



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

Кафедра метеорологических прогнозов

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(магистерская диссертация)

На тему: «Прогноз вегетационных периодов по данным эффективных температур,
полученных из ансамблевого прогноза»

Исполнитель Чымба Белекмаа Эдугаровна
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель кандидат географических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)

Цепелев Валерий Юрьевич
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
заведующий кафедрой

(подпись)

кандидат физико-математических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)

Анискина Ольга Георгиевна

(фамилия, имя, отчество)

« 11 » июня 2022 г.

Санкт-Петербург
2022

СОДЕРЖАНИЕ

Список сокращений	3
Введение	4
1. Системы ансамблевого прогнозирования	6
1.2 Реализация ансамблевого подхода	9
2. Использование ансамблевого подхода для синоптических методов	11
3. Условия вегетации подсолнечника	14
3.1 Подсолнечник	14
3.2 Эффективная температура	16
4. Район исследования и исходные данные	17
4.1 Физико-географическое положение и климатические особенности	17
4.2 Статистические методы обработки данных	19
4.3 Исходные материалы и их систематизация	21
4.3.1 Проверка корреляционной связи между фактическими данными и данными реанализа	25
4.3.2 Средние суммы эффективных температур	27
5. Анализ и результаты проведенного исследования	31
5.1 Прогноз созревания подсолнечника по синоптическому методу	31
5.2 Ансамблевые прогнозы созревания подсолнечника для 2021 и 2022г.г	39
Заключения	54
Список используемых источников	57
Приложения	59

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

ВМО	-	Всемирная Метеорологическая Организация
САП	-	Системы ансамблевого прогнозирования
ЧПП	-	Численные прогнозы погоды
ПППСР	-	Показательный проект по прогнозированию явлений суровой погоды
ЛАМ	-	Модель по ограниченному району
МТП	-	Метод типовых макропроцессов
ТП	-	Типовой макросиноптический процесс

ВВЕДЕНИЕ

Данная работа посвящена исследованию возможности использования для прогноза созревания подсолнечника на территории Ростовской области сумм эффективных температур рассчитанных по данным численного ансамблевого прогнозирования и синоптических долгосрочных прогнозов.

По производству подсолнечника Россия занимает одно из лидирующих мест в мире. Если в 2001 году посевы подсолнечника достигали 3,82 млн. га, то в 2017 году увеличились до 7,9 млн.га. За последние несколько лет посевные площади этой культуры в большинстве регионов расширились благодаря высокой рентабельности производства семян подсолнечника, что связано с растущим спросом на масличное сырье, как в России, так и за рубежом. Широкое распространение этой культуры обусловлено большим содержанием в нем жира, белка в семенах и разнообразием продуктов, получаемых из семян [1].

Для планирования самообеспечения регионов и формирования рынка масличного сырья весьма важным является заблаговременное прогнозирование урожайности, а также совершенствование методов прогноза созревания подсолнечника, особенно в Ростовской области, где почвенно-климатические условия для его возделывания наиболее благоприятны.

Актуальность темы заключается в необходимости уточнения метода долгосрочного прогноза созревания подсолнечника и использования для прогноза современных ансамблевых подходов.

Цель работы заключается в оценке возможности использования, с использованием эффективных температур, системы ансамблевого прогнозирования (САП) для разработки метода прогноза созревания подсолнечника и проверки эффективности синоптических долгосрочных прогнозов на территории Ростовской области.

Задачи:

- изучить условия вегетации культуры и ознакомиться с различными методами долгосрочного прогноза созревания подсолнечника;
- подготовить и систематизировать исходные данные необходимые для проведения исследования;
- оценить возможность использования данных реанализа температуры воздуха, которые используются при синоптическом и ансамблевом прогнозировании;
- оценить качество современных методов долгосрочного прогноза для оценки дат созревания подсолнечника;
- проверить возможность использования прогностических данных о температуре воздуха получаемой из ансамблевых прогнозов на примере 2021 и 2022 годов;
- дать рекомендации по использованию различных методов долгосрочного прогнозирования для расчета эффективных температур и прогноза дат созревания подсолнечника.

1.СИСТЕМЫ АНСАМБЛЕВОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

Системы ансамблевого прогнозирования (САП) представляют собой системы численного прогнозирования погоды (ЧПП), которые дают нам возможность оценивать неопределенность в прогнозе погоды, а также наиболее вероятный исход. Системы численного прогнозирования погоды используют современные численные модели атмосферы и помогают в производстве прогнозов погоды.

В настоящее время многие модели обеспечивают достаточно хорошее отображение метеорологических условий и могут применяться для автоматизированных прогнозов погоды. Для автоматизированных прогнозов рекомендует некоторую обработку для калибровки. Выходная продукция моделей обеспечивает лучшее воспроизведение некоторых метеорологических элементов, например, приземная температура, часто представлены очень хорошо, в то время как осадки показаны гораздо хуже.

Несмотря на эти достижения, даже на базе самых лучших моделей прогнозы часто оказываются неверными. Модели, которые моделируют будущее состояние атмосферы, тоже имеют ограниченные возможности. Они не могут рассчитать метеорологические параметры в абсолютно каждой точке пространства и в каждый момент времени. Некоторые физические процессы трудно описывать с помощью математики из-за их локальности и сложной природы. Это наиболее очевидно в прогнозах на несколько дней и связано с хаотичным характером атмосферы. Она неразрывна и находится в непрерывном движении. Поэтому ее состояние не может быть абсолютно исчерпывающим.

Мы прогнозируем погоду, используя модель, основанную на результатах анализа атмосферных условий, основанных на последних наблюдениях,

проведенных по всему миру. Модель, основанная на предварительном анализе атмосферных условий, рассчитывает, как атмосферные параметры будут меняться, и развиваться в течение следующих нескольких дней. Теория хаоса подразумевает, что изменения в атмосферных процессах очень чувствительны к незначительным ошибкам в этом предварительном анализе, поэтому очень маленькие ошибки могут привести к значительным ошибкам в прогнозировании.

По мере увеличения времени выполнения прогноза небольшие ошибки прогноза превращаются в большие ошибки, и уже за пределами 10 дней прогноза могут увеличиваться до любого уровня. Фактическая погода на самом деле известна нам приближенно. Сети наблюдения расположены неравномерно. На нашей планете есть много «белых пятен», таких как полярные области, океаны, пустыни и горы. Спутники заполняют эти пробелы, но с ошибками, поскольку они измеряются дистанционно. Поэтому первый этап прогноза погоды (расчет текущего состояния атмосферы) имеет неопределенность. Даже с оптимальными данными наблюдений мы не можем провести идеальный анализ, поэтому мы не можем сделать идеальный прогноз. Поэтому мы используем САП (ансамбли).

Поэтому современные методы прогнозирования основаны не только на одном прогнозе, но и на целом «ансамбле» прогнозов. Ансамбль состоит из различных сценариев — «членов ансамбля». В ансамблевом прогнозе мы вносим небольшие изменения в анализ, а затем заново запускаем модель со слегка возмущенными начальными условиями.

Если прогнозы в ансамбле очень похожи друг на друга, то усредненный прогноз имеет более высокую точность, и мы можем быть уверены в нашем прогнозе. Если все они развиваются по-другому и имеют широкий разброс, то это свидетельствует о более низкой точности среднего по ансамблю, тогда мы будем меньше уверены в прогнозе.

Вместе с тем, обращая внимание на соотношение членов ансамбля, которые прогнозируют осадки, мы можем оценить, насколько осадки вероятны. Как использовать вероятностные прогнозы? Например, вероятность прогноза осадков составляет 80%. Это означает, что из 28 членов ансамбля 23(большинство) предсказывают дождь. Однако есть 5 членов, которые исключают осадки.

Таким образом, вероятностные прогнозы предоставляют пользователям полезную информацию для принятия обоснованных решений. В отличие от однозначных прогнозов, ансамблевые прогнозы позволяют рассчитать вероятность событий. Вероятность позволяет правильно оценить риск и тем самым грамотно оценить ситуацию.

Когда мы рассматриваем краткосрочные прогнозы на 1 или 2 суток, общая метеорологическая ситуация более предсказуема, но если мы обратим внимание на местные погодные факторы, которые могут быть очень важны для многих пользователей прогноза, мы снова можем обнаружить важные различия между членами ансамбля. Кроме того, иногда широкомасштабная эволюция может быть неопределенной, даже в течение короткого времени. Это явление с большей вероятностью возникает во время сильных штормов, поэтому важно учитывать САП даже в краткосрочных прогноза [2].

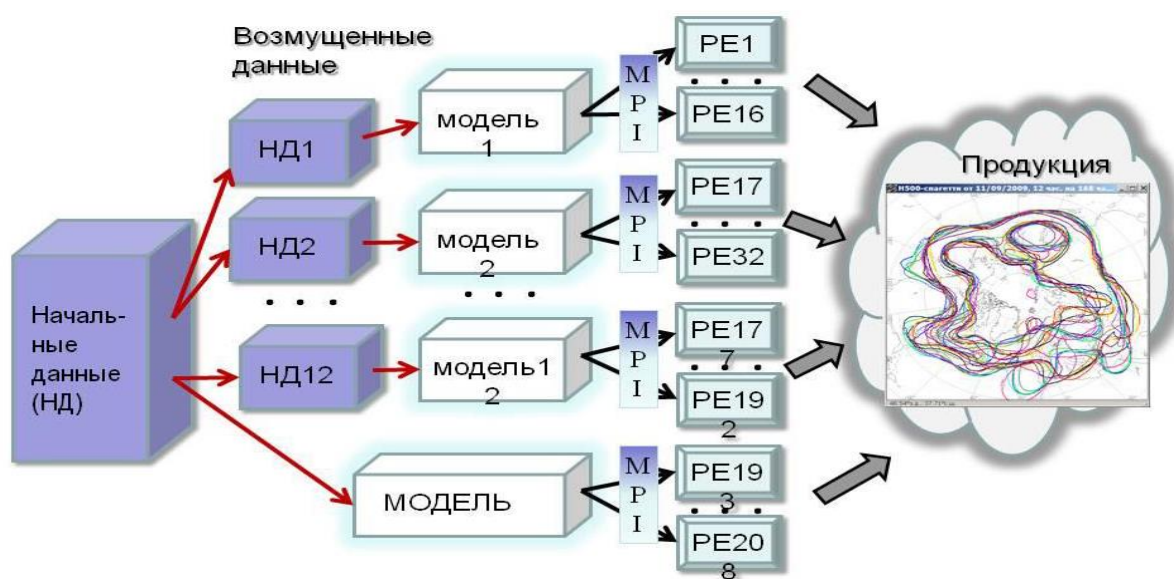


Рисунок 1.1– Конфигурация ансамблевой системы прогноза

1.1 Реализация ансамблевого подхода

Простейший ансамбль – это набор прогнозов со слегка отличающихся (возмущенных) начальных данных (ансамбля начальных данных).

Ансамбль начальных данных должен:

- Содержать равновероятные члены;
- Являться репрезентативной выборкой из вероятных состояний атмосферы;
- Включать истинное состояние атмосферы (т.е. разброс достаточно велик);
- В пределах ошибок анализа должны быть возмущения.

Выгоды использования ансамбля:

- Разброс ансамбля характеризует качество прогноза в зависимости от ситуации;
- Среднее по ансамблю дает лучшую (по сравнению с детерминированным прогнозом) оценку истинного состояния атмосферы;
- Легко получить вероятностный прогноз погоды.

Окончательный прогноз ожидаемых значений или аномалий прогностических величин на основе исправленных средних ансамблевых расчетов может быть представлен в виде карт или таблиц. Прогнозы могут быть представлены в детерминистической и вероятностной форме. Важно анализировать все варианты ансамблевого прогноза. Вероятностный прогноз метеоэлементов обычно рассчитывается в виде прогностических вероятностей трех градаций (выше нормы, норма, ниже нормы), границы которых определены по климатическому распределению.

Преимущество представления прогнозов в вероятностной форме. Карты, представленные в терминах вероятности, дополнительно позволяют прогнозисту:

- Расширить диапазон применения синоптического долгосрочного прогноза путем предоставления потребителю вероятностной оценки рисков осуществления того или иного экстремального явления;
- Определить географические районы, для которых прогноз выпускается с высокой или низкой степенью уверенности;
- Оценить вероятность осуществления того или иного знака прогностической аномалии метеопараметра по выбранному географическому району, по которому выпускается прогноз, необходимую для принятия обоснованного экономического решения потребителем;
- Изучить различные сценарии макропогоды для района прогноза.

Ансамблевая система прогноза позволяет не только более точно предсказать состояние атмосферы, но и показать, где и когда прогноз заслуживает большего или меньшего доверия [3].

2. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АНСАМБЛЕВОГО ПОДХОДА ДЛЯ СИНОПТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ

Принцип подбора аналогов (гомологов) циркуляции к текущим макросиноптическим процессам является основным приемом разработки прогнозов в синоптических методах долгосрочного прогноза погоды. При этом подбирается целая группа макроциркуляционных процессов схожих с исходным по пространственному распределению крупномасштабных полей аномалий приземной температуры воздуха, атмосферного давления, температуры поверхности океана, высот барических поверхностей и индексам циркуляции.

Поиск лет-гомологов по методу Вангенгейма-Гирса, предполагает анализ крупномасштабных полей аномалий приземного давления и температуры Северного полушария для пяти месяцев, предшествующих прогностическому. Метод базируется на анализе эволюции общей циркуляции атмосферы в предшествующий прогнозу период времени. Главная идея метода заключается в том, что макросиноптические процессы Северного полушария, приводящие к формированию крупных аномалий погоды одного знака над ограниченным районом полушария, имеют схожий характер развития в течение длительного промежутка времени.

В качестве рабочей гипотезы для разработки метода использовалось наличие причинно-следственной связи между формированием аномалий макропогоды в конкретном районе и особенностями преобразования макроциркуляционных синоптических процессов Северного полушария в четырех месяцах, предшествующих прогностическому месяцу, то есть учитывалась роль ближайшей истории развития макропроцессов.

Основным приемом, используемым для выделения прогностических связей, являлась генетическая классификация макропроцессов, которая заключается в объединении в группы нескольких макросиноптических

процессов со сходным характером циркуляционных преобразований на пространстве Северного полушария в течение пяти месяцев, при этом пятый месяц рассматривается как прогностический. Макросиноптические процессы всех лет, входящих в одну группу, формируют типовой макросиноптический процесс (ТМП). Выделенные, в процессе классификации, ТМП различаются между собой не только по средним месячным характеристикам в прогностическом месяце, но и по специфике преобразования макроциркуляционных процессов внутри прогностического месяца.

Типовые макропроцессы были получены заранее, в результате объективной классификации всех макропроцессов за имеющийся период наблюдений, и представляют собой средние поля из макропроцессов, отнесенных к одному классу. В результате анализа отбирается группа лет-гомологов, имеющих максимальную степень сходства с текущим процессом. Среднее поле по этой группе и является результирующим прогнозом. Таким образом, прогноз формируется из группы нескольких макропроцессов, аналогичных с текущим, для которой был введен термин «групповой аналог».

С целью вероятностного представления прогноза, предлагается перейти к «групповому аналогу». Для этого в качестве прогноза по этому методу необходимо использовать не только лучший аналог/гомолог, но и весь набор выявленных аналогов/гомологов, с учетом степени их сходства к текущему макропроцессу. При использовании такого подхода прогноз можно формулировать как в детерминистической, так и вероятностной форме.

Синоптический долгосрочный прогноз погоды при помощи набора лет-гомологов имеет те же методические основы, что и ансамблевый прогноз, разрабатываемый при помощи численной гидродинамической модели [4].

Гомолог, осредненный в группу предполагает, что для реализации определенного сценария макропогоды требуется существование соответствующего аналогичного состояния в предшествующем прогнозу

момента времени и аналогичности краевых условий подстилающей поверхности. Поскольку каждый индивидуальный, год гомолог, входящий в групповой аналог уникален, то незначительные отличия в начальных и граничных условиях приводят к реализации различных, а иногда и диаметрально противоположных прогнозов.

Подход, основанный на незначительном изменении начальных условий для расчета циркуляционных характеристик прогностического месяца, используется для генерации множества членов ансамбля гидродинамической модели. Исходя из сходства методологии получения группового гомолога и прогностического ансамбля гидродинамической модели, прогноз по групповому гомологу можно рассматривать как реализацию ансамблевого прогноза, полученную по «природной модели» [5].

В связи с изложенным, оценка возможности использования результатов прогнозов по синоптическому методу и численному методу, расчеты по которым основаны на одном и том же типе данных, должны привести к схожему результату. В связи с недостаточным размером архива прогнозов, полученных численным, ансамблевым методом, мною была предпринята попытка провести проверку применимости метода прогноза эффективных температур на базе данных прогнозов, полученных при помощи синоптического метода группового гомолога.

Использованные в исследовании синоптические прогнозы разрабатывались с использованием тех же данных реанализа приземной температуры воздуха, что и численные ансамблевые прогнозы. Для каждого прогноза был подобран набор лет гомологов, осреднением он и получен. Годы-гомологи - это те годы, в которых в предшествующий прогнозу период наблюдались схожие с текущими макросиноптические процессы. Считается, что набор лет-гомологов аналогичен набору членов ансамбля численного прогноза. Архив прогнозов за 15 лет был любезно предоставлен Северо-Западным УГМС.

3. УСЛОВИЕ ВЕГЕТАЦИИ ПОДСОЛНЕЧНИКА

3.1 Подсолнечник

Подсолнечник — важнейшая масличная сельскохозяйственная культура России. В последнее десятилетие его посевные площади составляют ежегодно около 4 млн. га.

Среди технических культур, возделываемых в Ростовской области, ведущее место принадлежит подсолнечнику. Посевные площади на 2020 г его составляет около 741,1 тыс. га. Посевы имеются во всех районах, кроме восточных, где выращивание его вследствие низкой влагообеспеченности нерентабельно.

Семена подсолнечника прорастают при довольно низких температурах 4-5 °С тепла и всходы переносят заморозки до -5, -6 °С. Поэтому высевать его можно сразу после ранних яровых культур. Но ранние сроки сева отрицательно сказываются на дальнейшем развитии растений: вызывают удлинение межфазных периодов, которое может закрепиться в потомстве, и сорт может стать позднеспелым. Кроме того, рано появившиеся всходы мешают проведению работ по удалению ранних сорняков. Поэтому лучшим сроком сева подсолнечника следует считать период, когда почва на глубине заделки семян прогревается до 8-10°. Запоздывание с посевом ведет к потере влаги. По территории области оптимальные сроки сева подсолнечника приходится на вторую половину апреля, что почти совпадает с фактическими.

Повышение температуры способствует ускорению появления всходов. При температуре 8-10 °С всходы появляются через 15-20 дней после посева, при 15-16 °С — через 9-10 дней, а при 20 °С — через 6-8 дней. Оптимальная температура прорастания 12-15 °С.

Сумма активных температур за период от посева до появления всходов составляет 140-160 °С. Сумма активных температур, необходимых для

созревания скороспелых сортов составляет 1600-1800 °С, для среднеспелых и поздних — 2000-3000 °С.

Общая продолжительность вегетации для подсолнечника составляет 120-140 дней. В зависимости от сорта или гибрида и условий выращивания созревание семян может наступать через (70) 80-120 (140) дней после всходов.

Семена высокомасличных сортов характеризуются более высокими требованиями к теплу, поэтому их следует высевать, когда почва прогреется до 8-10 °С на глубине заделки семян (8-10 см). Ранние сроки посева таких сортов и гибридов приводят к длительному времени их прорастания и частичной потере всхожести, что становится причиной изреживания всходов. Посев в поздние сроки, то есть при прогревании почвы до 14-16 °С и более, приводит к снижению урожайности подсолнечника во всех районах возделывания.

В засушливых районах юго-востока России, где характерен недостаток запасов влаги в почве, оптимальны ранние сроки посева, которые дают лучшие результаты. Посев проводят в сжатые сроки — за 2-3 дня.

В конце созревания потребность во влаге резко сокращается; обильные осадки в это время могут отрицательно повлиять на урожай. Большое значение имеет своевременная уборка подсолнечника. К уборке следует приступать, не дожидаясь полного созревания всего массива - при созревании 60-65% корзинок. Запаздывание с уборкой ведет к значительным потерям семян, уменьшению их масличности и засорению полей падалицей. Условия погоды для уборки подсолнечника в большинстве лет благоприятные. [6]

3.2 Эффективная температура

Для выражения потребности растений в тепле используются суммы эффективных температур. В агрометеорологии эффективная температура – это среднесуточная температура воздуха, уменьшенная на значения биологического минимума, при котором развиваются растения данной культуры. Сумма эффективных температур определяется путем суммирования средних суточных температур, уменьшенных на значение биологического минимума[7].

Для каждой культуры свои биологические минимумы и сумма эффективных температур. Они зависят от исторической приспособленности к условиям жизни. Растения развиваются в том случае, если среднесуточная температура превышает их биологический минимум, который составляет, например, для яровой пшеницы +5 °С, для кукурузы +10 °С, для хлопчатника +15 °С.

Суммы эффективных температур рассчитывают по формуле:

$$\sum t_{эф} = (t - t_0) n, \quad (3.2.1)$$

где,

$\sum t_{эф}$ - Сумма эффективных температур за n дней (С°),

t - Среднесуточная температура за период n (С°),

t_0 - Начальная температура развития, т.е. биологический нуль (С°).

n - Дни

Суммы эффективных температур используются для расчетов наступления фаз развития сельскохозяйственных культур [8].

имеет важнейшее значение для водоснабжения региона. Это река Дон, впадающая в Таганрогский залив.

Климат Ростовской области характеризуется как умеренно-континентальный. Для климата области характерно сочетание избытка тепла с относительным недостатком влаги. Зима обычно пасмурная, ветреная и сырая. Лето ветреное, сухое и жаркое. С продвижением на восток области континентальность климата возрастает.

В Ростовской области средняя годовая температура составляет от 6,6° на севере до 9,5° на юге. В среднем 8,2°С. Средние температуры июля – +23 °С, января – -7 °С.

Среднегодовое количество осадков колеблется от 400 до 650 мм, при этом наибольшее их количество выпадает в западной части области – 550 – 600 мм. Наименьшее количество осадков – в северо-восточных, восточных и юго-восточных территориях – от 400 до 500 мм. Осадки выпадают неравномерно, наименьшее количество их приходится на зиму. Коэффициент увлажнения меняется с запада на юго-восток от 0,76 до 0,44.

Среднегодовое давление 1009 гПа с колебаниями от 972 до 1042 гПа. Преобладающее направление ветров – широтное с преобладанием восточной составляющей – 53%. Средняя годовая скорость ветра составляет 4,5 м/с. Средняя повторяемость сильных ветров (более 15 м/с) для Ростова-на-Дону 28 дней за год, максимально – 54 дня. Максимальные скорости ветра (до 37 м/с) наблюдались в Ростовской области при наибольшей продолжительности периодов 3 дня за год.

Наиболее существенное влияние на циркуляцию атмосферы в Ростовской области оказывают постоянные и сезонные барические системы: Азорский, Арктический и Азиатский максимумы и Черноморский минимум. На территории Ростовской области выделяют 4 группы синоптических типов:

циклонические, антициклонические, фронтальные и однородных потоков воздушных масс. Над территорией области циркулируют: континентальные воздушные массы умеренных широт, морские тропические воздушные массы, континентальные тропические воздушные массы.[6]

4.2 Статистические методы обработки данных

Для оценки качества данных использовался коэффициент корреляции R , а также, метод оценки его статистической значимости, с помощью критерия Стьюдента.

В теории вероятностей и статистике коэффициент корреляции или парный коэффициент корреляции является показателем характера изменений в двух случайных величин. Коэффициент корреляции обозначается буквой R и R безразмерная величина, т.е. не имеет единиц измерения. Изменяется коэффициент корреляции в интервале от -1 до +1.

Если значение по модулю близко к 1, это означает, что существует сильная связь, а если оно близко к 0, то оно слабое.

Коэффициент корреляции R считается по формуле:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - y_{cp})(x_i - x_{cp})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - y_{cp})^2 \sum_{i=1}^n (x_i - x_{cp})^2}} \quad (4.2.1)$$

где

y_i - Станционные данные
 x_i - Данные реанализа

Таблица 4.2.1- Оценка корреляционной связи

Сила связи	Направление связи	
	Прямая (+)	Обратная(-)
Сильная	от +1 до 0,7	от -1 до -0,7
Средняя	от +0,699 до 0,3	от -0,699 до -0,3
Слабая	от +0,299 до 0	от -0,299 до -0

Оценка статистической значимости коэффициента корреляции начинается с помощью t -критерия Стьюдента на уровне значимости $\alpha = 0,05$. Проверка начинается с принятия нулевой гипотезы H_0 . В общем виде, суть ее заключается в отсутствии каких-либо существенных различий между параметром выборки и параметром генеральной совокупности. В противном случае, принимается альтернативная гипотеза H_1 , которая состоит в том, что между параметрами различия имеются.

Чтобы опровергнуть гипотезу H_0 и подтвердить гипотезу H_1 должно выполняться неравенство $t > t_{кр}$ на уровне значимости α и с $(n-2)$ степенями свободы, где n – количество наблюдений

t -критерия Стьюдента значение этого критерия определяется по формуле:

$$t = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}} \quad (4.2.2)$$

Вычисленное по этой формуле значение сравнивается с критическим значением, определяемым по таблице распределения Стьюдента при заданном уровне значимости α и $f=n-2$ степенях свободы.

Правило применения критерия заключается в следующем:

- если, $t > t_{кр}$, то нулевая гипотеза на уровне значимости α отвергается, т. е. связь между переменными значима;
- если $t < t_{кр}$, то нулевая гипотеза на уровне значимости α принимается[9].

4.3 Исходные материалы и их систематизация

Для исследования была выбрана территория Ростовской области. Хорошее расположение и климатические условия этого региона на юге страны благоприятны для жизни населения и для выращивания сельскохозяйственной продукции. Ростовская область занимает лидирующие места в стране в производстве подсолнечника. Подсолнечник — важнейшая масличная сельскохозяйственная культура. Возделывание этой культуры считается экономически выгодным.

Исходным материалом для исследований послужили данные по 3 станциям в Ростовской области:

Цимлянск (индекс 34747) (47.63° -с. ш, 42.12° -в. д),

Ростов-на-Дону (индекс 34730) (47.27° -с. ш, 39.82° -в. д),

Чертково (индекс 34432) (49.38° -с.ш , 40.17° -в.д).

Станционные данные о среднесуточной температуре взяты с сайта ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». Данные реанализа GFS, для этих же координат, были получены из базы данных программы «Синоптик долгосрочник».

Данные о датах созревания или уборки подсолнечника в Ростовской области с 1990 по 2020 год получены из интернета (новостные сайты, <https://www.zol.ru/>) и представлены в Таблице 4.2.1. С помощью программы «Синоптик Долгосрочник » были, рассчитаны суммы и построены графики накопленных эффективных температур начиная, с 15 апреля до даты

созревания подсолнечника в каждом изучаемом году (с 1990 по 2020 г). Расчет накопленных эффективных температур проводился по данным реанализа и по данным наблюдений на метеорологической станции. Пример такого графика накопленных эффективных температур для 2020 года и представлены на рисунке 4.3.1.

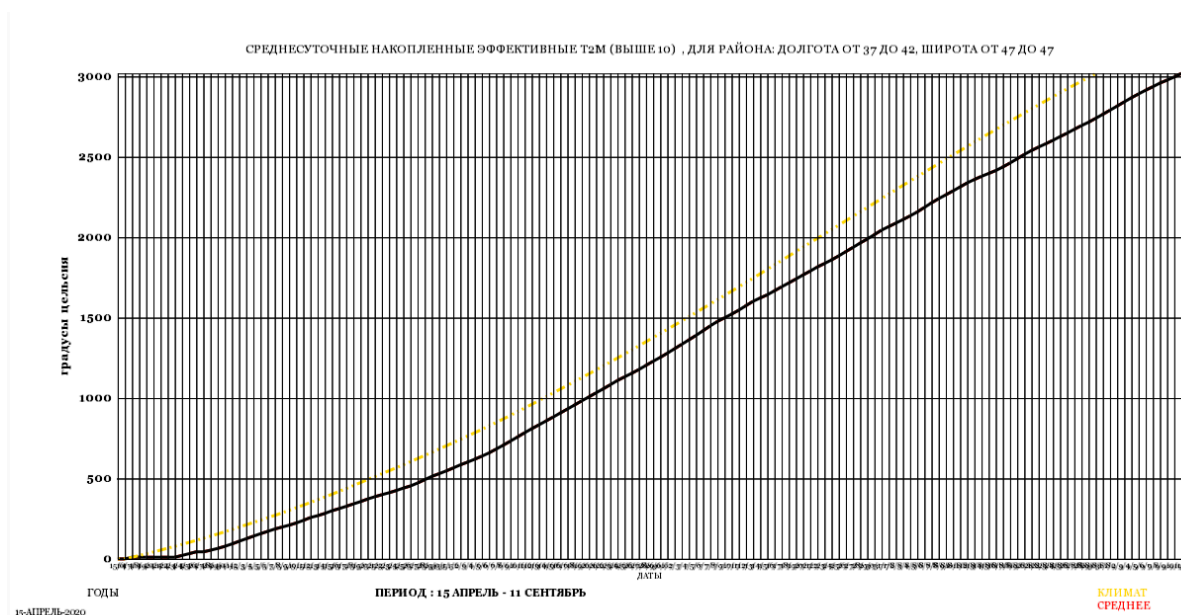


Рис.4.3.1- Пример графика накопленных эффективных температур для 2020 года

На рисунке 4.3.1 построен график среднесуточных накопленных эффективных температур рассчитанный по данным реанализа в узлах регулярной сетки данных за период с 15.04.20 по 20.08.20 год и осредненный по территории Ростовской области. По вертикальной оси показана температура в градусах Цельсия, а по горизонтальной оси – временная шкала. Желтая пунктирная линия показывает климатическую норму, а сплошная черная линия - суммы накапливавшихся положительных температур выше +10 °C.

Сумма необходимых для созревания подсолнечника эффективных температур определяется по графику на фактическую дату созревания. В данном случае даты созревания получены по данным открытых источников (интернет), в которых указаны даты созревания или уборки подсолнечника. В

2020 году созревание подсолнечника произошло 20 августа. Для считывания показаний с графика необходимо подняться вверх до пересечения с черной линией, где и снимаем показания. Дата созревания подсолнечника, снятая с графика, произошло значительно позже климатической нормы.

Таким образом, по графикам была получена информация о сумме накопленных эффективных температур в каждый из изучаемых лет (начиная с 15 апреля до фактической даты созревания подсолнечника), и была составлена таблица 4.3.1

Таблица 4.3.1- Суммы накопленных эффективных температур на момент созревания подсолнечника, полученные по данным реанализа и наблюдения (осредненные эфф. температуры) для каждого изучаемого года

Год	Дата созревания подсолнечника (сбор урожая)	Реанализ	Наблюдения
		Сумма эффективных t-p (°C)	Сумма эффективных t-p (°C) оср. 3-х ст.
2020	20 августа	2510	1273,1
2019	27 августа	2755	1464,0
2018	27 августа	2875	1546,9
2017	4 сентября	2860	1437,7
2016	28 августа	2880	1477,8
2015	12 сентября	3000	1613,0
2014	5 сентября	3100	1622,8
2013	21 августа	2630	1475,7
2012	20 августа	3080	1808,4
2011	10 сентября	3300	1603,4
2010	22 августа	3070	1628,7
2009	14 сентября	3240	1513,6
2008	22 августа	2760	1218,8
2007	3 сентября	3220	1649,7
2006	11 сентября	3240	1502,2
2005	24 августа	2870	1301,9
2004	3 сентября	3125	1186,6
2003	11 сентября	3260	1302,6
2002	24 августа	2960	1299,1

Год	Дата созревания подсолнечника (сбор урожая)	Реанализ	Наблюдения
		Сумма эффективных t-p (°C)	Сумма эффективных t- p (°C) осп. 3-х ст.
2001	6 сентября	3390	1379,1
2000	2 сентября	3070	1293,6
1999	27 августа	3000	1357,9
1998	23 августа	3050	1349,7
1997	4 сентября	3250	1175,0
1996	24 августа	3010	1371,3
1995	28 августа	3125	1399,7
1994	22 августа	2750	1110,4
1993	8 сентября	3010	1164,0
1992	29 августа	2990	1143,5
1991	2 сентября	3250	1433,9
1990	26 августа	2875	1104,2

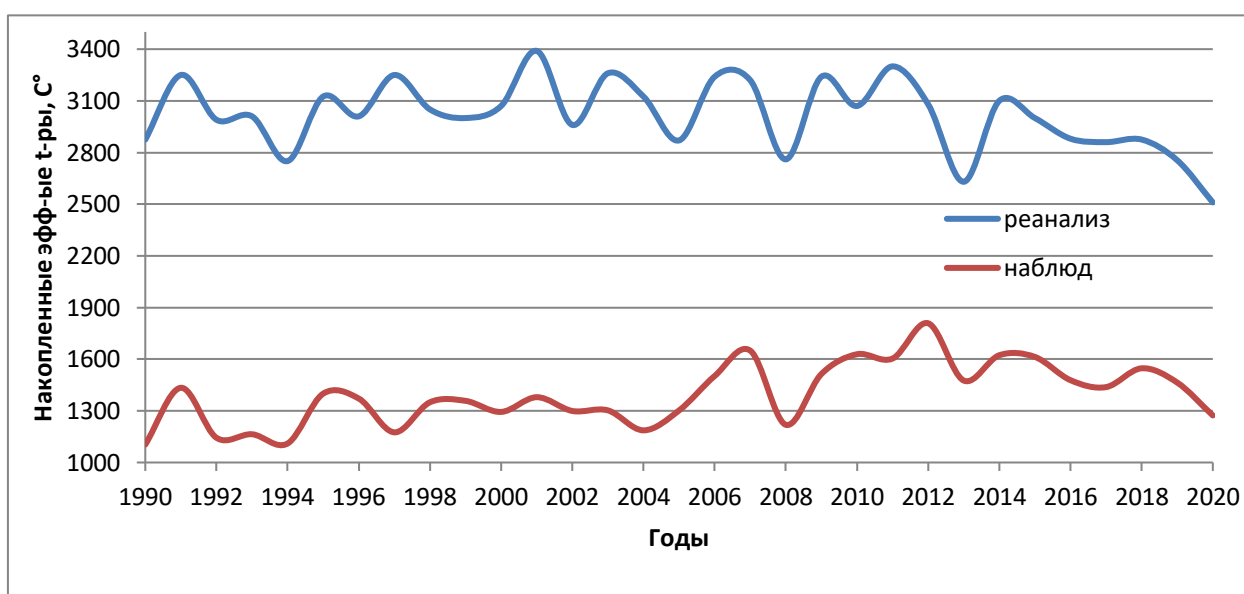


График 4.3.1 – Изменение во времени суммы накопленных эффективных температур на момент созревания подсолнечника, полученные по данным реанализа и наблюдения для каждого изучаемого года

На этом графике показаны суммы накопленных эффективных температур на момент созревания подсолнечника для каждого изучаемого года. Сумма эффективных температур, необходимых для созревания подсолнечника, по данным реанализа усредненная за весь период, составляет 3016,3 °C. Из-за

недостатка фактических данных наблюдения для всей территории Ростовской области, были усреднены данные накопленных эффективных температур только из трех станций (Ростов-на-Дону, Цимлянск, Чертково). Осредненная за весь период сумма эффективных температур по данным наблюдений равна 1400 °С.

4.3.1 Проверка корреляционной связи между фактическими данными и данными реанализа

На втором этапе работы было проведено сопоставление данных станционных наблюдений с данными реанализа. Для составления прогноза достижения пороговой величины суммы эффективных температур нам необходимо выяснить уровень связи между данными наблюдений на метеорологических станциях и данными реанализа. Для оценки качества данных использовался коэффициент корреляции R .

Для этого было проведено сравнение температур, на уровне 2 метра (с 15 апреля до даты созревания подсолнечника), полученных по данным реанализа и фактическими данными наблюдений.

Коэффициенты корреляции R (4.2.1), рассчитанные по данным среднесуточных температур на уровне 2 метра, между станционными данными и данными реанализа для трех станций Ростовской области представлены в таблице 4.3.1.1

Таблица 4.3.1.1- Коэффициенты корреляции между среднесуточными фактическими данными наблюдений температуры на уровне 2 метра на станциях метеосети и данными реанализа

Станция	Коэффициент корреляции (R)
Ростов-на-Дону	0,907013
Цимлянск	0,889536
Чертково	0,915392

Из таблицы следует то, что рассчитанные значения коэффициента корреляции по данным температуры на уровне 2 метра, между данными реанализа GFS, и фактическими данными станционных наблюдений существует тесная связь. На трех станциях корреляция изменяется в пределах от 0,88 до 0,91 (за период 1990 по 2020 год).

Для оценки статистической значимости полученных результатов, была проведена проверка. Рассчитаны уровни значимости для коэффициентов корреляций для всех станций по формуле 4.2.2, и сопоставлены с критическим значением $t_{кр.}$, полученным из таблиц.

Для данных рядов, с количеством элементов n , и при заданном уровне значимости $\alpha=0,05$, получены следующие результаты, представленные в таблице 4.2.3

Таблица 4.3.1.2 Результаты проверки уровня значимости коэффициентов корреляции для среднесуточных температурных данных реанализа и фактических наблюдений на уровне 2 метра

	Ростов-на-Дону	Цимлянск	Чертково
N	4774	4774	4774
n-2	4772	4772	4772
T	148.8	134.1	156.7
T _{кр}	1.9	1.9	1.9

Из представленных в таблице 4.3.1.2 результатов, можно сделать вывод, что для данных, полученных на уровне 2 м, коэффициент Стьюдента выше критического значения, а значит, коэффициент корреляции считается значимым.

4.3.2 Средние суммы эффективных температур

Для каждой станции, по данным наблюдений и реанализа, были посчитаны суммы эффективных температур по формуле (3.2.1) и представлены в таблице А.1 (приложение А). По данным таблицы А.1 (приложение А) нами были построены графики сумм накопленных эффективных температур по данным реанализа и данным наблюдений на метеостанции.



График 4.3.2.1- Суммы эффективных температур по данным реанализа и фактических данных наблюдений на метеостанции

На графике 4.3.2.1 показаны суммы эффективных температур по данным реанализа и фактических данных наблюдений на метеостанции Ростов-на-Дону. Средняя сумма эффективных температур на станции Ростов-на-Дону к моменту созревания подсолнечника полученная по данным наблюдений на метеостанциях составляет 1444,0 °C, сумма полученная по данным реанализа равна 1676,9°C. Ход двух графиков эффективных температур похож, но суммы, рассчитанные по данным реанализа значительно выше.

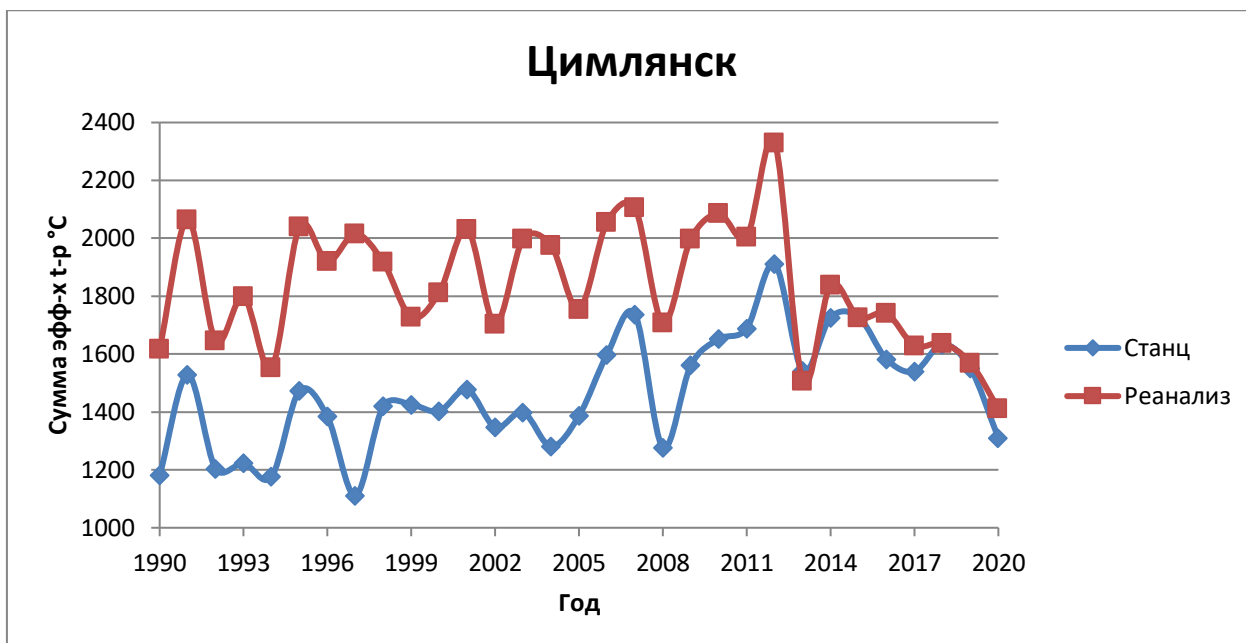


График 4.3.2.2- Суммы эффективных температур полученные по данным реанализа и данным метеонаблюдений на станции Цимлянск.

Средняя сумма эффективных температур на станции Цимлянск к моменту созревания подсолнечника по фактическим данным метеонаблюдений составляет 1466,5°C, по данным реанализа 1836,1°C. Суммы полученные по данным реанализа выше, чем суммы полученные по данным фактических наблюдений.

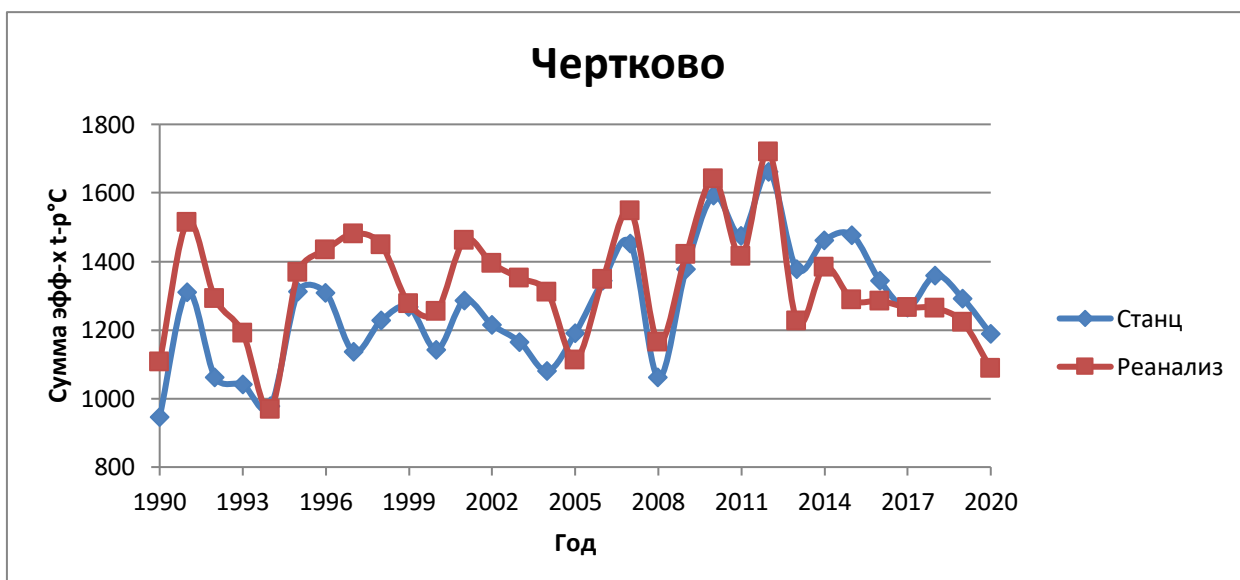


График 4.3.2.3- Суммы эффективных температур полученные по данным реанализа и данным метеонаблюдений

Средняя сумма эффективных температур на станции Чертково к моменту созревания подсолнечника по фактическим данным метеонаблюдений составляет 1270,9°C, по данным реанализа 1330,4°C.

Тем не менее, суммы эффективных температур, полученные по данным реанализа, оказались близкими к суммам, полученным по данным метеонаблюдений на станции Чертково. Для станции Ростов-на-Дону и Цимлянск суммы эффективных температур полученные по данным реанализа значительно выше, чем суммы, полученные по данным метеонаблюдений на станциях.

5. АНАЛИЗ И РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕДЕННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

5.1 Прогноз созревания подсолнечника по синоптическому методу

Синоптический метод основан на использовании закономерностей преобразования и последовательного изменения крупномасштабных особенностей атмосферной циркуляции. Обычно используется принцип аналогичности будущего развития атмосферных процессов.

При составлении прогноза, к текущему синоптическому процессу подбирается аналогичный типовой процесс. Аналогичные конфигурации макросиноптических полей, как правило, обусловлены одинаковыми физическими причинами, которые и обуславливают дальнейшее сходное развитие процессов. Такие аналоги, отобранные по подобию полей, используются для прогноза.

В данной работе использовалась программа «Синоптик долгосрочник» для расчета сумм эффективных температур по синоптическим долгосрочным прогнозам, в которых используются данные реанализа температуры, а так же для анализа и оценки качества полученного прогноза.

Долгосрочный прогноз можно разрабатывать несколькими методами. Самым перспективным методом на сегодняшний день считается численный метод ансамблевого прогнозирования. Но нельзя исключать из практики и традиционные синоптические методы. В этом случае членами ансамбля, по аналогии с численным ансамблевым подходом, могут, является годы гомологи (аналоги) путем осреднения которых и разрабатывается синоптический прогноз.

Для оценки возможности использования синоптического подхода для построения прогностических сумм эффективных температур использовала долгосрочные прогнозы, разработанные Санкт-Петербургском Гидрометцентре, в предшествующие 15 лет (с 2004 по 2020). По данным лет-

гомологов, использованных для разработки этих прогнозов, рассчитывались суммы эффективных температур, и проводилась оценка качества метода прогноза созревания урожая.

Таблица 5.1.1- Годы аналоги из архива долгосрочных прогнозов
Гидрометцентра Санкт-Петербурга.

Год прогноза	Годы аналоги
2020	2015, 2007
2019	2015, 2011, 1967
2018	2009, 2005, 1962
2017	2015, 2011, 2007
2016	2015, 2014, 2012
2015	2012, 1995, 1986, 1973
2014	2012, 2011, 2007, 1995, 1989
2011	1953, 1949, 1943, 1938
2010	2006, 2001
2009	2007, 2005, 2002
2008	2000, 1993, 1934
2007	1993, 1992, 1989
2006	2001, 1996, 1958
2005	2000, 1981, 1957
2004	1998, 1992, 1959

Основываясь на прогнозах, составленных в апреле, по данным лет-гомологов я построила прогностические графики эффективных температур и произвела сравнение прогностических результатов и фактических данных о датах созревания подсолнечника.

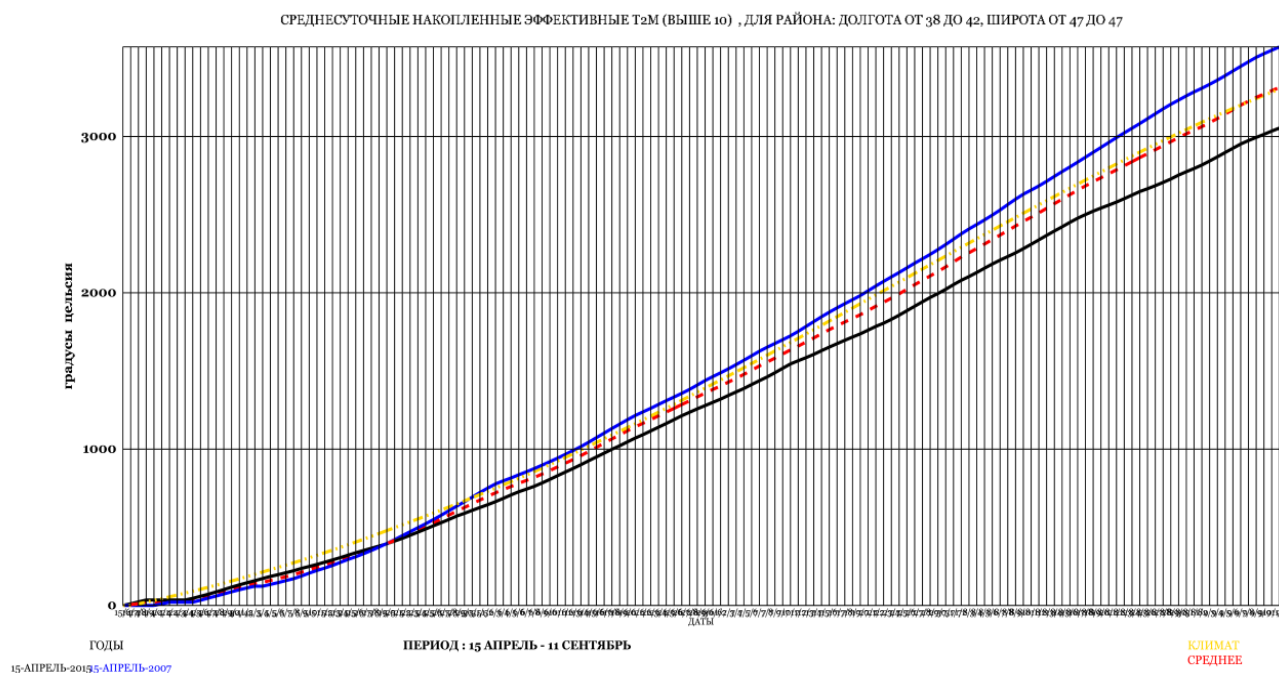


Рис.5.1.1- Прогностический график среднесуточных накопленных эффективных температур за 2020год.

На рисунке 5.1.1 представлен прогностический график накопленных эффективных температур, рассчитанных по данным синоптического метода долгосрочного прогноза за 2020 год. По горизонтали - временная шкала, а по вертикали суммы эффективных температур. Для 2020 года годами аналогами были 2015 (черная линия) и 2007(синяя линия) годы, которые наиболее похожи по своему макросиноптическому развитию на 2020 год. Красная пунктирная линия - это средняя накопленная эффективная температура, рассчитанная по всем годам аналогам. Для каждого года начиная, с 2004 по 2020 год были построены такие прогностические графики накопленных эффективных температур и рассчитан их средний прогностический график. Результаты прогноза дат созревания подсолнечника, снятые с графиков можно увидеть в таблицах 5.1.2 и 5.1.4. Предварительно нами были получены средние суммы накопленных эффективных температур, которые необходимо использовать, чтобы снять с графика дату созревания подсолнечника.

Фактические даты созревания подсолнечника по данным наблюдений на трех станциях Ростовской области, представлены в таблицах 5.1.2 и 5.1.4.

Для созревания культуры необходимо, чтобы для станции Ростов-на-Дону было накоплено в среднем 1444°С эффективных температур.

Таблица 5.1.2- Фактические и прогностические даты созревания подсолнечника

Ростов-на-Дону				
Год	Факт. наблюд		Прогноз	
	Дата созревания	Номер дня от начала года	Дата созревания.	Номер дня от начала года
2020	20 августа	233	8 августа	221
2019	27 августа	239	6 августа	218
2018	27 августа	239	7 августа	219
2017	4 сентября	247	12 августа	224
2016	28 августа	241	8 августа	221
2015	12 сентября	255	4 августа	216
2014	5 сентября	248	4 августа	216
2011	10 сентября	253	7 августа	219
2010	22 августа	234	6 августа	218
2009	14 сентября	257	10 августа	222
2008	22 августа	235	9 августа	222
2007	3 сентября	246	11 августа	223
2006	11 сентября	254	7 августа	219
2005	24 августа	236	8 августа	220
2004	3 сентября	247	6 августа	219

Максимальная ошибка, на станции Ростов-на-Дону, фактического созревания подсолнечника до прогноза составляет 39 дней. Минимальная ошибка показывает 12 дней, средняя ошибка равна 24 дней. Коэффициент корреляции между фактическими данными созревания и по прогнозу равен - 0,13. Если убрать годы с максимальными отклонениями и еще раз посчитать коэффициент между данными, то получается 0,6.

В случае лет с максимальными отклонениями следует помимо учета эффективных температур учитывать и условия увлажнения, что не входило в нашу работу.

Для уборки подсолнечника на станции Цимлянск из анализа, в котором проводилось ранее, необходимо, чтобы накопленные эффективные температуры в среднем составили 1466°С для созревания подсолнечника.

Таблица 5.1.3- Фактические и прогностические даты созревания подсолнечника

Цимлянск				
Год	Факт. наблюд		Прогноз	
	Дата созревания	Номер дня от начала года	Дата созревания	Номер дня от начала года
2020	20 августа	233	10 августа	223
2019	27 августа	239	8 августа	220
2018	27 августа	239	8 августа	220
2017	4 сентября	247	14 августа	226
2016	28 августа	241	10 августа	223
2015	12 сентября	255	6 августа	218
2014	5 сентября	248	5 августа	217
2011	10 сентября	253	7 августа	219
2010	22 августа	234	7 августа	219
2009	14 сентября	257	11 августа	223
2008	22 августа	235	11 августа	224
2007	3 сентября	246	12 августа	224
2006	11 сентября	254	9 августа	221
2005	24 августа	236	10 августа	222
2004	3 сентября	247	7 августа	220

На таблице 5.1.3. показаны фактические данные созревания подсолнечника и прогностические даты, рассчитанные по синоптическому методу долгосрочного прогноза с 2004 по 2020 год. Максимальная ошибка между фактическими данными и прогнозом показывает 34 дня. Минимальная ошибка 10 дней, средняя ошибка 23 дня. Коэффициент корреляции между прогнозом и данными наблюдения составляет -0,19. Еще раз надо посчитать

коэффициент корреляции, но без учета максимальных отклонений. R между данными наблюдений и реанализом равен 0,53.

Таблица 5.1.4- Фактические и прогностические даты созревания
подсолнечника

Чертково				
Год	Факт. наблюд		Прогноз	
	Дата созревания	Номер дня от начала года	Дата созревания	Номер дня от начала года
2020	20 августа	233	4 августа	217
2019	27 августа	239	3 августа	215
2018	27 августа	239	2 августа	214
2017	4 сентября	247	4 августа	216
2016	28 августа	241	2 августа	215
2015	12 сентября	255	30 июля	211
2014	5 сентября	248	29 июля	210
2011	10 сентября	253	1 августа	213
2010	22 августа	234	2 августа	214
2009	14 сентября	257	4 августа	216
2008	22 августа	235	2 августа	215
2007	3 сентября	246	4 августа	216
2006	11 сентября	254	30 июля	211
2005	24 августа	236	3 августа	215
2004	3 сентября	247	1 августа	214

Из предыдущих исследований, которые мы проводили оценки сумм эффективных температур необходимых для созревания подсолнечника или уборки урожая известно, что по данным станции Чертково для созревания подсолнечника понадобится в среднем 1270°C сумм эффективных температур. Максимальная ошибка составляет 44 дня. Минимальная ошибка составляет 16 дней. Средняя ошибка равна 31 дней. Коэффициент корреляции между фактическими датами уборки подсолнечника и прогнозом равен – 0,47. Без учета максимальных отклонений, коэффициент корреляции равен -0,39.

ПЕРИОД : 15 АПРЕЛЬ - 10 АВГУСТ
СОСТАВ ЛЕТ : 2015, 2007,

СРЕДНЕСУТОЧНЫЕ ЭФФЕКТИВНЫЕ T2M (ВЫШЕ 10)

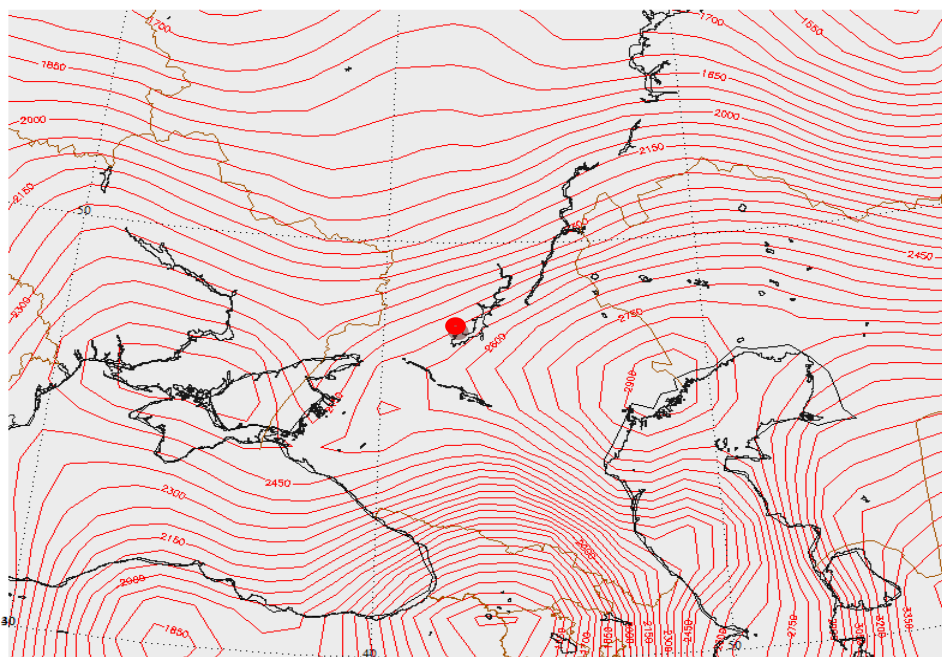


Рис.5.1.2 – Среднесуточные эффективные температуры на станции Цимлянск за 2020 год.

Для каждого года (с 2004 по 2020 год), отдельно для каждой станции были построены карты прогностических накопленных эффективных температур, рассчитанных по данным синоптического долгосрочного прогноза, за период с 15 апреля до даты созревания подсолнечника. Можно увидеть, что на рисунках 5.1.2 -5.1.4 значения накопленных эффективных температур для Ростовской области колеблется от 2100 до 2550 °С. На всех участках, где расположены станции количество накопленных эффективных температур для созревания культуры должно хватать в полной мере. Накопленные эффективные температуры для каждой станции и для каждого года за этот период (2004-2020г) варьировали от 2095°С до 2585°С.

СРЕДНЕСУТОЧНЫЕ ЭФФЕКТИВНЫЕ T2M (ВЫШЕ 10)
ПЕРИОД : 15 АПРЕЛЬ - 8 АВГУСТ
СОСТАВ ЛЕТ : 2015, 2007,

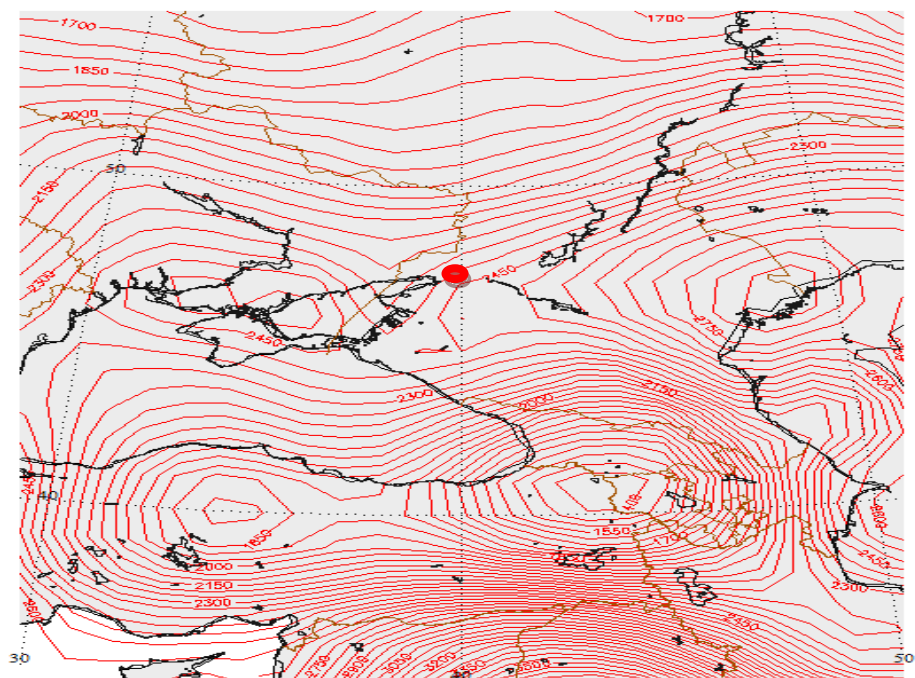


Рис.5.1.3 – Среднесуточные эффективные температуры на станции
 Ростов-на-Дону за 2020 год

СРЕДНЕСУТОЧНЫЕ ЭФФЕКТИВНЫЕ T2M (ВЫШЕ 10)
ПЕРИОД : 15 АПРЕЛЬ - 4 АВГУСТ
СОСТАВ ЛЕТ : 2015, 2007,

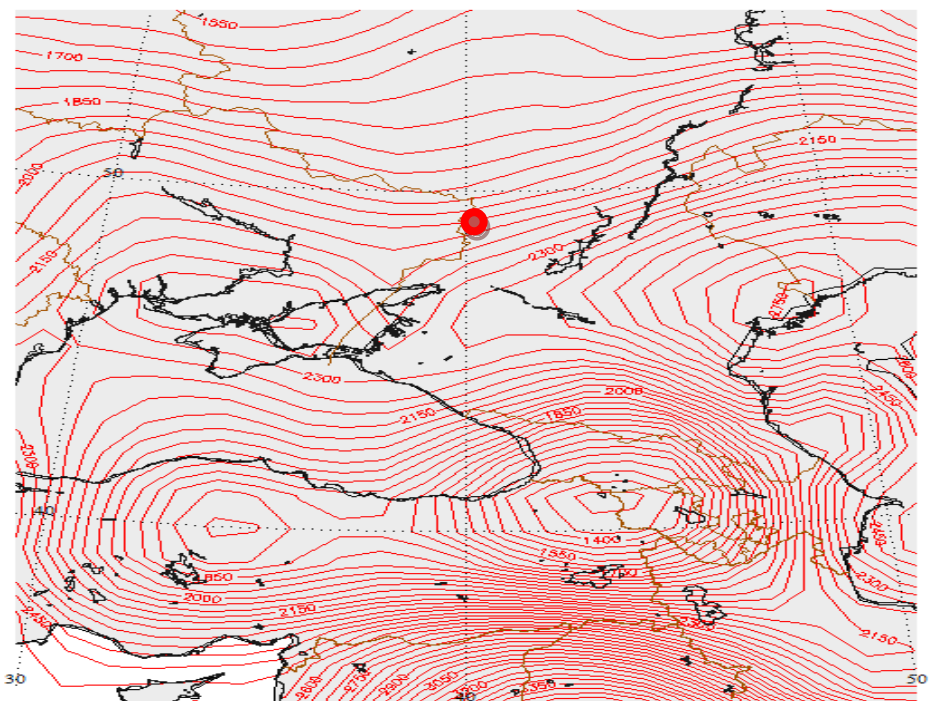


Рис.5.1.4 – Среднесуточные эффективные температуры на станции
 Чертково за 2020 год.

Таким образом, если использовать синоптический метод долгосрочного прогноза, то наступление дат созревания подсолнечника приходится на начало августа. По фактическим данным наблюдений созревание наступает в конце августа - начале сентября. Есть несколько лет (2020,2010,2008,2006), где ошибка прогноза не большая, и можно считать, что прогноз для этих лет оправдывается. Можно предположить, что более точного прогноза дат созревания подсолнечника требуется привлечение информации об увлажнении.

5.2 Ансамблевые прогнозы созревания подсолнечника для 2021 и 2022г.г.

Для расчета сумм эффективных температур по ансамблевым прогнозам NCEP CFS v2 мною использовалась программа «Синоптик Долгосрочник». Для анализа и оценки качества полученного прогноза были использованы данные реанализа по модели GFS.

Для оценки возможности использования ансамблевых прогнозов, разрабатываемых по модели NCEP CFS v2, был проведен расчет сумм эффективных температур по двум прогнозам – прогноз от 29 марта 2021на август 2021 года и прогноз от 4 апреля 2022 года на июль-август 2022 года.

По данным каждого из членов прогностического ансамбля были построены индивидуальные графики накопленных эффективных температур и средний график по всем членам ансамбля. Предполагалось, что если на какую-то дату сумма эффективных температур достигнет критической величины, необходимой для созревания подсолнечника, то в эту дату можно собирать урожай. На эту же дату строились карты вероятности превышения порога критической суммы эффективных температур по району прогноза и прогностические карты накопленных эффективных температур на эту же дату.

Прогноз созревания подсолнечника на 2021 год

Дата разработки прогноза NCEP CFS v2 была 29 марта 2021 года. Прогноз суммы эффективных температур составлялся на период до августа 2021 года включительно. Из ансамбля прогноза было получено и использовалось для расчетов сумм эффективных температур 28 членов ансамбля. Фактическая дата созревания подсолнечника, по данным наблюдений, была получена из открытых источников и пришлась на 30 августа.

В предшествующем проведенном нами анализе было установлено, что для созревания подсолнечника в Ростовской области необходимо, чтобы были накоплены следующие суммы эффективных температур - на станциях Ростов-на-Дону 1444 °С, Цимлянск 1466 °С, Чертково 1270°С.

По фактическим, полученным из открытых источников данным наблюдений, созревание подсолнечника в районе исследования в среднем приходится на 30 августа 2021 года.

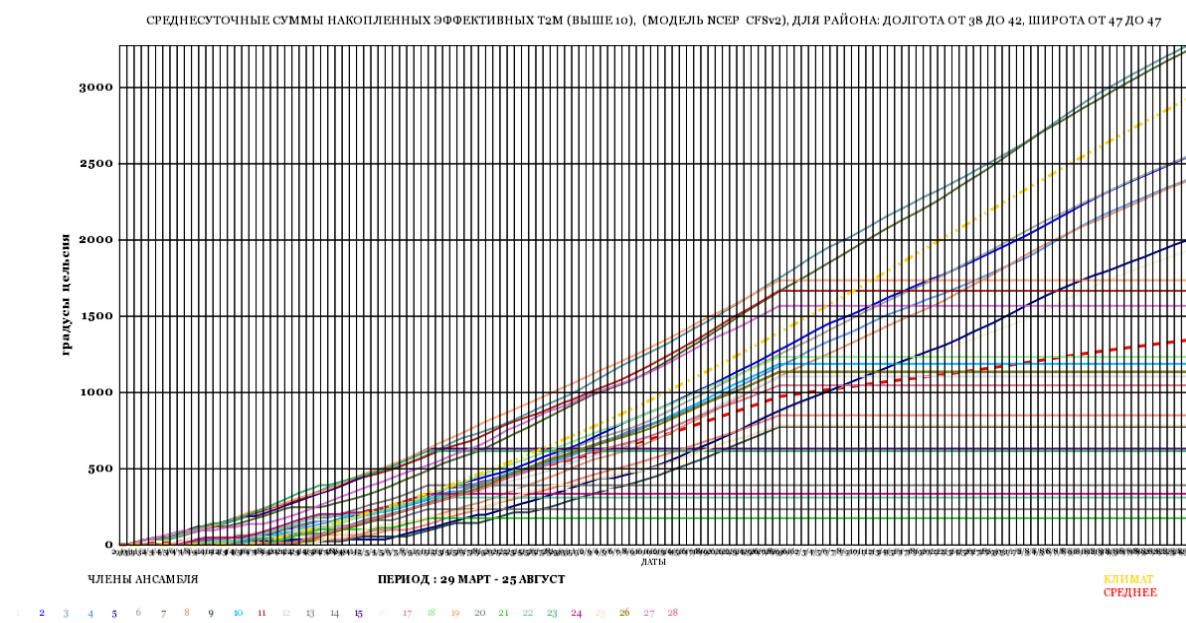


Рис.5.2.1 Прогностический график, состоящий из членов ансамблей накопленных эффективных температур и их среднего.

На рисунке 5.2.1 показан прогностический график ансамблей накопленных эффективных температур. По горизонтали - временная шкала, по вертикали - накопленные суммы эффективных температур ($^{\circ}\text{C}$). Красная пунктирная линия показывает среднее по ансамблю. Из прогностического графика видно, что накопленные по среднему значению ансамбля суммы эффективных температур, достигают значения 1444°C на станции Ростов-на-Дону 24 августа 2021 года, на станции Цимлянск достигают значения 1466°C 25 августа 2021, а на станции Чертково (1270°C) - 4 августа 2021 года.

Таким образом, в соответствии со прогнозом по среднему значению по ансамблю, наиболее вероятным периодом созревания подсолнечника является 24-25 августа для станции Ростов и Цимлянск, а для станции Чертково примерной датой созревания является 4 августа. Членами ансамбля, которые показывают наиболее достоверную фактическую дату созревания, являются 10, 15, 18 и 26 члены.

На картах среднесуточных сумм эффективных температур можно увидеть, как они распределяются по пространству. Для трех станции Ростовской области на момент прогноза построены карты накопленных эффективных температур. Карты представлены на рисунках 5.2.2-5.2.4.

СРЕДНЕСУТОЧНЫЕ СУММЫ ЭФФЕКТИВНЫХ ТЕМПЕРАТУР (ВЫШЕ 10), (МОДЕЛЬ NCER CFSv2)

ПЕРИОД : 29 МАРТ - 24 АВГУСТ

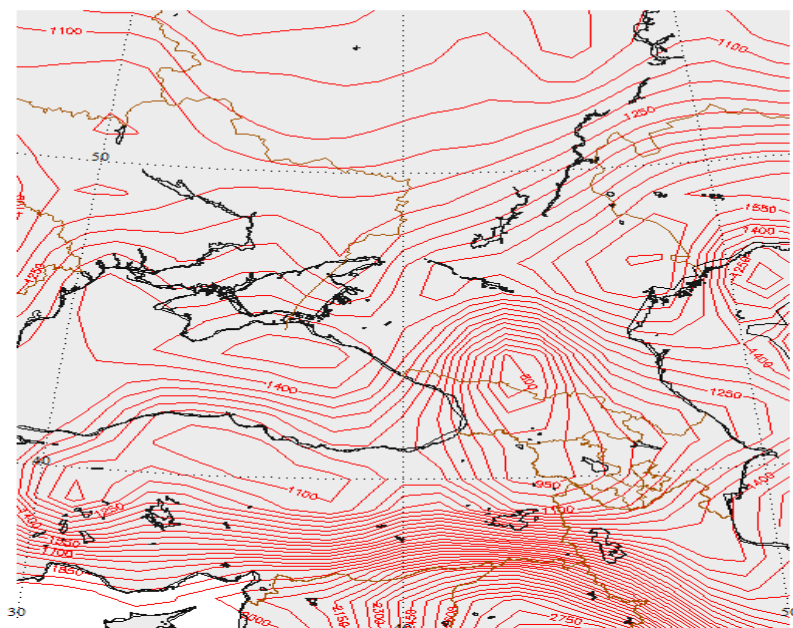


Рис.5.2.2 Прогностическая карта среднесуточных накопленных эффективных температур на дату созревания подсолнечника по району станции Ростов-на-Дону

СРЕДНЕСУТОЧНЫЕ СУММЫ ЭФФЕКТИВНЫХ ТЕМПЕРАТУР (ВЫШЕ 10), (МОДЕЛЬ NCER CFSv2)

ПЕРИОД : 29 МАРТ - 25 АВГУСТ

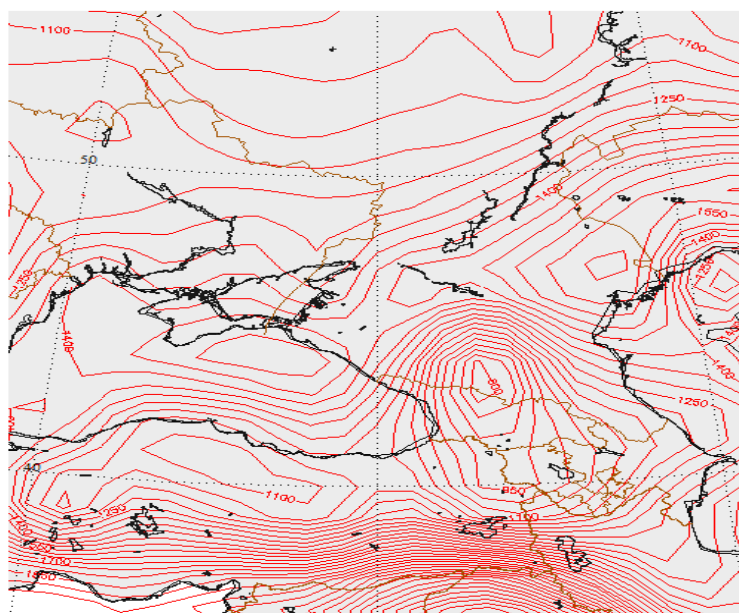


Рис.5.2.3- Прогностическая карта среднесуточных накопленных эффективных температур на дату созревания подсолнечника по району станции Цимлянск

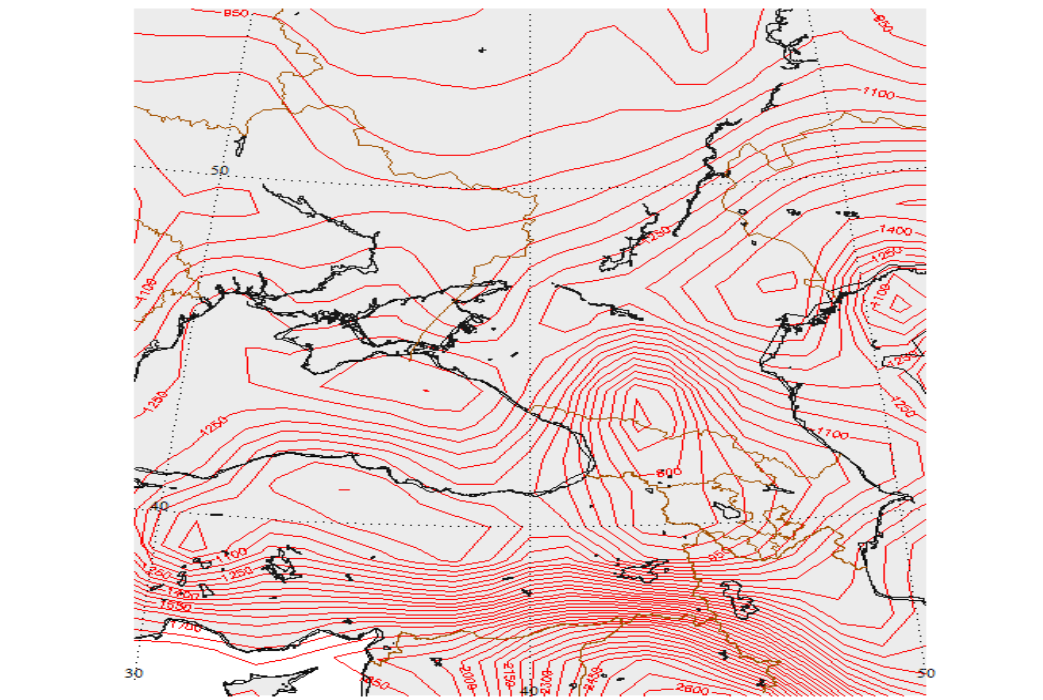


Рис.5.2.4- Прогностическая карта среднесуточных накопленных эффективных температур на дату созревания подсолнечника по району станции Чертково

На рисунках 5.2.2-5.2.4 показаны прогностические карты накопленных эффективных температур на территории Ростовской области на 2021 год. По этим картам можно, спрогнозировать, сколько эффективных температур накопилось на дату прогноза. На 25 августа 2021 года сумма эффективных температур на станции Ростов-на-Дону достигает 1300 °С. На станции Цимлянск сумма эффективных температур на 24 августа 2021года составляет 1400°С. А к 4 августа 2021 года на станции Чертково было накоплено 1100°С.

Поскольку все члены ансамбля равновероятны, то выбор отдельных членов из прогностической совокупности в практике долгосрочного прогноза погоды отсутствует. В настоящее время решением проблемы является составление вероятностного прогноза созревания подсолнечника. Чтобы получить прогноз вероятности, для каждого узла в сетке в выбранной области и выбранной дате вычисляется соотношение членов ансамбля,

в которых сумма эффективных температур достигла значения, при котором происходит созревания культуры, к общему количеству членов ансамбля.

В каждом узле сетки отмечают процент тех членов ансамбля, суммы эффективных температур, в которых достигли на выбранную дату пороговой величины. По полученным данным строятся карты вероятности членов ансамбля, достигших на выбранную дату пороговой суммы.

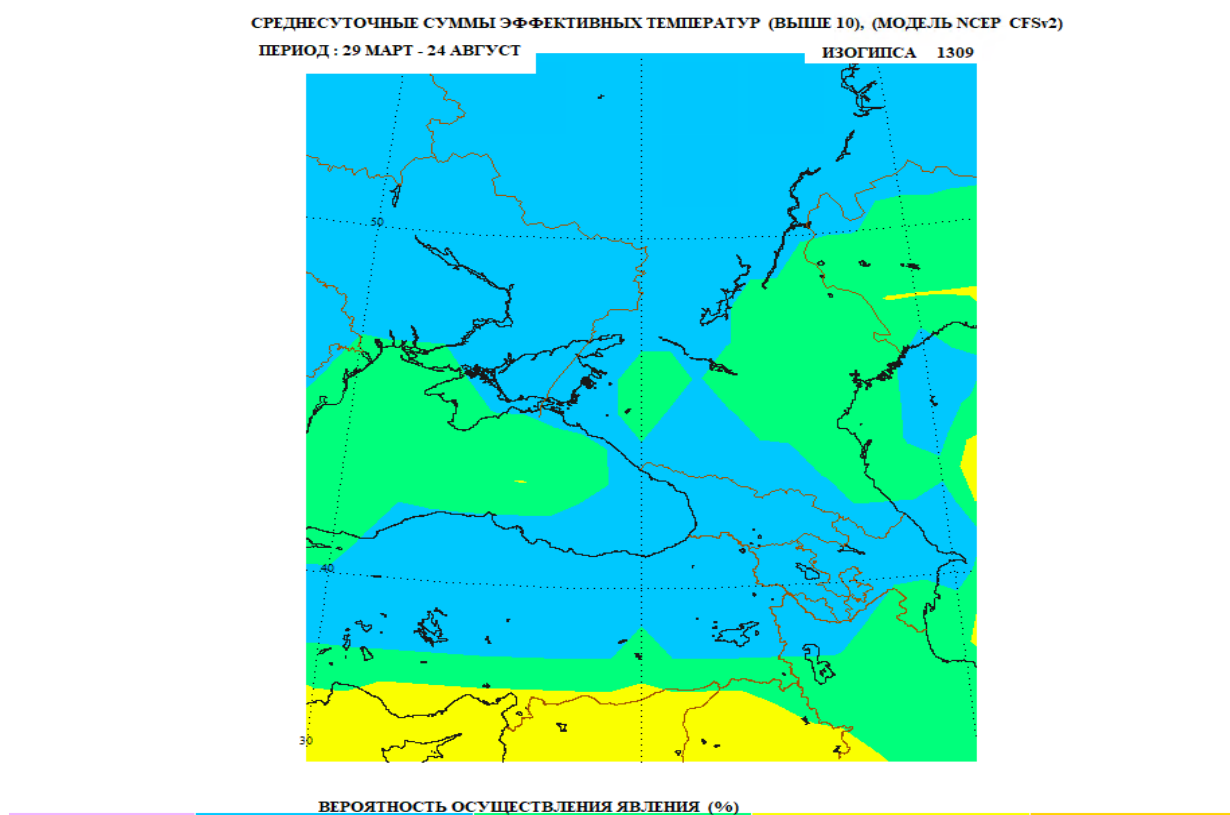


Рис.5.2.5 Карта превышения порога созревания в эффективной температуре на станции Ростов-на-Дону

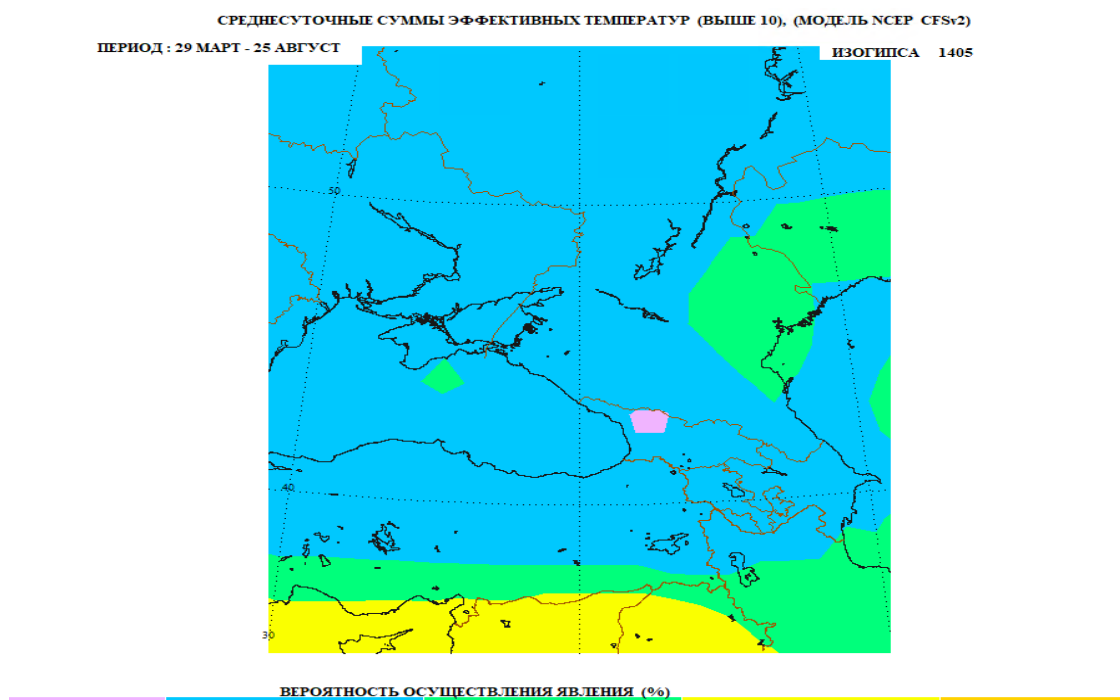


Рис. 5.2.6 Карта превышения порога созревания в эффективной температуре
на станции Цимлянск

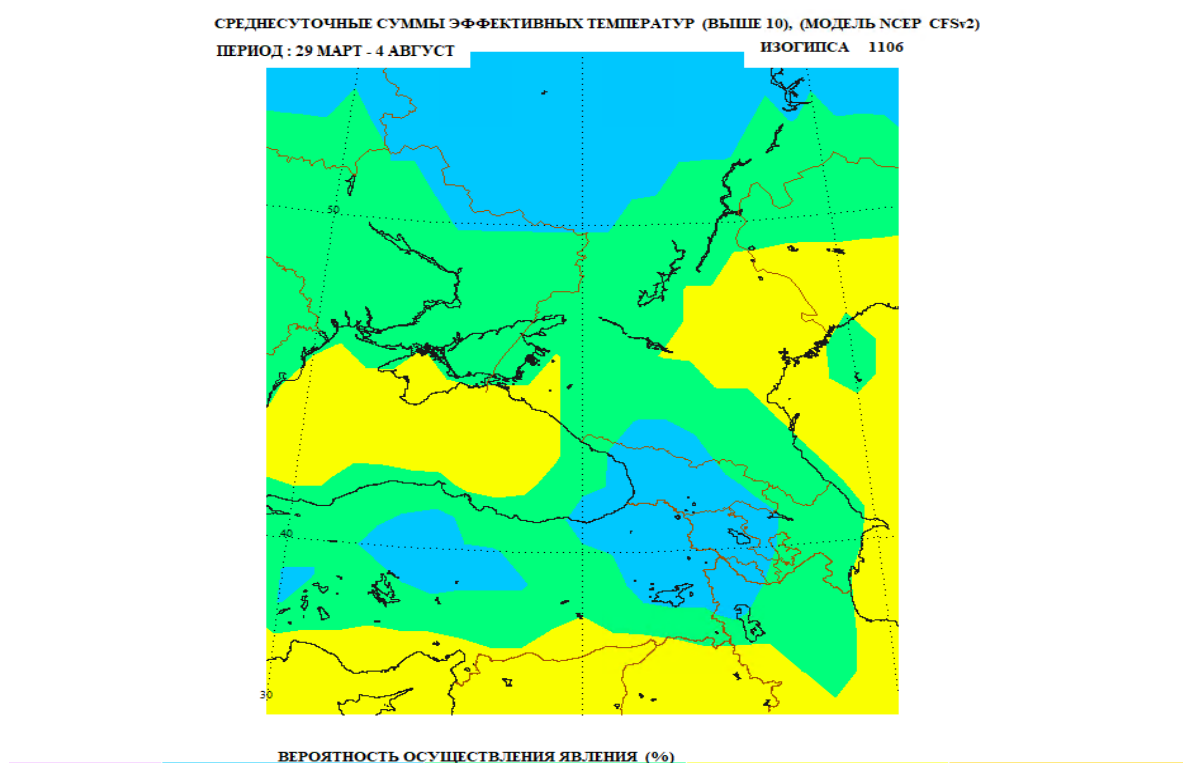


Рис.5.2.7 Карта превышения порога созревания в эффективной температуре
на станции Чертково

На рисунках 5.2.5-5.2.7 показаны карты вероятности превышения порога эффективных температур на трех станциях Ростовской области. Карта показывает, с какой вероятностью прогнозируется созревание подсолнечника на определенную дату.

Вероятность созревания подсолнечника на станции Ростов-на-Дону на 24 августа 2021 года составила 20-40%. То есть из 28 членов ансамбля примерно 11 членов показали, что сумма эффективных температур достигнет 1300°C и произойдет созревание культуры. С такой же вероятностью будет происходить созревания подсолнечника на станции Цимлянск. С вероятностью 40-60%, что составляет примерно 12-17 членов ансамбля из 28, ансамблевый прогноз указывает, что созревания подсолнечника произойдет на станции Чертково.

Таблица 5.2.1- Результаты прогноза дат созревания подсолнечника по ансамблевому прогнозу и фактическим наблюдениям.

29.03.2021	Фактические данные		Прогностические данные (ансамблей)	
Станции	Суммы эффективных температур t(°C)	Дата	Суммы эффективных температур t(°C)	Дата
Ростов-на-Дону	1444	30.08.2021	1300	24.08.2021
Цимлянск	1466		1400	25.08.2021
Чертково	1270		1100	04.08.2021

Ансамблевый прогноз указывает на созревание подсолнечника на станциях Ростов-на-Дону и Цимлянск на 24-25 августа, что соответствует примерному фактическому созреванию культуры 30 августа 2021 года. На станции Чертково дата созревания подсолнечника по ансамблевому прогнозу

приходится на начало августа, а по фактическим данным приходится на конец августа.

Прогноз созревания урожая на 2022 год.

Дата разработки прогноза NCEP CFS v2 была 4 апреля 2022 года. Прогноз суммы эффективных температур составлялся на период до августа 2022 года включительно. Из ансамбля прогноза было получено и использовалось для расчетов сумм эффективных температур 28 членов ансамбля. В связи с тем, что дата прогноза еще не наступила, то верифицировать прогноз пока невозможно.

Как уже было отмечено для предыдущего прогноза, для созревания подсолнечника в Ростовской области необходимо, чтобы были накоплены следующие суммы эффективных температур - на станциях Ростов-на-Дону 1444 °С, Цимлянск 1466 °С, Чертково 1270°С.

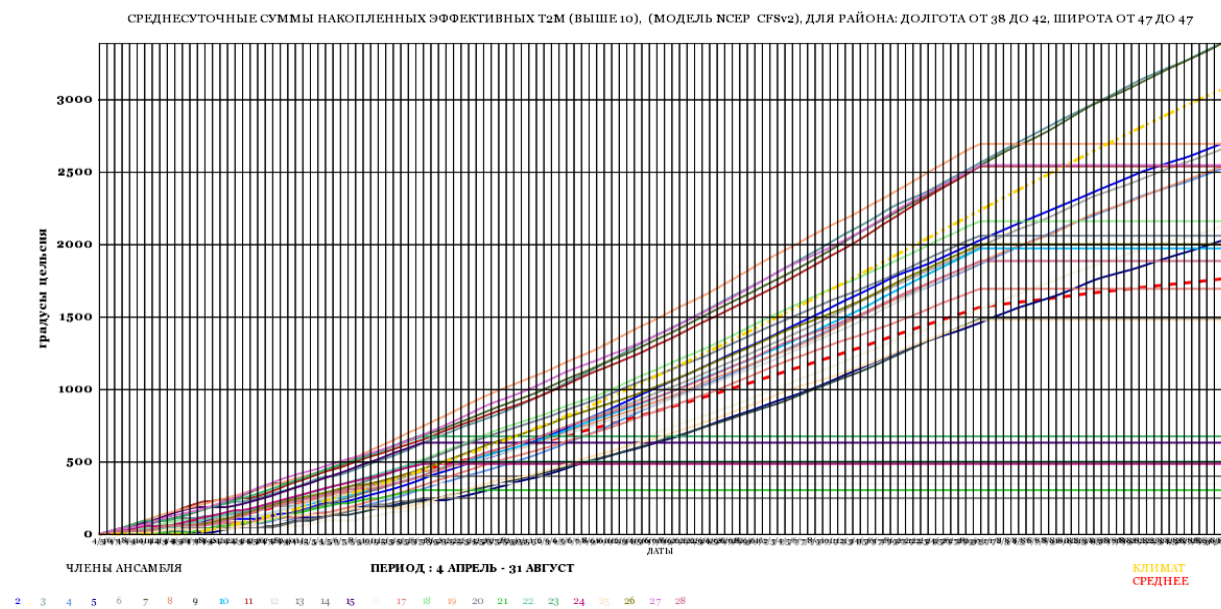


Рис. 5.2.8 Прогностический график, состоящий из членов ансамблей накопленных эффективных температур и их среднего.

На рисунке 5.2.8 показан прогностический график ансамблей накопленных эффективных температур на 2022год. По горизонтали на графике показана - временная шкала, по вертикали - накопленные суммы эффективных температур ($^{\circ}\text{C}$). Красная пунктирная линия показывает среднее по ансамблю. Из прогностического графика видно, что накопленные по среднему значению ансамбля суммы эффективных температур, достигают значения 1444°C на станции Ростов-на-Дону к 1 августа 2022г, на станции Цимлянск 1466°C достигают значения к 2 августа 2022, на станции Чертково (1270°C) - 19 июля 2022 года.

Таким образом, в соответствии с прогнозом по среднему значению по ансамблю, наиболее вероятным периодом созревания подсолнечника является конец июля начало августа.

На картах среднесуточных сумм эффективных температур можно увидеть распределение накопленных эффективных температур по пространству. Для трех станции Ростовской области на момент прогноза построены карты накопленных эффективных температур. Карты представлены на рисунках 5.2.9-5.2.11.

СРЕДНЕСУТОЧНЫЕ СУММЫ ЭФФЕКТИВНЫХ ТЕМПЕРАТУР (ВЫШЕ 10), (МОДЕЛЬ NSCF)
 ПЕРИОД : 4 АПРЕЛЬ - 1 АВГУСТ

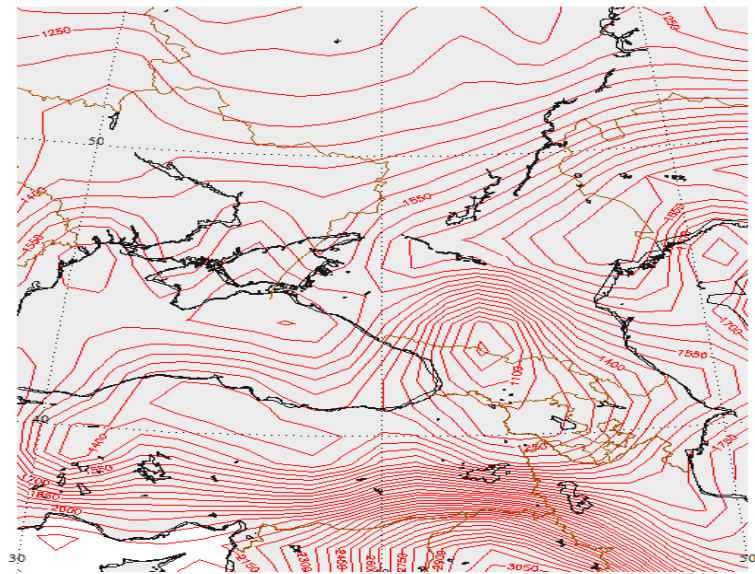


Рис.5.2.9 Прогностическая карта среднесуточных накопленных эффективных температур на дату созревания подсолнечника по району станции Ростов-на-Дону

СРЕДНЕСУТОЧНЫЕ СУММЫ ЭФФЕКТИВНЫХ ТЕМПЕРАТУР (ВЫШЕ 10), (МОДЕЛЬ NSCF CFSv2)
 ПЕРИОД : 4 АПРЕЛЬ - 2 АВГУСТ

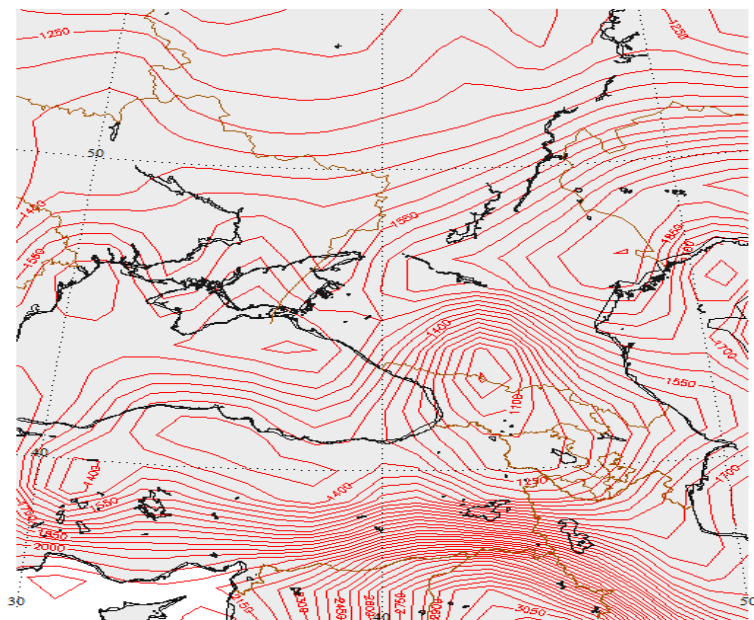


Рис.5.2.10 Прогностическая карта среднесуточных накопленных эффективных температур на дату созревания подсолнечника по району станции Цимлянск

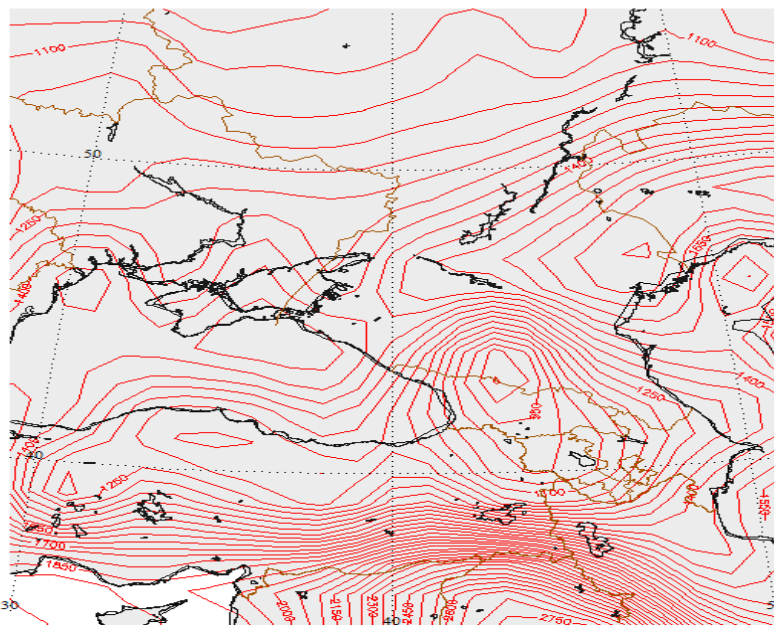


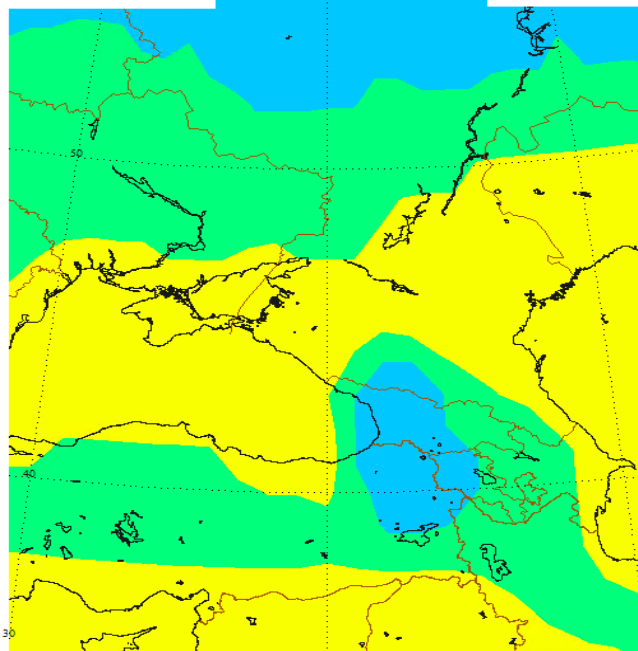
Рис.5.2.11 Прогностическая карта среднесуточных накопленных эффективных температур на дату созревания подсолнечника по району станции Чертково

На рисунках 5.2.2-5.2.4 показаны прогностические карты накопленных эффективных температур на территории Ростовской области на 2022 год. По этим картам можно, спрогнозировать, сколько эффективных температур накопилось на дату прогноза. На дату 1 августа 2022 года сумма эффективных температур на станции Ростов-на-Дону достигает 1550 °С. На станции Цимлянск сумма эффективных температур на 2 августа 2022 года составляет 1650°С. А к 19 июня 2022 года. на станции Чертково было накоплено 1275°С .

По полученным данным строятся карты вероятности членов ансамбля, достигших на выбранную дату пороговой суммы.

СРЕДНЕСУТОЧНЫЕ СУММЫ ЭФФЕКТИВНЫХ ТЕМПЕРАТУР (ВЫШЕ 10), (МОДЕЛЬ NCER CFSv2)
 ПЕРИОД : 4 АПРЕЛЬ - 1 АВГУСТ

ИЗОГИССА 1533

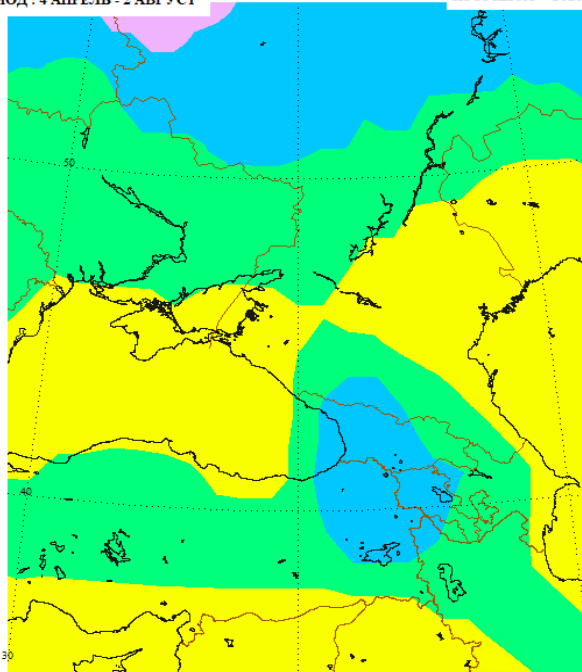


ВЕРОЯТНОСТЬ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ЯВЛЕНИЯ (%)

Рис.5.2.12 Карта превышения порога созревания в эффективной температуре
 на станции Ростов-на-Дону

СРЕДНЕСУТОЧНЫЕ СУММЫ ЭФФЕКТИВНЫХ ТЕМПЕРАТУР (ВЫШЕ 10), (МОДЕЛЬ NCER CFSv2)
 ПЕРИОД : 4 АПРЕЛЬ - 2 АВГУСТ

ИЗОГИССА 1625



ВЕРОЯТНОСТЬ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ЯВЛЕНИЯ (%)

Рис.5.2.13 Карта превышения порога созревания в эффективной температуре
 на станции Цимлянск

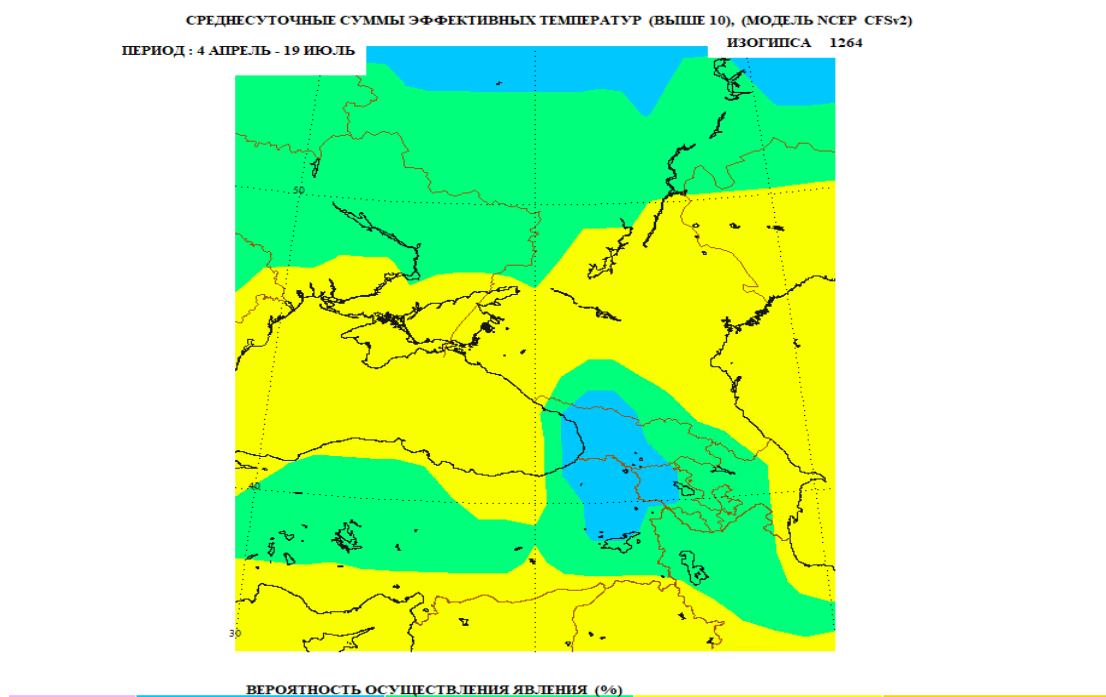


Рис.5.2.14 Карта превышения порога созревания в эффективной температуре на станции Чертково

На рисунках 5.2.12-5.2.14 показаны карты вероятности превышения порога эффективных температур на трех станциях Ростовской области. Карта показывает, с какой вероятностью прогнозируется созревание подсолнечника на определенную дату.

Вероятность созревания подсолнечника на станции Ростов-на-Дону на 1 августа 2022 года составила 40-60%. То есть из 28 членов ансамбля примерно 12-17 членов показали, что сумма эффективных температур достигнет 1550°C и произойдет созревание культуры. С такой же вероятностью будет происходить созревания подсолнечника на станции Цимлянск (1650°C) и Чертково (1275°C).

Таблица 5.2.2- Результаты прогноза дат созревания подсолнечника по ансамблевому прогнозу и фактическим наблюдениям

04.04.2022	Фактические данные		Прогностические данные	
Станции	Суммы эффективных температур $t(^{\circ}\text{C})$	Дата	Суммы эффективных температур $t(^{\circ}\text{C})$	Дата
Ростов-на-Дону	1444		1550	01.08.2022
Цимлянск	1466		1650	02.08.2022
Чертково	1270		1275	19.07.2022

Верифицировать прогноз созревания подсолнечника на июль-август 2022 года невозможно, так как фактических данных наблюдений пока еще нет. Спрогнозированные даты и накопленные прогностические эффективные температуры представлены на таблице 5.2.2.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе была изучена возможность уточнения долгосрочного прогноза созревания подсолнечника на Ростовской области на основе использования данных современных ансамблевых подходов численного прогноза и синоптического прогноза.

По синоптическому методу долгосрочного прогноза, наступление дат созревания подсолнечника приходится на начало августа. По фактическим данным наблюдений созревание наступает в конце августа - начале сентября. Есть несколько лет (2020,2010,2008,2006), где ошибка прогноза не большая, и можно считать, что прогноз для этих лет оправдывается. Можно предположить, что более точного прогноза дат созревания подсолнечника требуется привлечение информации об увлажнении.

Прогноз созревания подсолнечника по эффективным температурам рассчитанным с помощью численного метода долгосрочного прогноза за 2021 и 2022 годы.

- Ансамблевый прогноз указывает на созревание подсолнечника на станциях Ростов-на-Дону и Цимлянск на 24-25 августа, что соответствует примерному фактическому созреванию культуры 30 августа 2021 года. На станции Чертково дата созревания подсолнечника по ансамблевому прогнозу приходится на начало августа, а по фактическим данным приходится на конец августа.
- Из 28 членов ансамбля, прогноз по 4 членам ансамбля оказался наиболее близким к фактической дате созревания для 2021 года.
- Прогноз на 2022 год невозможно верифицировать, так как отсутствуют фактические даты созревания подсолнечника. Прогноз по среднему ансамблю прогнозирует созревание подсолнечника в 2022 году на конец июля на начало августа.

Выводы:

- Изучены условия вегетации подсолнечника и рассмотрены разные методы долгосрочного прогноза созревания подсолнечника;
- Систематизированы исходные данные за период с 15 апреля до даты созревания подсолнечника 1990 - 2020 годы;
- Подтверждена возможность использования данных реанализа и их высокая связность с данными наблюдений на метеорологических станциях. Коэффициенты корреляции между данными реанализа и наблюдениями на трех станциях изменяются в пределах от 0,88 до 0,91;
- Показана возможность использования синоптического метода долгосрочного прогноза погоды для расчета эффективных температур;
- По синоптическому методу долгосрочного прогноза, наступление дат созревания подсолнечника приходится на начало августа. По фактическим данным наблюдений созревание наступает в конце августа - начале сентября. Средняя ошибка прогноза составляет 25 дней;
- Показано, что для уточнения прогноза созревания подсолнечника по синоптическому методу необходимо дополнительно использовать данные об увлажнении;
- Количество прогнозов эффективных температур по численному методу недостаточно. Ошибка одного составленного прогноза составляет на станциях Цимлянск и Ростов-на-Дону 4-5 дней, а на станции Чертково 26 дней;
- Для прогноза созревания подсолнечника необходимо привлекать карты сумм эффективных температур на выбранную дату, что позволит уточнять районы, в которых произойдет созревание подсолнечника;
- Для прогноза созревания подсолнечника необходимо привлекать карты вероятности достижения эффективными температурами необходимого

порога значений, что позволит уточнять вероятность, с которой возможно осуществиться созревание в каждом из районов;

- Используя члены ансамбля с максимальной и минимальной суммами эффективных температур возможно, определить временные границы, в пределах которых произойдет созревание подсолнечника. Это верно, как в случае синоптического, так и в случае численного методов долгосрочного прогноза.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Страшная А.И. Агрометеорологические условия и прогнозирование урожайности семян подсолнечника в Центральном федеральном округе/ А.И. Страшная, О.В. Береза, П.С. Кланг - Гидрометеорологические исследования и прогнозы. 2019. № 3 (373). С. 121-138
2. Руководящие указания по системам ансамблевого прогнозирования и прогнозированию. Всемирная метеорологическая организация. [Текст]: Дос. ВМО-№ 1091- 2012. - М.: Издание, 2012. - 29 с.
3. Цепелев В.Ю. Лекции по долгосрочным прогнозам погоды, - РГГМУ.
4. Цепелев В.Ю. Ансамблевый подход при составлении долгосрочных метеорологических прогнозов, разработанных синоптическими методами/ Цепелев В.Ю., Хан В.М. - Сборник трудов Международной научной конференции Исследование изменений климата с использованием методов классификации режимов циркуляции атмосферы. / Отв. ред. В.А Семенов, Н.К. Кононова. Российская академия наук, институт географии, Русское географическое общество, Московское городское отделение, Комиссия метеорологии и климатологии. 16-18 мая 2016 г., ISBN 978-5-89658-044-7, УДК 551.509.331., стр. 53-57.
5. Цепелев В.Ю. Вероятностное представление долгосрочных метеорологических прогнозов, разработанных синоптическими методами/ В.Ю. Цепелев, В.М. Хан - Метеорология и гидрология. 2014, №4. С.17-31. **ISSN: 1068-3739 Digital Object Identifier (DOI) 10.3103/S1068373915040020**
6. Агроклиматические ресурсы Ростовской области. – Ленинград: Гидрометеиздат ,1972.-250 с. 10с. 135с
7. Гулинова Н.В. Методы агроклиматической обработки наблюдений / Н.В.Гулинова.- Ленинград: Гидрометеиздат, 1974.-150 с.
8. Лосев А.П. Агрометеорология / А.П.Лосев, Л.Л. Журина.- Москва: Колосс,2003.-300с.

9. Кацко И. А. Статистические методы обработки данных : практикум / И. А. Кацко, А. М. Ляховецкий, К. Н. Горпинченко, Ю. Н. Захарова Е. В. Кремянская, А. Е. Жминько – Краснодар : КубГАУ, 2017. – 89 с.

Приложение А

Таблица А.1- Суммы эффективных температур на трех станциях между среднесуточными фактическими данными наблюдений и данными реанализа

Год	Дата созревания подсолнечника	Σ эфф-х t-p (°C) Ростов-на-Дону		Σ эфф-х t-p (°C) Цимлянск		Σ эфф-х t-p (°C) Чертково	
		Станция	Реанализ	Станция	Реанализ	Станция	Реанализ
2020	20 августа	1320,9	1320,3	1310,4	1411,5	1188,1	1087,6
2019	27 августа	1550	1515,9	1550,9	1569,6	1291,1	1221,8
2018	27 августа	1647,3	1564,9	1633,6	1637,3	1359,7	1263,7
2017	4 сентября	1507,2	1526,1	1540,1	1629,3	1265,7	1266,2
2016	28 августа	1507,1	1553,3	1582,6	1740,5	1343,7	1284,9
2015	12 сентября	1634,4	1600,9	1728,1	1726,5	1476,5	1287,8
2014	5 сентября	1679,3	1645,8	1726,4	1838,1	1462,6	1384,1
2013	21 августа	1507,8	1430	1541,6	1507,5	1377,8	1226,6
2012	13 сентября	1852	2173,2	1911,5	2330,4	1661,6	1720,1
2011	10 сентября	1646	1843,3	1688,6	2004,9	1475,6	1414,4
2010	22 августа	1642,4	1918,3	1652,1	2085,3	1591,6	1640,3
2009	14 сентября	1601,8	1857,9	1561,2	1997,8	1377,9	1419,8
2008	22 августа	1318,5	1540,2	1276,8	1708	1061	1164,6
2007	3 сентября	1759,7	1938,9	1737,3	2105,9	1452,1	1548,4
2006	11 сентября	1564,6	1836,8	1597,9	2055,3	1344	1348,6
2005	24 августа	1328,1	1572,3	1387	1755,1	1190,7	1112,9
2004	3 сентября	1198,3	1670,1	1281,1	1974,9	1080,4	1310,1
2003	11 сентября	1343,6	1822,1	1399,1	1997,1	1165,2	1351,3
2002	24 августа	1335,1	1675	1347,3	1703,9	1214,9	1393,9
2001	6 сентября	1374,5	1874,7	1477,2	2031,4	1285,6	1461,7
2000	2 сентября	1334,8	1636,8	1402,9	1812,4	1143	1254,1
1999	27 августа	1381,6	1655,7	1425,5	1728,2	1266,7	1276,1
1998	23 августа	1400,6	1715,9	1420,7	1916,9	1227,8	1448,3
1997	4 сентября	1276,6	1778,3	1111,4	2015,5	1137,1	1480,6
1996	24 августа	1421,1	1675,3	1384,2	1919,6	1308,6	1433,4
1995	28 августа	1413,5	1717,9	1473,4	2038,7	1312,3	1368,8
1994	22 августа	1177,6	1403,1	1176,3	1552	977,3	968,1
1993	8 сентября	1227,5	1650,8	1223,6	1797,6	1040,9	1191,6
1992	29 августа	1165	1574,1	1203,8	1645,4	1061,8	1291,7
1991	2 сентября	1462,9	1775,2	1528,1	2064,9	1310,6	1513,8
1990	26 августа	1185,1	1522	1180,6	1617,9	947	1106,8
	Ср. значение	1444,0	1676,9	1466,5	1836,1	1270,9	1330,4