k_H – безразмерный коэффициент изменения массы растения от длительного намочания. Данный коэффициент в первые 4 часа находится по эмпирической формуле А.С. Ванштока:

$$k_H = 1 + 0,4t , \quad (1.10)$$

где t – время увлажнения, ч.

В данном случае достаточное условие для полегания представляется в виде:

$$P * k_H \geq F_y , \quad (1.11)$$

где F_y - сила, которая стремится вернуть растение в исходной положение.

Эти данные представляют собой воздействие погодных условий на полегание посевов от интенсивности дождя при слабом ветре. Очевидно, что полегание культур в данном случае будет определяется изгибом растений под воздействием кинетической энергии капель [3].

Основным моментом для прогнозирования ливневых дождей является прогнозирование конвективных облаков и гроз. Обычными погодными условиями, при которых происходят ливневые дожди, являются — поверхностная и высокая влажность, небольшое значение дефицита точки росы, превышающие влажноадиабатический градиент, отсутствие слоев инверсии и изотермии [3,6].

Для того, чтобы не ошибиться в прогнозировании сильных дождей фронтального характера, важно определить следующие моменты: положение

и эволюцию фронта, а также предполагаемые изменения конвективной неустойчивости. Продолжительность фронтального ливня ($t_{л}$) зависит от количества и скорости движения кучево-дождевых облаков, которые

проходят через определённое место. Это можно определить с помощью следующей методики:

$$t_{л} = K \frac{L}{V} \quad (1.12)$$

где: L —средняя длина 12-часовой траектории частицы в слое 1000–850 гПа(км); V —средняя скорость движения облачности (км/ч); K —коэффициент, равный 0,25 для фронта окклюзии, 0,3—для теплого фронта, 0,2—для холодного и 0,1—для размытых фронтов.

В оперативной практике следует отметить, что наиболее популярными являются синоптические методы прогнозирования как ливневых дождей, так и морозящих и п обложных [3].

Такие явления как град, осадки, которые выпадают в теплое время года в виде ледяных частиц разного размера из кучево-дождевых облаков, относятся к опасным для растений явлениям природы. Причиной этому является тот факт, что падение и повреждение градом посевов, фруктовых деревьев, виноградников и др. может нанести серьезный и непоправимый ущерб [3].

Чаще всего величина градин составляет от нескольких миллиметров до 2-5 см. И от частоты выпадения осадков на единицу площади, и от продолжительности града, а также его размера зависит ущерб, который будет нанесен посевам и плантациям. В предгорьях и горных районах наблюдаются самые сильные грозы с градом. В жаркие дни там возникает мощный восходящий поток вследствие большой неоднородности нагрева разных открытых склонов и циркуляции горного воздуха [3].

Скорость падения града, лежит в основе кинетической энергии и определяется двумя составляющими: вертикальной (сила тяжести) и горизонтальной (ветер) [3].

Существует два параметра града, с помощью которых обычно определяют степень повреждения растений — это количество выпадающих частиц диаметром выше критического и общей кинетической энергией падающего града. Эти два параметра определяются для единицы площади горизонтальной плоскости в большинстве случаев на 1 м^2 [3].

Град обычно выпадает полосой, ширина которой составляет от нескольких сотен метров до 3 - 5 км и длиной 15-20 км. Продолжительность града составляет как правило не превышает 15 минут. Для уменьшения ущерба, наносимого градом, необходимы различные методы воздействия на процессы града. Они носят такое название, как активные воздействия на градовые облака. Град образуется только лишь при условиях, благоприятных для возникновения интенсивных осадков и гроз [3].

В момент выпадения града наиболее характерны следующие синоптические условия:

- холодные фронты с волнами при больших контрастах температуры;
- вторичные холодные фронты,
- фронты окклюзии с достаточно хорошо выраженным верхним холодным фронтом.

Вероятность выпадения града возрастает, когда на карте АТ-500 отмечается адвекция холода, а на карте АТ-850 отмечается адвекция тепла [6].

В момент образования града скорость восходящего конвективного потока больше 5 м/с. Такая скорость достигает своего максимального значения почти в центральной части облака, в котором образуется град. К тому же, создаются условия для образования зон, в которых наблюдается скопление крупных капельных частиц жидкого и твердого вещества [6].

Для прогнозирования града могут использоваться как данные утреннего зондирования атмосферы и влажности в пограничном слое атмосферы при внутримассовых процессах, так и прогностические кривые стратификации точки росы и температуры [6].

В нижеперечисленных случаях следует использовать данные утренних атмосферных наблюдений:

- Во время прогнозирования данные MRL указывают на то, что отдельный фокус радиоэхо-сигнала наблюдается в точке или области радиусом 50 км или при движении к прогнозируемой точке в радиусе 100 км.;
- Когда спутниковые снимки ИСЗ показывают малоподвижное большое скопление кучево-дождевых облаков над прогнозируемой областью;
- Когда нет адвекции

1.3. Прогноз урожайности и качества урожая

Для того, чтобы составить прогноз урожайности, необходимо учитывать долгосрочный прогноз валового сбора и урожайности основных сельскохозяйственных культур. Это в свою очередь позволит определить ожидаемые уборки и транспортировки урожая, ресурсы сельскохозяйственной продукции, подготовки складских помещений, потребности в оборудовании [5].

Есть определенная зависимость урожайности сельскохозяйственных культур от некоторых факторов, но многих из них достаточно стабильные. Тем не менее, существуют временные и пространственные колебания урожайности, которые также обусловлены влиянием агрономических условий. Именно поэтому основные и лимитирующие агрометеорологические величины должны учитываться в первую очередь при прогнозировании урожайности [5].

Методика прогнозирования урожайности озимой пшеницы центрально-черноземной пшеницы установила, что запасы весенней влаги в почве, а также количество стеблей на 1 м², которые сохранились после зимовки, являются инерционными факторами в формировании урожая. Для отдельных полей и средней урожайности по региону были получены формулы для того, чтобы осуществить прогнозирование ожидаемой урожайности в различные сроки. Урожайность озимой пшеницы на другом поле со сроком опережения в три месяца прогнозируется по формуле:

$$Y = 0,1(0,059W + 0,024n - 2,97), \quad (1.13)$$

где Y — ожидаемая урожайность, т/га; W — запасы продуктивной влаги в слое почвы 0...100 см весной, мм; n — число стеблей на 1 м² весной.

Метод этого прогнозирования строиться на тесной взаимосвязи между урожайностью кукурузы и запасами влаги в почве. Площадь листовой поверхности культуры представляет собой фотосинтетический потенциал. Расчет корректируется с учетом температуры воздуха во время формирования элемента продуктивности початков [5].

Также был разработан прогноз урожайности кукурузы в нечерноземной и степной зонах. В уравнении для нечерноземных регионов с ограниченными тепловыми ресурсами сумма эффективных температур более чем 10°C включена в качестве одного из предикторов [5].

Для определения ожидаемой средней региональной урожайности свеклы в основной зоне посева используется метод О.М. Конторщиковой, который основан на зависимости урожайности сельскохозяйственных культур от наличия теплообеспеченности и влаги посевов. Таким образом, для Воронежской области уравнение будет выглядеть следующим образом:

$$Y = 0,105y_1 + 0,002\sum t + 0,092w - 0,343 \quad (1.14)$$

где Y — ожидаемая средняя областная урожайность, т/га; y_1 — средняя по области биологическая урожайность (масса корнеплода на 20.07, умноженная на густоту посева на 20.08), т/га; $\sum t$ — средняя по области сумма активных температур выше 10 °С до 01.08, °С; w — средняя по области влагообеспеченность посевов за весь период вегетации, %.

Прогноз обычно составляют в конце июля, из-за этого некоторые данные вводят из справочника или по прогнозу. Густоту посевов на 20.08 (n) определяют по следующей формуле:

$$n = 0,8n_1 + 6, \quad (1.15)$$

где n_1 — густота посевов на 01.07.

Прогноз урожайности пастбищной и посевной травы оказывает сильное влияние на районы развитого животноводства, основным источником корма которых является как натуральное сено, так и пастбище. Урожайность сенокосов определяется в основном весенними запасами продуктивной влаги в почве 0 слоев...100 см. В восточных и центральных регионах, эта зависимость оказывается простой и имеет следующий вид:

$$Y = 0,1(0,06W + 2,2), \quad (1.16)$$

где Y — средняя областная урожайность, т/га; W — запасы продуктивной влаги в слое почвы 0...100 см на конец мая, мм.

В северных и северо-западных частях зависимость средней урожайности этой области от запасов влаги имеет криволинейную особенность:

$$Y = 0,1(-0,0005W^2 + 0,22W - 15,4), \quad (1.17)$$

Максимальная урожайность (выше 1 т/га) отмечается при запасах влаги составляющей 200...250 мм. Дальнейшее увеличение влажности, которое возможно в этих районах, препятствует аэрации почвы, снижает плодородие и снижает урожайность пастбищ [5].

Для различных регионов Нечерноземья получена зависимость средней урожайности многолетних семенных трав в регионе. В дополнение к вышеупомянутому способу прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур были разработаны методы прогнозирования урожайности овса и ячменя, озимой ржи, ябллок, льноволокна и многих других культур. В стремлении получить максимально возможный урожай с единиц посевной площади часто забывается такой немаловажный аспект, как качество получаемого продукта. Если урожай высокий, то качество продукта не всегда такое высокое, оно может быть даже очень низким и использовано только для технической переработки [5].

Невозможно получить хорошее масло, сухое масло, лак, краску из льняного семени низкого качества, скажем, зерна пшеницы с низким содержанием белка и пониженным содержанием клейковины признаны непригодными для производства хлебобулочных и макаронных изделий [7].

Качество урожая во многом зависит от климата и погодных условий. С усилением континентального характера климата установили, что качество клубней картофеля напрямую зависит от распределения осадков, при чем на протяжении всего вегетационного периода, улучшения влагообеспечения в течение вегетационного периода, увеличивает содержание сахара в свекле и содержание масла в семенах подсолнечника; также установлено повышение содержания в зернах пшеницы белка [5].

На этой основе были разработаны методы долгосрочного прогнозирования качества урожая для многих сельскохозяйственных культур. Прогноз содержания белка и клейковины в зерне озимой пшеницы сильных сортов в условиях Черноземной зоны, разработанный В.Н. Страшным, вычисляется по следующей формуле:

$$Y_{\text{б}} = 0,27A - 0,01W + 0,16d - 0,002N + 0,09t + 9,52, \quad (1.18)$$

а клейковины — по формуле:

$$Y_{\text{к}} = 0,44A - 0,03W + 0,33d - 0,006N + 0,24t + 21,94, \quad (1.19)$$

где $Y_{\text{б}}$ и $Y_{\text{к}}$ — содержание белка и клейковины, %; A — средняя амплитуда температуры воздуха за период от возобновления до начала активной, °С; W — запасы продуктивной влаги в слое почвы 0...100 см на начало периода вегетации, мм; d — среднесуточный дефицит влажности воздуха от начала активной вегетации до колошения, гПа; N — число колосоносных стеблей; t — среднесуточная температура воздуха за межфазный период колошение, °С (берут по прогнозу погоды или из справочника). Прогноз составляют после наступления фазы колошения.

ГЛАВА 2. АНАЛИЗ РЕЖИМА МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

2.1 Анализ радиационного режима Воронежской области

От энергии солнечного излучения происходят физические и географические процессы. Солнце является источником электромагнитного излучения. Солнечное излучение оказывает влияние на химический состав растений. При низком освещении процессы биосинтеза, которые происходят в клетках растений, подавляются [7].

Составляющими солнечной радиации являются три вида радиации, такие как прямая, суммарная и рассеянная. Излучение, достигающее поверхности Земли от солнечного диска, называется прямым солнечным излучением [7].

Интенсивность прямой солнечной радиации напрямую зависит от высоты солнца (рис. 2.8) и параметров состояния атмосферы.

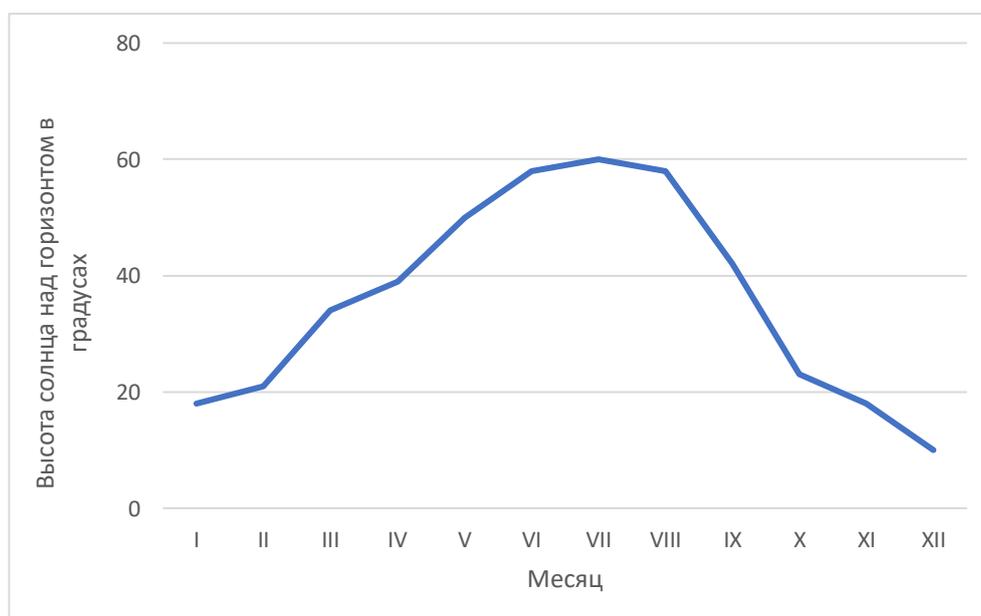


Рисунок 2.8 - Изменение высоты солнца над горизонтом на широте г. Воронежа.

Из-за прохождения прямой солнечной радиации через все слои атмосферы происходит её ослабление [7].

Вертикальная составляющая прямой солнечной радиации рассчитывается по формуле:

$$S = S_0 \cdot \sin h_0 \quad (2.12)$$

где, S – количество тепла, получаемого перпендикулярной к лучу поверхностью; h_0 – высота Солнца.

Часть солнечного излучения в процессе рассеяния атмосферой возвращается в космос, но большая его часть достигает Земли в виде рассеянного излучения (D). В ясную погоду наблюдается максимум данной радиации, если на нем присутствуют высокие облака [7].

Общая радиация (Q) — это совокупность рассеянных потоков прямого солнечного излучения, которые достигают Земли. Сумма этих потоков за определенный промежуток времени дает общее количество тепла, которое поступает за этот период на единицу площади горизонтальной плоскости [7].

Расчётная формула суммарной радиации:

$$Q = S' + D \quad (2.13)$$

где, S' - интенсивность прямой радиации на горизонтальную поверхность;

D - интенсивность рассеянной радиации.

Соотношение между рассеянной и прямой радиацией в составе суммарной зависит от параметров облачности, атмосферы, высотного расположения поверхности над уровнем моря и высоты Солнца [7].

В сельском хозяйстве огромную роль играет приходящая суммарная радиация, так как тепло и свет – это результат воздействия суммарной

солнечной радиации. Следовательно большое значение имеют данные о суммах радиации [7].

Суточные и годовые колебания Q пропорциональны высоте солнца. Частичная облачность увеличивает общее количество приходящей радиации - пасмурное, наоборот, уменьшает это. В среднем облачность уменьшает общую радиацию на 20-30% [7].

Величина потока суммарного излучения определяются значениями S' и D и их изменениями, зависящие от прозрачности атмосферы, облачности и высоты солнца [7].

Таблица 2.23 – Средняя прямая солнечная радиация на горизонтальную поверхность при действительных условиях облачности по Воронежской области за 2010-2015 год, МД ж/м².

I	28
II	61
III	105
IV	173
V	281
VI	331
VII	312
VIII	242
IX	165
X	91
XI	33
XII	16
Σ	1838

Таблица 2.24 – Средняя рассеянная солнечная радиация на горизонтальную поверхность при действительных условиях облачности по Воронежской области за 2010-2015 год, МД ж/м².

I	71
II	111
III	198
IV	218
V	284
VI	284
VII	304
VIII	244
IX	179
X	113
XI	55
XII	47
Σ	2108

Таблица 2.25 – Средняя суммарная (прямая и рассеянная) солнечная радиация на горизонтальную поверхность при действительных условиях облачности по Воронежской области за 2010-2015 год, МД ж/м².

I	99
II	171
III	304
IV	391
V	565
VI	614

VII	616
VIII	487
IX	344
X	204
XI	87
XII	63
Σ	3945

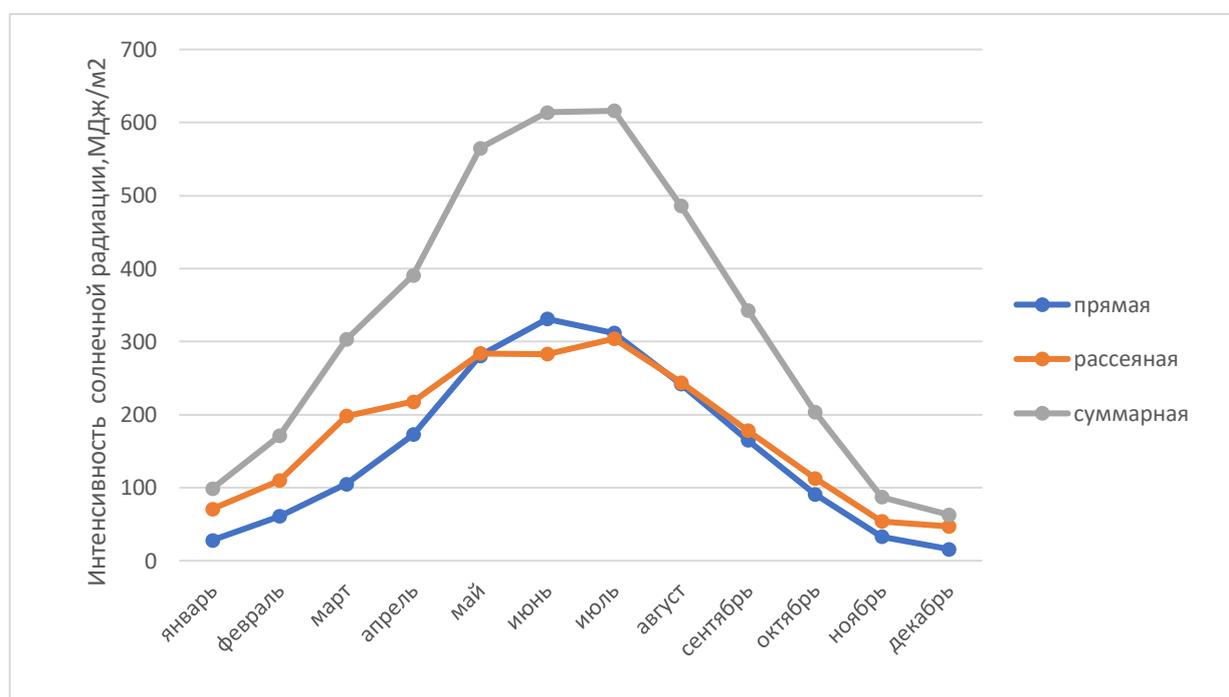


Рисунок 2.8 – Средняя суммарная, прямая и рассеянная солнечная радиация на горизонтальную поверхность при действительных условиях облачности по Воронежской области за 2010-2015 год, МД ж/м².

Анализируя рисунок 2.8 и таблицы 1.23, 1.24 и 2.25, мы видим, как в среднем за 5 лет изменялись величины поступающей радиации. В летнее время солнечной радиации значительно больше, чем в зимнее. Максимум прямой радиации приходится на июнь и составляет 331 МД ж/м²., а минимальное значение на декабрь - 16 МД ж/м². Максимальное значение рассеянной

радиации приходится на июль и составляет 304 МД ж/м²., минимум же на ноябрь - 54 МД ж/м². Максимум средней суммарной радиации приходится на июль - 616 МД ж/м²., а минимум на декабрь - 63 МД ж/м².

Урегулирование производственного процесса не может существовать без учета факторов, которые подразумевают солнечное излучение. Высокая продуктивность, как биологическая, так и экономическая, достигается за счет создания посевов, обеспечивающих эффективное применение ФАР, что обеспечивает наиболее эффективное использование прожекторов, так предполагает теория фотосинтетической активности растений [8].

Растения используют только часть солнечного излучения во время фотосинтеза, которая находится в диапазоне 0,38-0,71 МВт / м² и называется фотосинтетически активной - ФАР. Данная часть спектра отвечает диапазону видимого излучения. Из-за стратосферного озонового слоя коротковолновые фотоны исключаются, так как они достаточно немалы по энергии и могут нанести повреждения клеточной структуре, в то же время как длинноволновые не подходят, а напротив, не имеют достаточной энергии и, следовательно, не используются для фотосинтеза [8].

Так же из выше сказанного следует отметить вывод то, что плотность, площадь и распределение листьев в ценозе посева, где отлично обеспечиваются питание и влага, поступление на растения считается ограничивающим фактором [8].

Необходимо учитывать погодные условия, широту нахождения, время года и время суток, так как от этих показателей напрямую зависит спектральный состав излучения, ФАР и значение энергии солнечной радиации. Все это связано с тем, что закономерности рассеяния солнечного света молекулами водяного пара, атмосферой, углами падения на поверхности в разные широты в разное время года и дня, а также различными аэрозолями оказывают достаточное влияние. В суточном ходе суммарная радиация максимальна в полдень, а при анализе годового хода – летом [7,8].

Измерения фотосинтетически активной радиации используются в сельском хозяйстве, лесном хозяйстве и океанографии. Датчики ФАР, которые расположены на разных уровнях, могут измерять количество, доступное для экосистемы фар. Измерения данного параметра также применяются для определения атрофической зоны океана. Интеграл дневного света используется для оценки – количества ФАР, которое растение получает в течение дня [8].

Наиболее интенсивно листья растений поглощают сине-фиолетовые (0,40-0,48 МД ж/м²). По современным данным количество ФАР_{QФАР} приближено составляет 52 % приходящей суммарной радиации Q:

$$Q_{\text{ФАР}} = 0,52 * Q \quad (2.14)$$

Таблица 2.26 – Средняя месячная фотосинтетическая солнечная радиация (ФАР) по Воронежской области с 2010 по 2015 год, МДж/м².

I	51
II	89
III	158
IV	203
V	294
VI	319
VII	320
VIII	253
IX	178
X	106
XI	45
XII	33
Σ	2050

Анализируя таблицу 2.26, мы видим, как изменялась средняя фотосинтетическая солнечная радиация за 2010-2015 год по Воронежской области. В летняя время года приход солнечной радиации на поверхность больше, чем в зимнее. Максимальное значение наблюдается в июле и составляет 320 МДж/м., а минимальное приходится на декабрь месяц - 33 МДж/м. Сумма $Q_{\text{ФАР}}$ по Воронежской области составила 2050 МДж/м.

Значение фотосинтетически активной радиации может быть рассчитано таким же образом на основе данных о возникновении прямого и рассеянного излучения с использованием коэффициентов по формуле (2.15):

$$Q_{\text{фар}} = 0,43S + 0,57D \quad (2.15)$$

где, $Q_{\text{фар}}$ - ФАР (фотосинтетически активная радиация);

S' - прямая солнечная радиация на горизонтальную поверхность;

D - рассеянная солнечная радиация.

Таблица 2.27 – Средняя месячная фотосинтетическая солнечная радиация (ФАР) по Воронежской области с 2010 по 2015 год, МДж/м².

I	53
II	89
III	158
IV	199
V	283
VI	304
VII	307
VIII	243
IX	172

X	104
XI	45
XII	34
Σ	1990

Анализируя таблицу 2.27, мы наблюдаем, как меняется средняя фотосинтетическая солнечная радиация за 2010-2015 год по Воронежской области. В летняя время года приход солнечной радиации на поверхность больше, чем в зимнее. Максимальное значение наблюдается в июле и составляет 320 МДж/м., а минимальное приходится на декабрь месяц - 33 МДж/м. Сумма $Q_{\text{ФАР}}$ по Воронежской области составила 1990 МДж/м.

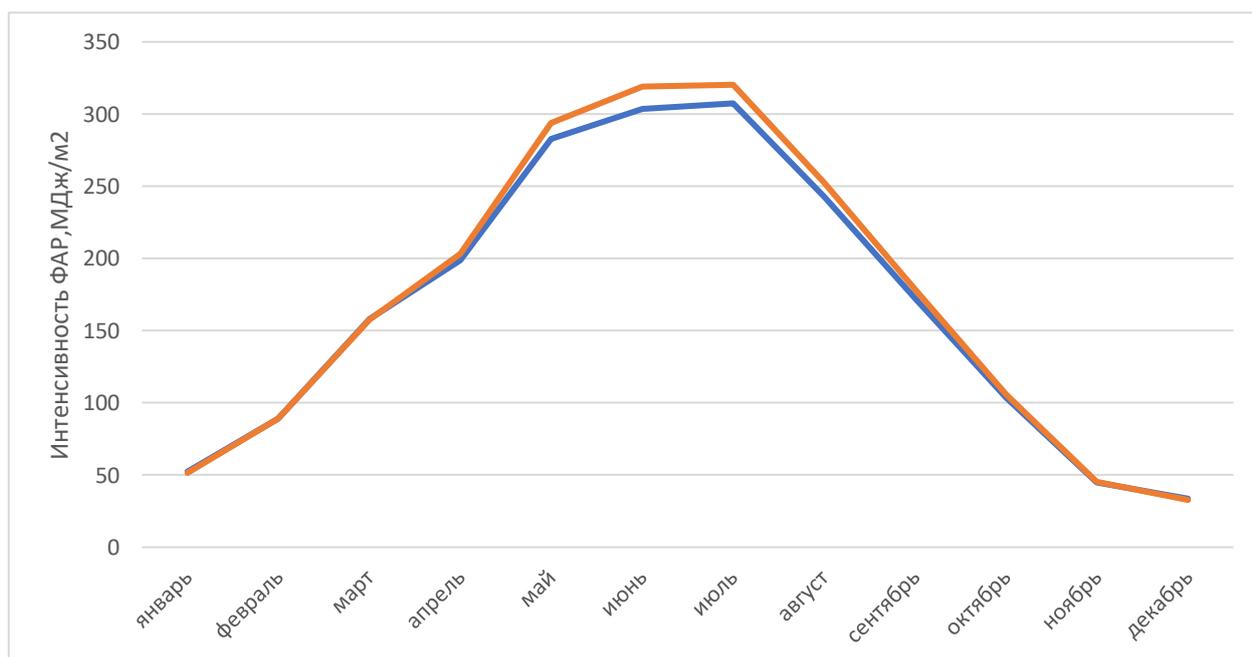


Рисунок 2.9 - Зависимости изменения ФАР рассчитанная двумя способами от месяца за 2010-2015 год.

На рисунке 2.9 представлен график зависимости изменения ФАР двумя способами от месяца за 2010-2015 год. Максимальное значение достигается двумя способами в июле месяце и составляет 320 МДж/м. для первого способа

и 307 МДж/м. для второго. Минимальное значение приходится на декабрь и составляет 33 МДж/м. и 34 МДж/м. соответственно.

Разница в полученных значения двумя разными способами очень мала и не критична. Максимальная различие в значениях наблюдаются в летние месяцы.

2.2 Термический режим области

Важным фактором, влияющим на созревание растений и культур, является температура. И так главной задачей агрометеорологии является анализ связи между температурой и скорости развития сельскохозяйственных культур [9].

При установленном значении температуры сельскохозяйственные культуры начинают свои жизненные процессы. Данная температура именуется как миндальная биологическая температура и она очень важна, так как это значение необходимо для различных прогнозов и расчетов.

Климат Воронежской области является континентальным – лето сухое и жаркое, холодная зима с чёткими переходными сезонами, это достигается значительным расстоянием от моря [9].

Антициклонической активностью в основном обусловлена характером процессов региональной циркуляции. Летом в регион приходят континентальные тропические воздушные массы, распространяющиеся из регионов Казахстана и Центральной Азии. Массы арктического и морского воздуха, проникающие с севера и северо-запада, поступают на территорию уже в преобразованном виде [9].

За вегетационный период термические ресурсы характеризуются по средним многолетним данным 2600°C. Одним из важных показателей климата является относительная влажность воздуха. Индекс относительной влажности в мае низкий в 13 часов он оценивается в 40-50%, в декабре и январе наблюдается самая высокая влажность [9].

Отличительной особенностью весеннего периода является довольно быстрое повышение температуры. В связи с тем, что весной преобладает малооблачная погода, осадки незначительны. В мае, как и в один из самых влажных месяцев весны, осадков выпадает около 80-90 мм [9].

Когда заканчиваются ночные заморозки и формируется достаточно теплая погода, начинается летний период. В то же время среднесуточная температура достигает 15 °С. В летний сезон погодные параметры меняются незначительно [9].

Наиболее суровая зима с отсутствием оттепелей приходится на январь и февраль. Из-за регулярно повторяющихся оттепелей, в результате чего в феврале снежный покров достигает 30-40 см [9].

Холода спадают в середине марта. Температура переходит через отметку -5°С в основном 3-15 марта. Разрушение устойчивого снежного покрова случается 23 марта-2 апреля, а с 26 марта по 4 апреля происходит окончательный сход снежного покрова [7].

Зачитанный рост температуры наблюдается, когда среднесуточная температура поднимается выше 0°С в период с конца марта по начало апреля.

Ветровой режим можно охарактеризовать преобладанием периодов теплых ветров в таких направлениях, как северо-восток, северо-запад, юго-восток, юго-восток и юго-восток, а также холодных периодов юго-запада. Летом он характеризуется низкой устойчивостью к направлению преобладающих ветров [9].

В теплое время года часто наблюдаются сухие ветры, которые сопровождаются запахом гари или облачности. Максимальная частота суховеев приходится на май [9].

На физиологической эквивалентности каждого градуса температуры основан метод суммирования положительной среднесуточной или активной температуры. Полагается, что прямо пропорционально повышению температуры влияние температуры на биологические процессы увеличивается [9].

Сумма активных температура отражает количество тепла и выражается как сумма среднесуточной температуры воздуха или почвы выше определенного значения: 0, 5, 10°C или количества, необходимого для развития конкретного растения [9].

Когда температура превышает установленное значение, он рассчитывается как сумма среднесуточной температуры в день.

В результате в год, когда недостаток тепла велик, некоторые культуры не успевают завершить вегетацию, и в такой год необходимо сеять более неопределенные культуры. При большой положительной тепловой аномалии рекомендуется расширять посевы сельскохозяйственных культур и культур более теплолюбивых сортов [9].

В связи с этим очень важно делать прогнозы теплообеспеченности. Надежные долгосрочные прогнозы теплообеспеченности в вегетационный период используются при определении посевных площадей определенных культур и их сортов с разной степенью зрелости; определении сроков и критериев посева, уборки урожая и заготовки кормов; принятии многих оперативных и экономических решений [9].

Метод прогноза был разработан Ф.Ф. Давитая, а взаимосвязь образована на суммах дат активной температуры с устойчивым переходом среднесуточной температуры воздуха через 10 °С. Чем более раннее наступление этой даты, тем большее количество температуры будет накапливаться в течение периода [3].

В общем случае уравнения для этой связи имеют следующий вид:

$$\sum t_{>10^{\circ}\text{C}} = a - bD, \quad (2.1)$$

где $\sum t_{>10^{\circ}\text{C}}$ — прогнозируемая сумма активных температур, °С; а и b — числовые коэффициенты, которые зависят от места расположения района; D — дата весеннего перехода среднесуточной температуры воздуха через 10 °С,

выраженная числом дней от 01.03 или 01.04 в зависимости от того, на какой месяц приходится самая ранняя дата перехода температуры через 10 °С.

Недостатком данного метода является то, что следующий теплый период не будет учитывать ранние осенние заморозки, когда прогноз оправдан и дает основания предполагать, что культура развивалась в течение всего периода, в результате чего развитие растения может остановиться [3].

Прогноз позволяет весной рассчитать сумму температур выше 10°С, которая ожидается в будущий период вегетации. В основу метода прогноза теплообеспеченности вегетационного периода положены зависимости, имеющиеся между сроком перехода средней суточной температуры воздуха через 10°С и суммой температур, между весенней и осенней датами перехода через 10°С. Так же составлены уравнения, по которым позволяют рассчитать прогнозируемую сумму активных температур для представленных районов России (табл. 2.1).

Таблица 2.1 - Уравнения расчета суммы температур выше 10°С для различных районов России.

Станция	Уравнение
Киров	$\sum t = -12,15D + 2420$
Владивосток	$\sum t = -14,60D + 2741$
Вильнюс	$\sum t = -14,43D + 2821$
Воронеж	$\sum t = -16,62D + 3037$
Москва	$\sum t = -16,21D + 2770$
Санкт-Петербург	$\sum t = -18,25D + 2759$
Киев	$\sum t = -23,07D + 3271$

Примечание. Здесь $\sum t$ — ожидаемая сумма активных температур, D — дата весеннего перехода температуры воздуха через 10°C, выраженная числом дней от 1 апреля.

Для прогнозирования суммы активных температур по Воронежской области нужно определить даты устойчивого перехода средней суточной температуры воздуха через 10°C.

Устойчивый переход температуры через 10°C в 2010 году отмечается 19 апреля. В таблице 2.2 представлен температурный режим апреля 2010 года по Воронежу и отмечена дата устойчивого перехода температуры.

Таблица 2.2 - Температурный режим воздуха по Воронежу месяц апрель за 2010год.

День	Температура	Отклонение от 10 °С
1	8	-2
2	7,4	-2,6
3	7,1	-2,9
4	7,4	-2,6
5	8,3	-1,7
6	10,2	0,2
7	10	0
8	7	-3
9	4,9	-5,1
10	5,8	-4,2
11	9,2	-0,8
12	8,7	-1,3
13	9,3	-0,7
14	9,9	-0,1

15	8,5	-1,5
16	11,5	1,5
17	10,6	0,6
18	8,7	-1,3
19	11,9	1,9
20	15,3	5,3
21	14,5	4,5
22	12,2	2,2
23	7,3	-2,7
24	8,8	-1,2
25	10,9	0,9
26	6,4	-3,6
27	6,7	-3,3
28	11,4	1,4
29	12,3	2,3
30	12,8	2,8

Ниже в таблице 2.3 представлен температурный режим за 2010 год по месяцам май, июнь, июль, август и первую декаду сентября соответственно.

Таблица 2.3 - Температура воздуха за май и июнь в °С.

День	Температура
1	15,4
2	18,3
3	18,2
4	17,6
5	18,8
6	19,1
7	21,5
8	21,2

День	Температура
1	20,2
2	22,3
3	24,3
4	21,8
5	19,5
6	16,4
7	17,3
8	19,5

9	20,9
10	17,2
11	18,5
12	17,9
13	17
14	17
15	17,9
16	17,4
17	20,1
18	18,3
19	14,2
20	15,1
21	15,8
22	15,5
23	15,5
24	15,6
25	16,8
26	13,8
27	12,5
28	16,1
29	16,9
30	16,5
31	18,4

9	23,3
10	21
11	21,4
12	25
13	28,4
14	24,7
15	22,7
16	20,5
17	16,5
18	15,2
19	17,4
20	20,4
21	23,2
22	23,9
23	23,2
24	25,1
25	26,6
26	27,6
27	26,9
28	28
29	25,3
30	26,7

Таблица 2.4 - Температура воздуха за июль и август в °С.

День	Температура
1	24,1
2	22,5
3	23,2

День	Температура
1	30,5
2	30,4
3	30,6

4	25,9
5	23,5
6	21,5
7	21
8	21,9
9	25,5
10	25,5
11	25,5
12	25,5
13	27,3
14	25,2
15	24,2
16	26,1
17	27,9
18	28,4
19	29,1
20	28,4
21	26,4
22	27,4
23	27,9
24	28,8
25	28,7
26	29,4
27	30,6
28	31,7
29	29,7
30	26,4
31	27,3

4	30,6
5	31
6	30,1
7	31,4
8	30,4
9	31,1
10	31,4
11	29,6
12	28,4
13	29,4
14	28,3
15	26,8
16	25,9
17	26,5
18	26
19	23,3
20	20
21	14,6
22	16,8
23	23,2
24	25,6
25	27
26	22,4
27	18,4
28	20
29	18,4
30	15,6
31	16,4

Таблица 2.5 - Температура воздуха за первую декаду сентября в °С.

День	Температура
1	18,9
2	21,7
3	16,4
4	16,2
5	14,3
6	12,5
7	11,3
8	10
9	10,6
10	13,2

Вычисляем ожидаемую сумму активных температур за 2010 год по Воронежу, используя данные температурного режима за вегетационный период:

$$\sum t = -16,62 * 19 + 3037 = 2721,22 \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (2.1)$$

Сравниваем ожидаемую сумму активных температур с многолетней средней суммой для Воронежа:

$$K = \frac{2721,22}{2600} * 100\% = 106\% \quad (2.2)$$

Таким образом теплообеспеченность вегетационного периода в Воронеже ожидалась выше многолетней нормы на 6%.

Устойчивый переход температуры через 10°С в 2011 году отмечается 23 апреля. В таблице 2.6 представлен температурный режим апреля 2011 года по Воронежу и отмечена дата устойчивого перехода температуры.

Таблица 2.6 -Температурный режим вегетационного периода по Воронежу месяц апрель 2011 год.

День	Температура	Отклонение от 10 °С.
1	-1,8	-11,8
2	1,3	-8,7
3	2,3	-7,7
4	2,8	-7,2
5	4,1	-5,9
6	4,2	-5,8
7	5,4	-4,6
8	7	-3
9	3,9	-6,1
10	3,2	-6,8
11	3,9	-6,1
12	4,3	-5,7
13	5	-5
14	5	-5
15	4,3	-5,7
16	4,5	-5,5
17	6,2	-3,8
18	10	0
19	9	-1
20	4	-6
21	4,6	-5,4
22	8,7	-1,3
23	12,2	2,2
24	12,8	2,8
25	15,3	5,3
26	15,3	5,3

27	14,7	4,7
28	15,8	5,8
29	15,6	5,6
30	15,2	5,2

Ниже в таблице 2.7 представлен температурный режим за 2011 год по месяцам май, июнь, июль, август и первую декаду сентября соответственно.

Таблица 2.7 - Температура воздуха за май и июнь в °С.

День	Температура
1	12,7
2	14,9
3	16
4	17,8
5	19,3
6	19,1
7	16,2
8	15,4
9	16,6
10	11,7
11	14,1
12	16,4
13	16
14	16,5
15	14,6
16	12,1
17	14,9
18	17,9
19	18
20	19,1

День	Температура
1	23
2	21,8
3	22
4	19,3
5	18,4
6	21,2
7	19,1
8	18,2
9	17,9
10	18,4
11	19,5
12	20,8
13	19,6
14	20,1
15	20
16	20,7
17	20,9
18	20,5
19	25,1
20	26

21	19,5
22	20
23	21,8
24	20
25	19,2
26	15,5
27	14,3
28	18
29	19,8
30	21,5
31	22,3

21	18,6
22	18,1
23	19,5
24	21,4
25	22,1
26	22,6
27	22,4
28	18,4
29	19,8
30	20,2

Таблица 2.8 - Температура воздуха за июль и август в °С.

День	Температура
1	23,6
2	20,4
3	21,5
4	22,1
5	21
6	20,5
7	21,1
8	22,5
9	21,7
10	21,2
11	21,7
12	22,3
13	23,5
14	24,7
15	25,1

День	Температура
1	20,1
2	20
3	16,3
4	17,6
5	15,5
6	17,8
7	20,4
8	21,4
9	22,8
10	25,1
11	24,2
12	24,2
13	26,9
14	26,5
15	25,3

16	24,9
17	25,9
18	25,9
19	24,5
20	23,6
21	23,9
22	26,1
23	25,7
24	25,4
25	24,7
26	25,2
27	27,5
28	26
29	25,2
30	24,9
31	25,3

16	24,2
17	23,4
18	22
19	18,3
20	18,1
21	17,3
22	15,6
23	16,6
24	18,2
25	15,8
26	15,6
27	17,6
28	19,7
29	20
30	19,4
31	20,5

Таблица 2.9 - Температура воздуха за первую декаду сентября в °С.

День	Температура
1	21
2	17,2
3	15,5
4	15
5	14,3
6	13,9
7	14,4
8	13,6
9	14,5
10	12,4

Вычисляем ожидаемую сумму активных температур за 2011 год по Воронежу, используя данные температурного режима за вегетационный период:

$$\Sigma t = -16,62 * 23 + 3037 = 2654,74 \quad (2.3)$$

Сравниваем ожидаемую сумму активных температур с многолетней средней суммой для Воронежа:

$$K = \frac{2654,74}{2600} * 100\% = 102\% \quad (2.4)$$

Таким образом теплообеспеченность вегетационного периода в Воронеже ожидалась выше многолетней нормы на 2%.

Устойчивый переход температуры через 10°C в 2012 году отмечается 14 апреля. В таблице 2.10 представлен температурный режим апреля 2012 года по Воронежу и отмечена дата устойчивого перехода температуры.

Таблица 2.10 - Температурный режим вегетационного периода по Воронежу месяц апрель 2012 год.

День	Температура	Отклонение от 10 °С.
1	2,3	-7,7
2	1,3	-8,7
3	2,6	-7,4
4	2	-8
5	6,6	-3,4
6	4,5	-5,5
7	5,2	-4,8
8	11,6	1,6
9	10,2	0,2
10	10	0

11	9,5	-0,5
12	7,9	-2,1
13	7,6	-2,4
14	11,6	1,6
15	15,1	5,1
16	16,8	6,8
17	16,6	6,6
18	15,1	5,1
19	14,6	4,6
20	16,3	6,3
21	14,3	4,3
22	14,9	4,9
23	14,2	4,2
24	14,8	4,8
25	17	7
26	18,1	8,1
27	19	9
28	17,7	7,7
29	20,4	10,4
30	19,3	9,3

Ниже в таблице 2.11 представлен температурный режим за 2012 год по месяцам май, июнь, июль, август и первую декаду сентября соответственно.

Таблица 2.11 - Температура воздуха за май и июнь в °С.

День	Температура
1	12,5
2	12,8

День	Температура
1	13,2
2	14,9

3	12,7
4	16,8
5	19,1
6	20,3
7	19,9
8	18,5
9	19,3
10	21,4
11	21,8
12	22,3
13	22,3
14	18
15	21,4
16	22,2
17	20
18	21
19	21,4
20	21,5
21	20,7
22	21,4
23	21
24	15,8
25	13,1
26	10
27	14,3
28	17,2
29	17,9
30	16,8
31	17,3

3	13,8
4	13
5	15,7
6	22,5
7	22
8	18,3
9	18,6
10	22,5
11	22,8
12	26,3
13	25,5
14	27,2
15	23,1
16	21
17	19,1
18	22,3
19	20,1
20	22,1
21	21,8
22	20,7
23	21,3
24	22
25	20,1
26	22,4
27	18,7
28	17,3
29	17,3
30	18,2

Таблица 2.12 - Температура воздуха за июль и август в °С.

День	Температура
1	18,7
2	20,6
3	21,6
4	21,2
5	23,9
6	26,1
7	25
8	22,5
9	22,7
10	23,7
11	24,8
12	24,3
13	24,8
14	22,4
15	23,4
16	24,5
17	18
18	17,2
19	17,9
20	20,7
21	21,1
22	19,3
23	20,6
24	20,3
25	21,3
26	23,4

День	Температура
1	23,4
2	25,8
3	26,4
4	24,2
5	28,1
6	27,7
7	28,6
8	28,2
9	21,9
10	21
11	20,5
12	20,6
13	21,9
14	21,7
15	19,4
16	20,4
17	17,7
18	18
19	17,6
20	17,9
21	13,7
22	13,3
23	16,1
24	19,2
25	15,3
26	19,1

27	24,7
28	24,9
29	23,1
30	22,2
31	23,2

27	15,2
28	18,7
29	18,5
30	15,8
31	14,6

Таблица 2.13 - Температура воздуха за первую декаду сентября.

День	Температура
1	13,8
2	11,5
3	15,1
4	15,7
5	15,9
6	16,4
7	15
8	12,8
9	11,9
10	10,3

Вычисляем ожидаемую сумму активных температур за 2012 год по Воронежу, используя данные температурного режима за вегетационный период:

$$\sum t = -16,62 * 14 + 3037 = 2804,32 \quad (2.6)$$

Сравниваем ожидаемую сумму активных температур с многолетней средней суммой для Воронежа:

$$K = \frac{2804,32}{2600} * 100\% = 108\% \quad (2.7)$$

Таким образом теплообеспеченность вегетационного периода в Воронеже ожидалась выше многолетней нормы на 8%.

Устойчивый переход температуры через 10°C в 2013 году отмечается 17 апреля. В таблице 2.14 представлен температурный режим апреля 2013 года по Воронежу и отмечена дата устойчивого перехода температуры.

Таблица 2.14 - Температурный режим по Воронежу месяц апрель 2013 год.

День	Температура	Отклонение от 10 °С.
1	6	-4
2	9,6	-0,4
3	5,4	-4,6
4	5,8	-4,2
5	7,6	-2,4
6	10,5	0,5
7	6	-4
8	2	-8
9	4	-6
10	4,7	-5,3
11	4,9	-5,1
12	6,6	-3,4
13	8	-2
14	9,2	-0,8
15	9,7	-0,3
16	9,9	-0,1
17	11,9	1,9
18	14,6	4,6
19	16	6

20	16,6	6,6
21	11,5	1,5
22	6,5	-3,5
23	7,6	-2,4
24	9,1	-0,9
25	10,7	0,7
26	9,8	-0,2
27	16,5	6,5
28	20,8	10,8
29	15,9	5,9
30	13,4	3,4

Ниже в таблице 2.15 представлен температурный режим за 2013 год по месяцам май, июнь, июль, август и первую декаду сентября соответственно.

Таблица 2.15 - Температура воздуха за май и июнь в °С.

День	Температура
1	12,9
2	13,2
3	13,3
4	13,6
5	14,1
6	15
7	14,7
8	14,9
9	14,8
10	14,3
11	14,9
12	15
13	14,2

День	Температура
1	17,1
2	16,3
3	17,2
4	17,5
5	18,3
6	17,8
7	17,9
8	18,7
9	18,7
10	18,9
11	19,6
12	20,6
13	20,2

14	14,5
15	15,1
16	15,6
17	15,9
18	15,7
19	15,5
20	15,7
21	16,1
22	16,7
23	17,9
24	18,1
25	17,6
26	16,6
27	17,2
28	18,2
29	18,6
30	18,9
31	18,7

14	20,1
15	19,8
16	19,8
17	19,2
18	19,3
19	19,6
20	20,5
21	20,1
22	20
23	20,2
24	20,3
25	20,4
26	21,3
27	21
28	20,3
29	19,7
30	19,8

Таблица 2.16 - Температура воздуха за июль и август в °С.

День	Температура
1	20
2	20,1
3	20,3
4	20,7
5	20,6

День	Температура
1	22
2	22
3	21,5
4	21,2
5	21,5

6	20,8
7	20,6
8	20,7
9	21,3
10	21,3
11	21,1
12	21,8
13	22,4
14	22,4
15	22,7
16	22,2
17	22
18	21,8
19	21,3
20	21,5
21	20,4
22	21
23	21
24	21,7
25	22,6
26	22,6
27	22,8
28	22,7
29	22,8
30	22,3
31	22

6	21,5
7	21,3
8	20,9
9	20,7
10	20,6
11	20,9
12	20,8
13	20,7
14	21
15	20,7
16	20,5
17	20,4
18	20,4
19	20,1
20	20,4
21	19,6
22	19,9
23	19,3
24	18,9
25	18,6
26	18,1
27	18
28	18,4
29	18,2
30	17,9
31	17,9

Таблица 2.17 - Температура воздуха за первую декаду сентября в °С.

День	Температура
1	17,3
2	16,8
3	16,6
4	16,4
5	15,9
6	15,7
7	16,2
8	16
9	16
10	15,7

Вычисляем ожидаемую сумму активных температур за 2013 год по Воронежу, используя данные температурного режима за вегетационный период:

$$\sum t = -16,62 * 17 + 3037 = 2754,46 \quad (2.8)$$

Сравниваем ожидаемую сумму активных температур с многолетней средней суммой для Воронежа:

$$K = \frac{2754,46}{2600} * 100\% = 106\% \quad (2.9)$$

Таким образом теплообеспеченность вегетационного периода в Воронеже ожидалась выше многолетней нормы на 6%.

Устойчивый переход температуры через 10°C в 2014 году отмечается 25 апреля. В таблице 2.18 представлен температурный режим апреля 2014 года по Воронежу и отмечена дата устойчивого перехода температуры.

Таблица 2.18 - Температурный режим по Воронежу месяц апрель 2014 год.

День	Температура	Отклонение от 10 °С.
1	3,5	-6,5
2	3,2	-6,8
3	4,1	-5,9
4	4,4	-5,6
5	5	-5
6	6,2	-3,8
7	7	-3
8	7,2	-2,8
9	6,5	-3,5
10	7,1	-2,9
11	7,3	-2,7
12	7,5	-2,5
13	8,4	-1,6
14	8,3	-1,7
15	8,4	-1,6
16	8,7	-1,3
17	8,3	-1,7
18	9,3	-0,7
19	9,1	-0,9
20	8,7	-1,3
21	8	-2
22	8,2	-1,8
23	8,3	-1,7

24	9,1	-0,9
25	10,2	0,2
26	11,4	1,4
27	11,3	1,3
28	12,1	2,1
29	12	2
31	12,2	2,2

Ниже в таблице 2.19 представлен температурный режим за 2014 год по месяцам май, июнь, июль, август и первую декаду сентября соответственно.

Таблица 2.19 - Температура воздуха за май и июнь в °С.

День	Температура	День	Температура
1	12,6	1	16,8
2	13,4	2	15,9
3	13,3	3	16,4
4	13,6	4	16,1
5	13,9	5	17,3
6	14,3	6	17,4
7	14	7	17,6
8	14,4	8	17,8
9	14,2	9	17,5
10	13,5	10	17,6
11	14,9	11	18,5
12	15	12	19,2
13	14,2	13	18,8
14	13,7	14	18,6
15	14,5	15	18,5
16	15,2	16	19,2
17	16,1	17	18,6
18	16,4	18	18,2

19	15,9
20	16,4
21	16,7
22	16,4
23	17
24	17,7
25	17,2
26	16,4
27	16,1
28	17,6
29	17,9
30	17,9
31	17,5

19	19
20	19,9
21	19,7
22	20,1
23	20,1
24	19,8
25	19,4
26	20,6
27	20,5
28	19,7
29	19
30	19,2

Таблица 2.20 - Температура воздуха за июль и август в °С.

День	Температура
1	19,4
2	19,5
3	19,7
4	19,5
5	19,6
6	19,6
7	19,3
8	19,2
9	19,5
10	20,1
11	20,3
12	21,3

День	Температура
1	20,5
2	21,7
3	21
4	21
5	21,7
6	21,9
7	22
8	21,8
9	21
10	20,8
11	21,1
12	21,5

13	22,1
14	21,6
15	22
16	21,9
17	21,7
18	21,5
19	21,1
20	21,2
21	20
22	20,6
23	20
24	20,3
25	21,7
26	21,9
27	22,3
28	22,2
29	21,6
30	20,9
31	20,6

13	21,4
14	21,6
15	21,5
16	21,1
17	21,2
18	21,1
19	19,6
20	19,4
21	18,8
22	19,3
23	19
24	19
25	18,1
26	17,7
27	17,5
28	18,3
29	17,8
30	17,8
31	17,6

Таблица 2.21 - Температура воздуха за первую декаду сентября в °С.

День	Температура
1	17,5
2	16,9
3	16,6
4	16,1
5	15,5
6	15,6

7	15,3
8	15,2
9	14,8
10	14,4

Вычисляем ожидаемую сумму активных температур за 2014 год по Воронежу, используя данные температурного режима за вегетационный период:

$$\Sigma t = -16,62 * 25 + 3037 = 2621,5 \quad (2.10)$$

Сравниваем ожидаемую сумму активных температур с многолетней средней суммой для Воронежа:

$$K = \frac{2621,5}{2600} * 100\% = 101\% \quad (2.11)$$

Таким образом теплообеспеченность вегетационного периода в Воронеже ожидалась выше многолетней нормы на 1%.

Таблица 2.22 - Распределение прогнозируемых активных температур по годам.

год	Σt	К	Дата устойчивого перехода
2010	2721,22	106%	19 апреля
2011	2654,74	102%	23 апреля
2012	2804,32	108%	14 апреля
2013	2754,46	106%	17 апреля
2014	2621,5	101%	25 апреля

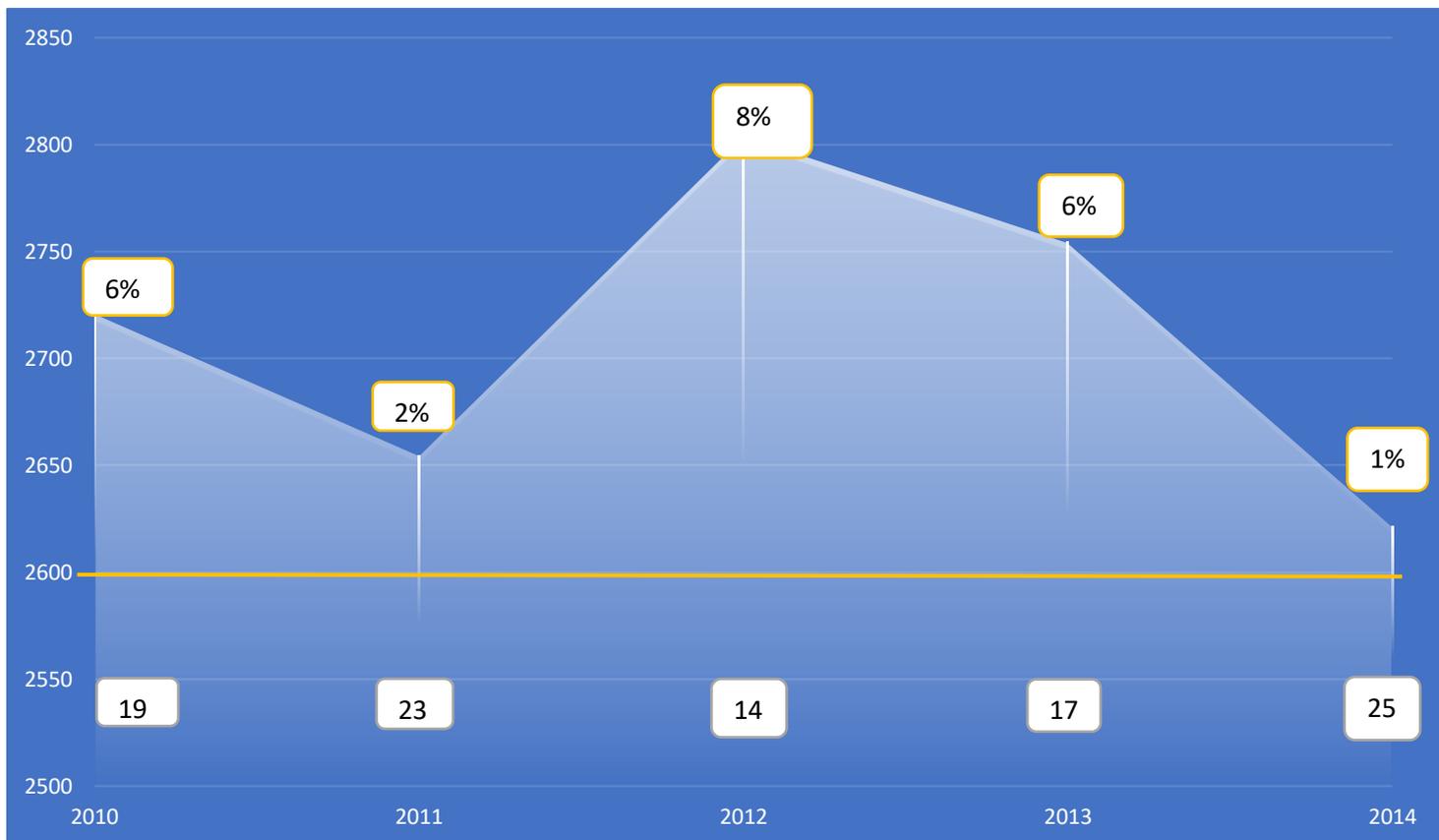


Рисунок 2.1 – Зависимость от года суммы прогнозируемых температур.

На рисунке 2.1 представлен график зависимости прогнозируемой суммы активных температур от года. Анализируя график видно, что максимальная сумма приходится на 2012 год и составляет 2804,32, имея отклонение от многолетней нормы на 8%, а минимальное значение приходится на 2014 год составляя 2621,5 и имея отклонение на 1%. Это объясняется ранним устойчивым переходом температуры через 10°C в 2012 году — это 14 апреля, в то время как в 2014 году устойчивый переход приходится на 25 апреля.

На рисунке 2.2 представлен месячный ход температуры за апрель 2010-2015 года.

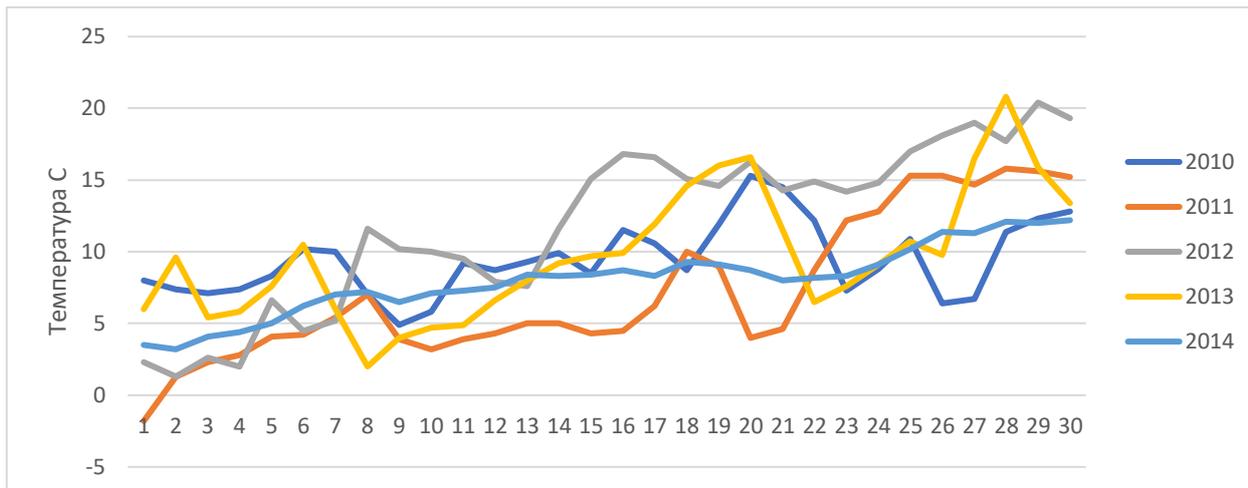


Рисунок 2.2 – Месячный ход температуры за апрель 2010-2015 года.

Максимум наблюдается в 2013 году 28 апреля и составляет 20,8 С. Минимум наблюдается в 2011 году 1 апреля и составляет -1,8 С. Самым теплым является апрель 2012 года, а самым холодным 2011 года.

На рисунке 2.3 представлен месячный ход температуры за май 2010-2015 года.

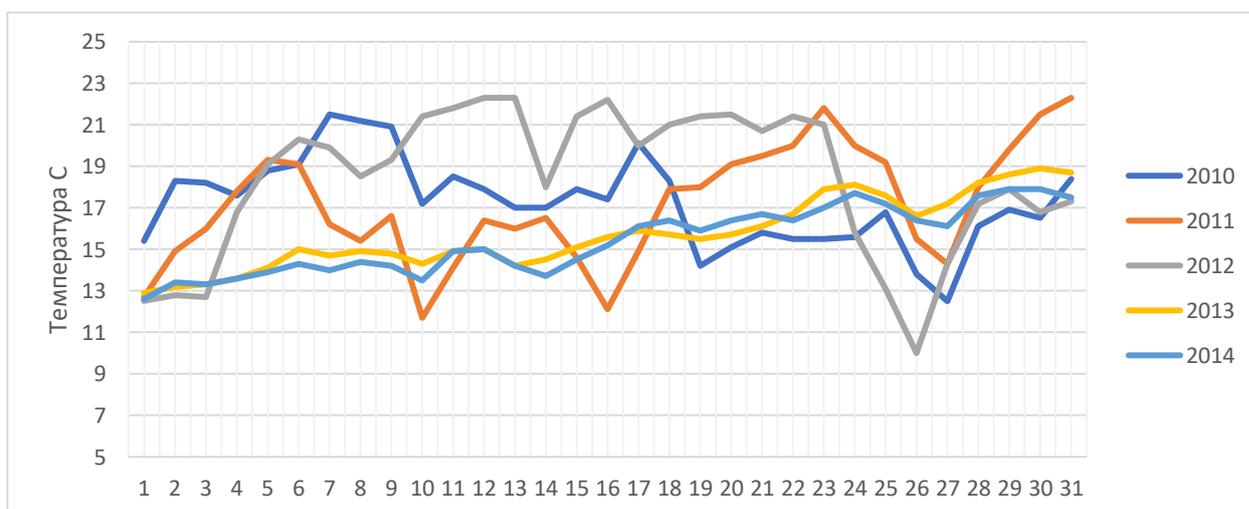


Рисунок 2.3 – Месячный ход температуры за май 2010-2015 года.

Максимум наблюдается в 2012 и 2011 году 13 и 31 мая и составляет 22,3 С. Минимум наблюдается в 2012 году 26 мая и составляет 10 С. Самым теплым является май 2012 года, а самым холодным 2014 года.

На рисунке 2.4 представлен месячный ход температуры за июнь 2010-2015 года.

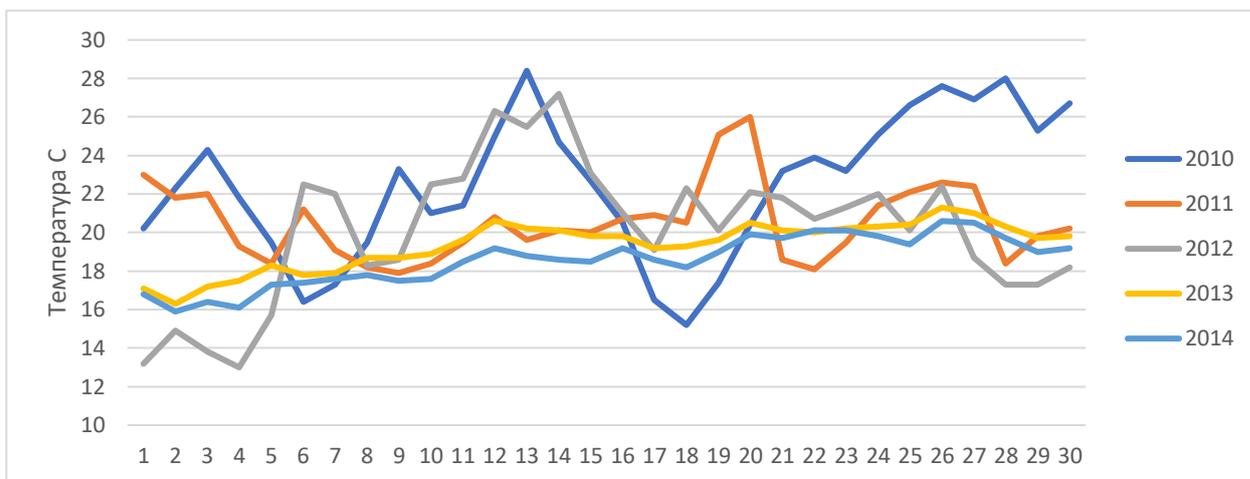


Рисунок 2.4 – Месячный ход температуры за июнь 2010-2015 года.

Максимум наблюдается в 2010 году 13 июня и составляет 28,4 С. Минимум наблюдается в 2012 году 4 июня и составляет 13 С. Самым теплым является июнь 2010 года, а самым холодным 2012 года.

На рисунке 2.5 представлен месячный ход температуры за июль 2010-2015 года.

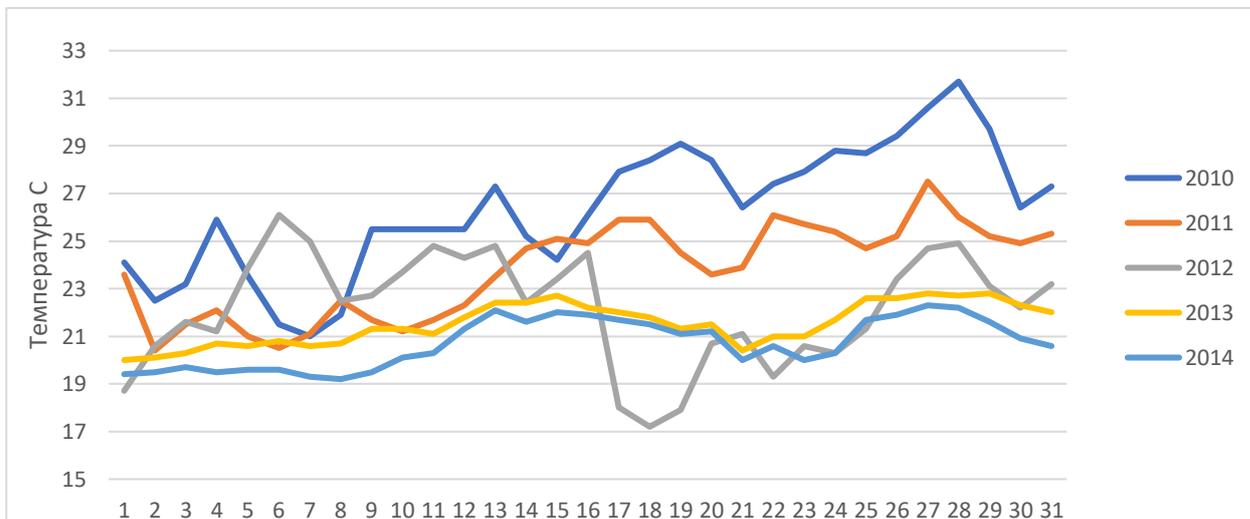


Рисунок 2.5 – Месячный ход температуры за июль 2010-2015 года.

Максимум наблюдается в 2010 году 28 июля и составляет 31,7 С. Минимум наблюдается в 2012 году 18 июля и составляет 17,2 С. Самым теплым является июль 2010 года, а самым холодным 2012 года.

На рисунке 2.6 представлен месячный ход температуры за август 2010-2015 года.

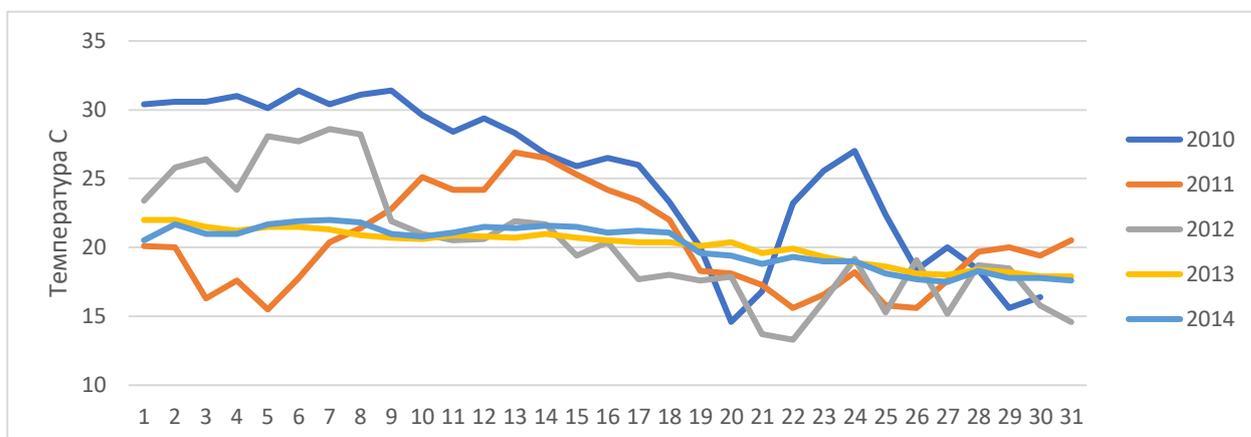


Рисунок 2.6 – Месячный ход температуры за июль 2010-2015 года.

Максимум наблюдается в 2010 году 27 августа и составляет 27 С. Минимум наблюдается в 2012 году 22 августа и составляет 13,3 С. Самым теплым является август 2010 года, а самым холодным 2014 года.

2.3 Режим увлажнения Воронежской области

Распределение осадков по Воронежской области за период 2010-2015гг. имеет особенность пространственного распределения, а именно просматривается уменьшение с северо-запада на восток и юго-восток (рис.2.28). ветрам [10].

Станция	Борисоглебск	Воронеж	Павловск	Нижнедевицк
Максимальное	545	829	569	720
Минимальное	385	419	452	417
Среднее	487	572	508	537
Норма	471	539	465	541

Таблица 2.28 - Среднегодовые осадки по Воронежской области за 2010-2015гг., мм.

Анализируя таблицу 2.28, мы видим, что максимальное количество осадков приходится на северо-запад области (Воронеж) и составляет 829мм, минимальное же - на северо-восток области (Борисоглебск) – 385мм.

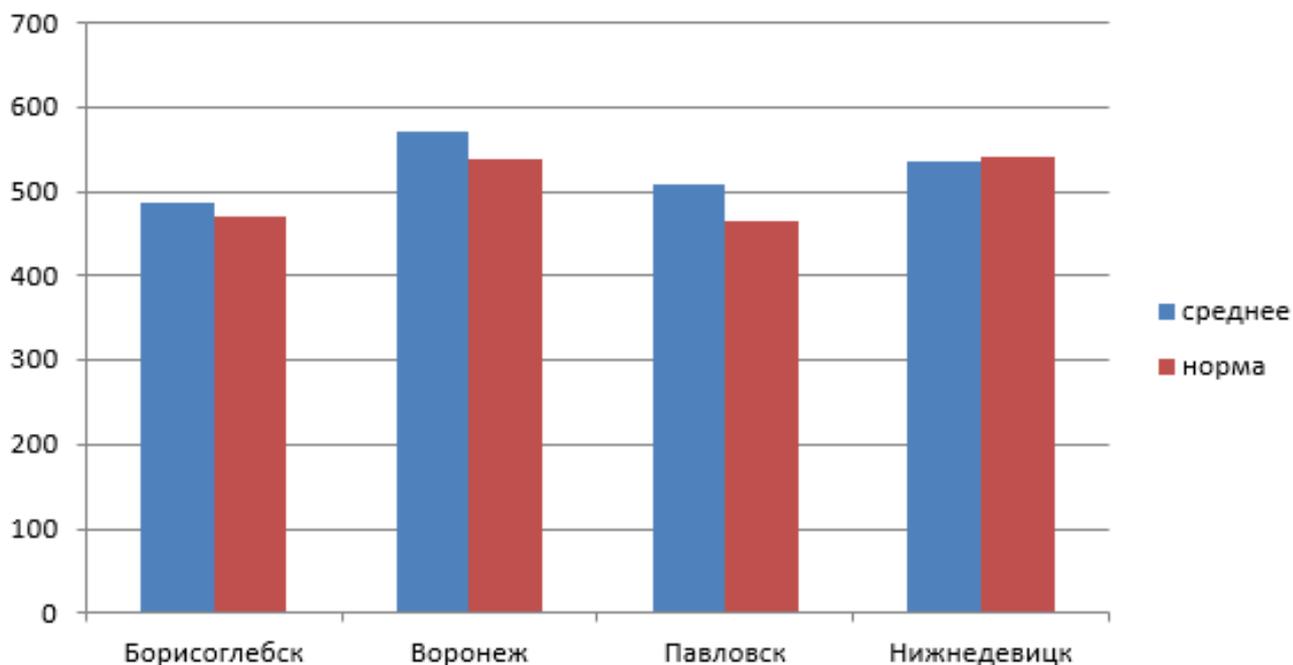


Рисунок 2.10 - Сравнение среднегодовых сумм осадков за 2010-2015г. с многолетними нормами.

Анализируя рисунок 2.10, мы видим, что наибольшее количество осадков на территории области наблюдается на северо-западе (метеостанция Воронеж) и составляет 572,0 мм, что составляет 106% от нормы (рис. 2.10). Наименьшее же количество осадков - на востоке (Борисоглебск) и составляет 487,0 мм, что соответственно составляет 103% от нормы. Динамика осадков за 2010-2015гг. является приближенной к норме многолетних данных на территории области.

Так же важной характеристикой для сельского хозяйства являются влагозапасы почвы. Данная характеристика имеет сильное влияние на прогноз урожайности разных культур. В таблице 2.29 представлены средние влагозапасы продуктивной влаги в почве по Воронежской области за 2010-2015 год (мм).

Таблица 2.29 – Среднегодовые влагозапасы продуктивной влаги в почве Воронежской области за 2010-2015гг., мм.

В слое (см)	2010	2011	2012	2013	2014
0-100	168	170	181	173	170

Представленные данные используются для прогнозирования урожайности яровой пшеницы. Анализируя таблицу 2.29 максимальное значение запасов влаги в слое от 0 до 100 см, наблюдается в 2012 году, а минимальное значение в 2010 году.

ГЛАВА 3. ОПРАВДЫВАЕМОСТЬ АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПРОГНОЗОВ

3.1 Оценка прогноза суммы активных температур

Оценка оправдываемости обычно относится ко всему процессу сравнения прогнозов и фактической погоды. Данные используются для расчета одного или нескольких показателей критериев успешности. В зависимости от цели указанной проверки эти критерии затем сравниваются с определенным стандартом. В то же время считается, что и прогнозы, и наблюдения выражаются объективными признаками таким образом, что при сравнении исключаются элементы субъективности, а ошибки наблюдения не имеют значения [11].

Изначально оценка прогнозов была создана для подтверждения целесообразности развития организованной метеослужбы, потому что некоторые были уверены, что прогнозы погоды не имеют практического значения. Другие же были уверены, что прогнозы не могут быть подвергнуты статистической проверке. На данный момент важность метеорологических служб широко признана, и конкретная частная цель оценки незначительна [11].

Определение экономической ценности прогноза, является важнейшей задачей оценки осуществимости, так как одной-единственной целью оперативного прогнозирования является экономия рабочей силы и денег. Всё-таки данная оценка, может быть, представляет важную ценность для потребителей. Если точность прогноза низкая, это также может сыграть негативную роль. Таким образом, определение экономической ценности прогноза является задачей отдельных потребителей, но у отдельных потребителей нет значимых экономических данных или средств для проведения такой оценки [11].

Еще одна научная цель оценки прогнозов - проанализировать ошибки прогнозирования, чтобы определить возможную причину. Некоторые ученые

предполагают, это самая важная и плодотворная задача оценки, поскольку ее можно интерпретировать с научной точки зрения в большей степени, чем некоторые другие задачи. Такая оценка может быть использована для выявления слабых сторон методов прогнозирования [11, 12].

Важным условием успешной оценки прогнозов является условие объективности, при котором прогнозы должны быть четко сформулированы с числовыми или качественными характеристиками. Это нужно для исключения элементов субъективности при сравнении прогнозов с дальнейшими наблюдениями. Лишь прогнозы, выраженные в объективных терминах, могут быть удовлетворительно оценены как прогнозы [12].

Некоторые прогнозы оправданы и могут быть основаны на проценте оправданных прогнозов. Этот критерий служит определенной цели. Как правило погодные явления в диапазоне значений погодных переменных являются более важными, чем другие в этом диапазоне, что необходимо учитывать при определении цели оценки [12].

Для оценки агроклиматических прогнозов используются:

- данные, полученные в результате агрометеорологических наблюдений.
- официальная статистическая информация о размерах посевных площадей, размерах гибели сельскохозяйственных культур, о валовых сборах и урожайности.

Оценка агроклиматических прогнозов производится исходя из количественных значений оправдываемости:

- отлично – оправдываемость от 91 до 100%
- хорошо – оправдываемость от 81 до 90%
- удовлетворительно – оправдываемость от 80 до 70%
- плохо – оправдываемость менее 70 %

Расчет количественных значений оправдываемости производится по формуле:

$$D = 100\% - P, \quad (3.1)$$

Где D- оправдываемость прогноза, %

P- ошибка прогноза

Ошибка агрометеорологических прогнозов, в зависимости от их вида, рассчитывается по пунктам наблюдений (прогноз запасов продуктивной влаги в почве к началу вегетационного периода, прогноз оптимальных сроков сева озимых зерновых культур, фенологические прогнозы за исключением прогноза состояния озимых зерновых культур ко времени прекращения вегетации) и по территории областей (прогнозы урожайности и валового сбора сельскохозяйственных культур, прогноз состояния озимых зерновых культур к моменту возобновления вегетации весной, прогноз состояния озимых зерновых культур ко времени прекращения вегетации) [13].

Расчет ошибки агрометеорологических прогнозов проводится по формуле:

$$P = \frac{u_n - u_\phi}{u_\phi} * 100\%, \quad (3.2)$$

где P - ошибка прогноза (без учета знака), %;

u_n – значение ожидаемой величины агрометеорологического прогноза (урожайность, валовой сбор, запасы влаги, процент площади с различным состоянием сельскохозяйственных культур, продолжительность периода между датой составления прогноза и ожидаемой датой наступления фазы развития и др.);

u_ϕ – значение фактической величины агрометеорологического прогноза (урожайность, валовой сбор, запасы влаги, процент площади с различным состоянием сельскохозяйственных культур, продолжительность периода между датой составления прогноза и фактической датой наступления фазы развития и др.).

Таблица 3.1 - Оправдываемость прогноза активных температур.

год	$\Sigma t > 10^{\circ}$ С	Прогнозируемая $\Sigma t > 10^{\circ}$ С	Р	Д	К1	К2
2010	2961	2721,22	8%	92%	105%	114%
2011	2662,6	2654,74	0,30%	99,70%	102%	102%
2012	2631,5	2804,32	7%	93%	108%	101%
2013	2702,6	2754,46	2%	98%	106%	104%
2014	2528	2621,5	4%	96%	101%	97%

Где Д- оправдываемость прогноза, %

Р- ошибка прогноза, %

К1- отклонение от многолетней нормы действительных температур, %

К2- отклонение от многолетней нормы прогнозируемых температур, %

Анализируя таблицу 3.1, наблюдаем, что высокая оправдываемость прогноза отмечается в 2011 году и составляет 99,7%, низкая же оправдываемость отмечается в 2010 и 2012 году и составляет 92% и 93%. Все составленные прогнозы имеют высокую оправдываемость и оцениваются на критерий «отлично» попадая в интервал от 91% до 100%.

Метод прогноза разработанный ФО. Давитая и основанный на связи сумм активных температур с датой устойчивого перехода среднесуточной температуры воздуха через 10° С., имеет высокую оправдываемость по прогнозируемым годам [13].

Недостатком этого метода является отсутствие учета ранних осенних заморозков, что может положить причиной остановки развития культуры, хотя последующий теплый период дает основания полагать, что прогноз в целом оправдан, и растения развивались в течение всего периода [13].

Институт сельскохозяйственной метеорологии активно разрабатывает новые подходы, например, метеорологический и статистический подходы для решения проблемы долгосрочного прогнозирования теплообеспеченности в вегетационный период [13].

3.2 Оценка прогноза урожайности

Прогнозы метеорологических условий в сельском хозяйстве позволяют использовать благоприятные условия для улучшения сельскохозяйственного производства. Составление агрометеорологических прогнозов сроков созревания и урожайности дают возможность проводить своевременную уборку и транспортировку собранной продукции [12].

С развитием сельскохозяйственного производства в колхозах и совхозах возросла потребность в сельскохозяйственных прогнозах погоды. На сегодняшний день прогнозы погоды все чаще используются в агрометеорологических службах. Они учитываются важными организациями и агроэкспертами при планировании сельскохозяйственной деятельности на протяжении всего сельскохозяйственного цикла [12].

Важной особенностью таких прогнозов погоды являются методы их составления, учитывающие характеристики общих сельскохозяйственных и растительных условий, а собственно показатели, медленно изменяющиеся по времени [12].

Так же существенной особенностью сельскохозяйственных прогнозов является то, что некоторые из них могут быть обработаны специалистами благодаря наблюдениям на ферме [12].

Долгосрочные прогнозы урожайности основных сельскохозяйственных культур имеют очень важное значение для хозяйства. Такие прогнозы помогают определять ожидаемые ресурсы сельскохозяйственной продукции, потребность в технике для уборки, транспортировки урожая, подготовки хранилищ, перерабатывающих предприятий [14].

Урожайность культур зависит во многом от ряда факторов, многие из них довольно стабильны: почвенные условия, биологические особенности сорта, агротехнические приемы. И всё же встречаются колебания урожайности, что обусловлено влиянием еще и агрометеорологических условий, характеризующих высокой переменчивостью по времени и пространству. Вследствие того при прогнозах урожайности в основном учитываются главные агрометеорологические величины [14].

Для этого был разработан способ прогнозирования урожайности озимой пшеницы с использованием математической зависимости:

$$Y = 75,6 - 3,14X + 12,52D, \quad (3.3)$$

где Y - прогнозируемая урожайность, ц/га; X - среднесуточная температура в мае, °С; D - доза минеральных удобрений от 0 до 1.

Недостатком данного способа является то, что он применяется только для прогнозирования урожайности пшеницы в полевых опытах и только в двух вариантах, во-первых, без использования удобрений и, во-вторых, при использовании дозы $N_{100}P_{100}K_{50}$. Данный способ не применяется для прогнозирования средней по региону урожайности пшеницы, когда дозы удобрений ежегодно изменяются [15].

Методика составления прогноза урожайности озимой пшеницы для Центрально-Черноземной зоны разработана Е.С. Улановой. Она установила, что главными инерционными факторами формирования урожая являются весенние запасы влаги в почве и число стеблей на 1 м^2 , которые сохранились после перезимовки [15].

Ей были получены прогностические уравнения ожидаемой урожайности различной заблаговременности как для отдельных полей, так и для средней областной урожайности. Урожайность озимой пшеницы отдельного поля заблаговременностью прогнозируется по уравнению:

$$Y = 0,1 * (0,059W + 0,024n - 2,97), \quad (3.4)$$

где Y — ожидаемая урожайность, ц/га; W — запасы продуктивной влаги в слое почвы 0...100 см весной, мм; n — число стеблей на 1 м^2 весной.

Третий способ включает определение дозы вносимых азотных удобрений и количества осадков за май. Прогнозируемую урожайность озимой пшеницы определяют по формуле:

$$Y = -2,39 + 0,112N + 0,07R - 0,0008N^2 - 0,0005R^2, \quad (3.5)$$

где Y - урожайность озимой пшеницы, т/га; N - доза азотных удобрений от 31 до 93 кг/га действующего вещества; R - количество осадков за май от 18 до 104 мм. Данный метод позволяет снизить трудоемкость и повысить точность прогнозирования урожайности озимой пшеницы [15].

Ниже представлены расчеты (табл. 3.2) по трем методам прогнозирования урожая озимой пшеницы по Воронежской области за 2010-2015 год.

Таблица 3.2 – Расчеты прогнозирования урожая озимой пшеницы по Воронежской области за 2010-2015 год, Ц/га.

год	У1	У2	У3	Фактическая урожайность
2010	27,5	19,4	31,5	14,0
2011	28,2	24,2	22,9	24,6
2012	24,1	17,4	20,6	25,0
2013	32,9	19,7	32,4	27,3
2014	33,5	24,3	25,0	32,4

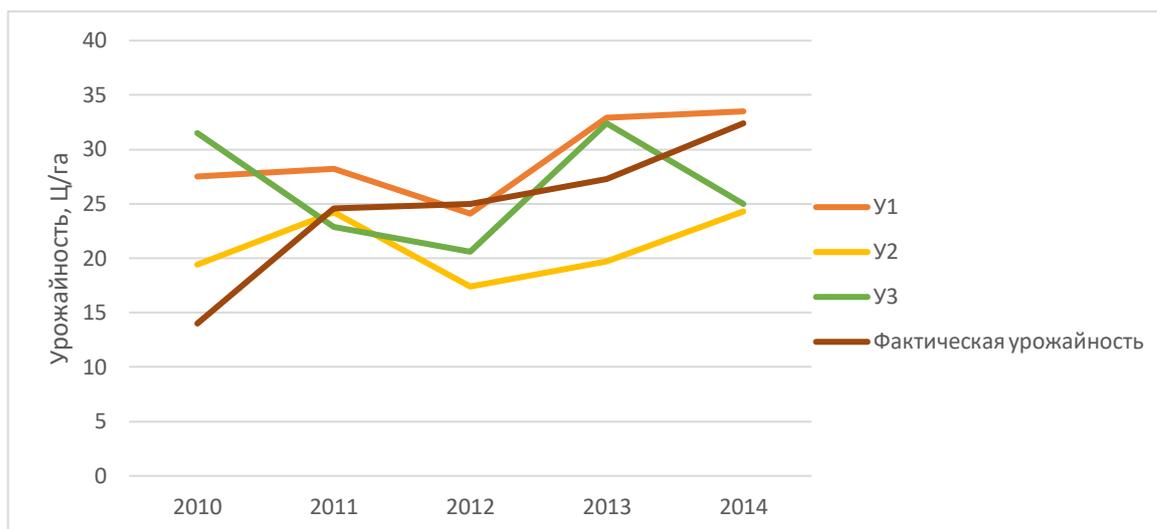


Рисунок 3.1 - зависимости прогнозируемой урожайности озимой пшеницы от года за период с 2010 по 2015 год и график фактической урожайности за данный срок.

На рисунке 3.1 представлен график зависимости прогнозируемой урожайности озимой пшеницы от года за период с 2010 по 2015 год и график фактической урожайности за данный срок. Максимальное значение фактической урожайности приходится на 2014 год и составляет 32,4 ц/га, минимальное же значение приходится на 2010 год и составляет 14,0 ц/га. Максимальное значение прогнозируемой урожайности просматривается по первому методу расчета и составляет 33,5 ц/га на 2014 год, а минимальное значение составляет 17,4 по второму методу на 2012 год.

Так же были рассчитаны ошибки агрометеорологических прогнозов и их оправдываемость с 2010 по 2015 год и представлены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 - ошибки агрометеорологических прогнозов и их оправдываемость с 2010 по 2015 год

год	P1	P2	P3	D1	D2	D3
2010	96%	39%	100%	4%	61%	0%
2011	15%	2%	7%	85%	98%	93%
2012	4%	30%	18%	96%	70%	82%

2013	21%	28%	19%	79%	72%	81%
2014	3%	25%	23%	97%	75%	77%

Максимальная ошибка по прогнозам приходится на 2010 год при расчетах третьим методом и составляет 100%, а минимальная составляет 2% в 2011 году рассчитывая вторым методом. При расчетах вторым методом ошибка по прогнозам не превышает 39% по сравнению с другими рассматриваемыми методами, где ошибка прогноза в 2010 году составляла 96% и 100%.

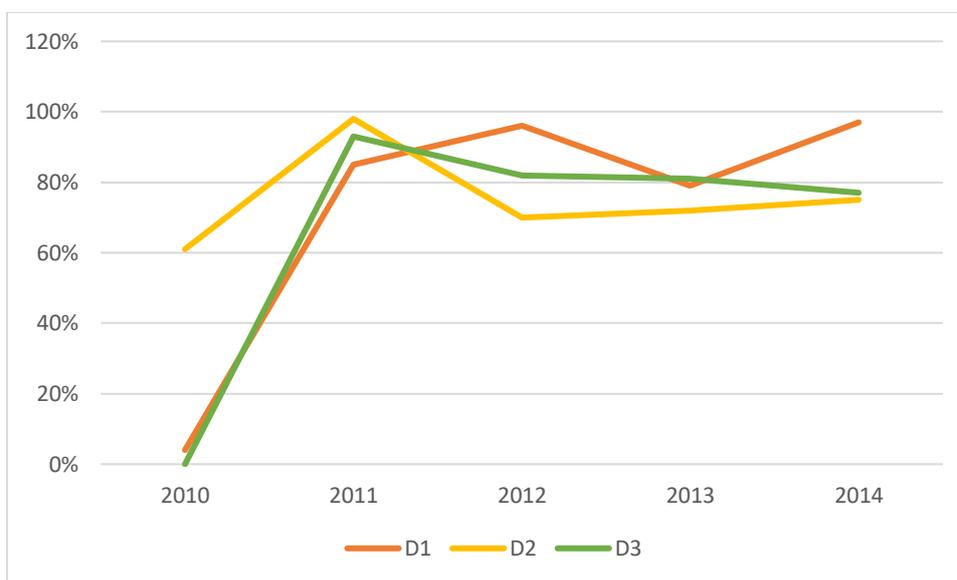


Рисунок 3.2 – Изменение оправдываемости прогнозов озимой пшеницы с 2010 по 2015 год.

Анализируя рисунок 3.2 мы видим, как меняется оправдываемость прогнозов озимой пшеницы с 2010 по 2015 год используя разные методы расчёта. Максимальная полученная вторым методом оправдываемость приходится на 2011 год и составляет 98%. Минимальная оправдываемость наблюдается в 2010 году у двух методов расчета первого и третьего.

Более стабильным методом прогноза является способ разработанный Е.С. Улановой. Где главными факторами формирования урожая являются весенние запасы влаги в почве и число стеблей на 1 м², сохранившихся после перезимовки. Оправдываемость этого метода находится в пределах от 61% до

98%. Другие же метода оказались не стабильны в 2010 году показав минимальную оправдываемость, что можно связать с неблагоприятными условиями в вегетационный период и ошибками при удобрении культур. В последующих же годах 1 и 3 метод показывают хорошую оправдываемость, не уступая 2 методу. В среднем за 5 лет оправдываемость 1 методом составила 72% при оценке «удовлетворительно», 2 методом – 75% при оценке «удовлетворительно» и 3 методом 67% при оценке «плохо». Отсюда можно сделать вывод что 2 метод имеет большую оправдываемость и стабильность и его можно использовать для прогноза озимой пшеницы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проделанной работы была достигнута поставленная цель по оценке качества различных методов агрометеорологического прогнозирования для Воронежской области и решены все заявленные задачи.

1. Проведен анализ агроклиматических показателей, таких как ФАР, температурный режим воздуха, а также прямой, рассеянной и суммарной радиации.
2. Проанализирован среднегодовой режим увлажнения и распределения количества осадков, а также режим увлажнения почвы.
3. Проанализированы ходы температур за вегетационный период и проведен анализ сумм активных температур.
4. Были спрогнозированы ожидаемые суммы активных температур и средняя урожайность.
5. Проанализированы и оценены методы прогноза озимой пшеницы.
6. Проведена оценка прогнозов активных температур и средней урожайности.

В результате оценки методов агрометеорологического прогнозирования для Воронежской области можно сделать следующие выводы:

- 1) Метод прогноза Ф.Ф.Давитая по определению накапливаемой суммы активной температуры за вегетационный период по дате устойчивого перехода среднесуточной температуры воздуха через $+10^{\circ}\text{C}$ имеет высокую оправдываемость
- 2) Среди различных методов прогнозирования урожайности зерновых культур высокую оправдываемость имеет метод

Результаты исследования имеют и практическую значимость, так как использование указанных методов прогнозирования позволит сельскохозяйственным предприятиям вплотную приблизиться к решению задач по программированию урожайности сельскохозяйственных культур, что является актуальной на современном этапе развития растениеводства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белобородова Г.Г. Агрометеорологические основы повышения продуктивности плодовоговодства. Л.: Гидрометеоздат, 1982. -166 с.
2. Моисейчик В.А. Агрометеорологические условия и перезимовка озимых культур. Л.: Гидрометеоздат, 1975. – 295 с.
3. Лосев А.П. Практикум по агрометеорологическому обеспечению растениеводства. СПб.: Гидрометеоздат, 1994 – 243 с.
4. Полевой А.Н. Сельскохозяйственная метеорология. СПб.: Гидрометеоздат, 1992. – 420 с.
5. В.М. Лебедева, А.И. Страшная. Основы сельскохозяйственной метеорологии. Том II. Методы расчетов и прогнозов в агрометеорологии. Книга Оперативное агрометеорологическое прогнозирование. Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2012. – 216 с.
6. Агроклиматические ресурсы Воронежской области. – Л.: Гидрометеоздат, 1972. – 380 с.
7. Лосев, А. П. Сборник задач и вопросов по агрометеорологии : учебное пособие / А.П. Лосев. — Москва : ИНФРА-М, 2020. — 170 с.
8. Экологические принципы максимальной продуктивности посевов / Х. Г. Тооминг. - Л.: Гидрометеоздат, 1984. - 264 с.
9. Практикум по агрометеорологии, М.Д. Павлова.
10. Журина, Л. Л. Агрометеорология : учебник / Л.Л. Журина. — 3-е изд., перераб. и доп. — Москва : ИНФРА-М, 2022. — 350 с.
11. Журина, Л. Л. Агрометеорология : учебник / Л. Л. Журина, А. П. Лосев. - Санкт-Петербург : ООО КВАДРО, 2012. - 368 с.
12. Уланова Е.С. Методы агрометеорологических прогнозов. - Ленинград : Гидрометеоздат, 1959. - 280 с.
13. Арютов Б.А., Важенин А.Н., Пасин А.В. Методы повышения эффективности механизированных производственных процессов по

условиям их функционирования в растениеводстве: Учебное пособие, - М.:Академия Естествознания, 2010. – 365с.

14. Федосеев, А. П. Погода и эффективность удобрений/ А. П. Федосеев . - Л. : Гидрометеиздат, 1985. - 144 с.

15. <https://findpatent.ru/patent/226/2267911.html>