



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

Кафедра инженерной гидрологии

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)

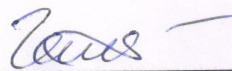
На тему «Оценка изменчивости поливных норм сельскохозяйственных
полей в условиях меняющегося климата»

Исполнитель Бабий Екатерина Михайловна
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель к.т.н., доцент
(ученая степень, ученое звание)

Хаустов Виталий Александрович
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой


(подпись)

к.т.н., доцент
(ученая степень, ученое звание)

Гайдукова Екатерина Владимировна
(фамилия, имя, отчество)

«1» июня 2026г.

Санкт-Петербург
2026

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	2
ГЛАВА 1. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ПОЛОЖЕНИЕ.....	5
1.1. Климат.	6
1.2. Осадки.....	6
1.3. Рельеф.	7
1.4. Площадь сельскохозяйственных полей.....	8
1.5. Исходные данные.....	12
ГЛАВА 2. МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АППАРАТ.....	13
2.1. Переход температуры через 0°C.	15
2.2. Переход температур через +5°C.....	17
2.3. Переход температур через +8°C.....	18
ГЛАВА 3. РАСЧЕТ ПОЛИВНОЙ НОРМЫ ДЛЯ РЕТРОСПЕКТИВНОГО ПЕРИОДА.....	22
3.1. Переход температуры через 0°C.	22
3.2. Переход температур через +5°C.....	24
3.3. Переход температур через +8°C.....	25
3.4. Расчет поливной нормы	26
3.5. Тенденция изменений поливных норм.	30
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	39
ИСТОЧНИКИ	40
ПРИЛОЖЕНИЕ.	41

ВВЕДЕНИЕ.

Агроклиматические показатели в России демонстрируют ряд тенденций, связанных с изменением климата. Эти изменения влияют на теплообеспеченность, влагообеспеченность и продолжительность вегетационного периода, что, в свою очередь, сказывается на сельском хозяйстве.

Теплообеспеченность.

Наблюдается рост теплообеспеченности сельскохозяйственных культур. Сумма активных температур (САТ) - совокупность среднесуточных температур воздуха за период, когда они устойчиво превышают $+10^{\circ}\text{C}$ - увеличивается. Это способствует расширению ареалов выращивания теплолюбивых культур и увеличению продолжительности вегетационного периода.

По данным на 2025 год, скорость роста осреднённой по России среднегодовой температуры составляет $+0,52^{\circ}\text{C}$ за 10 лет. При этом зимой потепление происходит быстрее, чем летом. В степной зоне ЕЧР зимой температура воздуха повышается с большей скоростью, чем на северо-востоке ЕЧР, а летом, наоборот, на северо-востоке потепление идёт с большей скоростью.

В перспективе до 2030 года ожидается дальнейшее повышение зимних температур, что улучшит условия перезимовки сельскохозяйственных культур.

Влагообеспеченность

Тенденции в распределении осадков неоднородны по регионам. В некоторых районах наблюдается рост весенних осадков, что частично компенсирует негативное воздействие летнего потепления. По данным за период 1976–2020 гг., увеличение суммарного количества осадков в весенний период (от 3 до 9 мм за десятилетие) отмечалось на всей рассматриваемой территории России.

Однако в степной зоне России и Казахстана преимущественно в летний период наблюдается тенденция к иссушению. В южных регионах ЕЧР уменьшается количество осадков, что усиливает засушливость. Выраженная тенденция к снижению уровня увлажнённости наблюдается на Европейской части, в центрально-чернозёмных областях и на юге Приволжского ФО.

В то же время глобальное потепление с 1976 по 2023 гг. не привело к масштабному росту засушливости климата на территории Сибири и Дальнего Востока.

Продолжительность вегетационного периода

Отмечаются рост продолжительности вегетационного периода и увеличение суммы эффективных температур. Это особенно заметно в Сибири, где лето становится более длинным, что улучшает условия для вегетации сельхозкультур.

Другие тенденции

- Сокращение периода с устойчивым снежным покровом. К середине XXI века это может достичь месяца, особенно на юге европейской части России и Сибири, на Дальнем Востоке.
- Увеличение числа экстремальных явлений. Ожидается рост случаев с осадками большой интенсивности, а также повторяемости гроз, градов, паводков.
- Изменение условий увлажнения. Прогнозируется рост количества осадков в холодный период года и сокращение в тёплый.

Региональные различия

- Южные регионы (Северный Кавказ, Центрально-Чернозёмный район). Здесь наблюдается усиление засушливости, что негативно сказывается на урожайности некоторых культур.
- Сибирь и Дальний Восток. В этих регионах отмечается улучшение условий для выращивания зерновых культур за счёт удлинения вегетационного периода.

- Северо-Западный, Центральный, Приволжский и Дальневосточный федеральные округа. По прогнозам, до 2030 года здесь ожидается рост урожайности зерновых культур благодаря климатическим изменениям.

Последствия для сельского хозяйства

Изменения агроклиматических показателей влияют на урожайность сельскохозяйственных культур. В прошлом наблюдался положительный эффект от климатических изменений для урожайности зерновых, подсолнечника и сахарной свёклы. Однако в южных регионах усиление засушливости может снизить урожайность.

В долгосрочной перспективе изменение климата может открыть новые возможности для выращивания культур в ранее нехарактерных регионах (например, выращивание абрикосов и персиков в Подмосковье).

Для адаптации к изменениям климата аграриям рекомендуется внедрять новые сорта растений, применять влагосберегающие технологии и совершенствовать системы прогнозирования погоды.

ГЛАВА 1. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ПОЛОЖЕНИЕ.

Положение Башкирской АССР (с 1990 года — БАССР, с 1992 года — Республика Башкортостан) отличается уникальным сочетанием равнинных и горных ландшафтов, так как республика располагалась на стыке Европы и Азии. Она занимала часть восточной окраины Восточно-Европейской равнины (Предуралья), горную полосу Южного Урала и возвышенно-равнинное Зауралье.



Рисунок 1. Территория Башкирии.

1.1. Климат.

На территории Башкортостана климат континентальный, что обусловлено удаленностью от океанов и экранирующим влиянием Уральских гор. Зима умеренно холодная и продолжительная, лето тёплое. Переходные сезоны короткие. Наблюдаются регулярные заморозки, на юге типичны засухи и суховеи. Средняя температура января на равнинах Предуралья от -14 до -16 °С, в Зауралье от -16 до -17 °С, в горах от -14 до -17 °С. Средняя температура июля в Предуралье 17–19 °С, в Зауралье 18–20 °С, в горах 9–10 °С. Годовые суммы осадков увеличиваются с востока на запад и с высотой: от 300–400 мм в Зауралье до 500–700 мм в Предуралье и до 750–800 мм в горах.

1.2. Осадки.

Распределение осадков по территории республики крайне неравномерно и зависит от рельефа. Среднегодовое количество осадков варьируется от 300 мм в восточных районах (Зауралье) до 700 мм на западных склонах Южного Урала. В среднем по республике выпадает 540–560 мм осадков в год с коэффициентом вариации 18–20%, что указывает на умеренную межгодовую изменчивость.

За теплый период (апрель–октябрь) выпадает 365–385 мм осадков, что составляет 67–70% от годовой суммы. Максимальное месячное количество осадков приходится на июль (68–72 мм), минимальное – на февраль–март (28–35 мм). Внутригодовое распределение осадков существенно отличается от потребностей сельскохозяйственных растений в воде, особенно в критические фазы развития, что обуславливает необходимость орошения в засушливые годы.

На западных наветренных склонах Южного Урала выпадает 640–700 мм осадков в год, тогда как в Зауралье, находящемся в «дождевой тени», количество осадков снижается до 300–500 мм. Около 60–70% осадков

выпадает в теплый период года, причем максимум часто приходится на летние месяцы в виде интенсивных ливней. Статистический анализ выявляет тенденцию к росту интенсивности ливневых осадков при сокращении числа дней с морозящими осадками, что приводит к увеличению поверхностного стока и снижению эффективности естественного увлажнения почвы.

Испаряемость территории за теплый период составляет 680-720 мм, что существенно превышает сумму осадков за этот же период. Дефицит влаги за вегетационный период достигает 280-320 мм, что создает предпосылки для развития почвенной засухи.

1.3. Рельеф.

Разнообразие рельефа Башкортостана связано с его географическим положением и тектоническим строением территории.

Западная часть (Предуралье) занята Восточно-Европейской равниной с абсолютными высотами 180-240 м над уровнем моря. Территория представляет собой слабоволнистую равнину с общим уклоном поверхности в южном и юго-западном направлениях, осложненную системой балок и долин малых рек. Здесь выделяются Бугульминско-Белебеевская возвышенность (высоты до 450-470 м) и Уфимское плато, сильно расчлененные речными долинами и овражно-балочной сетью. Перепады высот в пределах водораздельных пространств не превышают 15-20 м, что создает благоприятные условия для механизированной обработки почвы.

Восточная часть занята горной системой Южного Урала, вытянутой с севера на юг на протяжении более 300 км. Горная страна состоит из системы параллельных хребтов (Уралтау, Зигальга, Нургуш, Ирмель, Ямантау и др.) и широких межгорных впадин (Уфимское нагорье, Юрюзанско-Айская долина). Высшая точка республики и всего Южного Урала – гора Ямантау (1640 м над уровнем моря). Второй по высоте массив – гора Большой Ирмель (1582 м). Горы служат естественным климаторазделом и барьером для воздушных масс.

Геоморфологическое строение территории определяется ее положением в пределах древней аллювиальной равнины, сформированной в среднем плейстоцене флювиогляциальными и аллювиальными отложениями. В современном рельефе выделяются несколько генетических уровней: водораздельные плато (около 60% территории), пологие склоны с уклонами 0,01-0,02 (около 30%) и днища балок с террасовыми комплексами речных долин (около 10%)

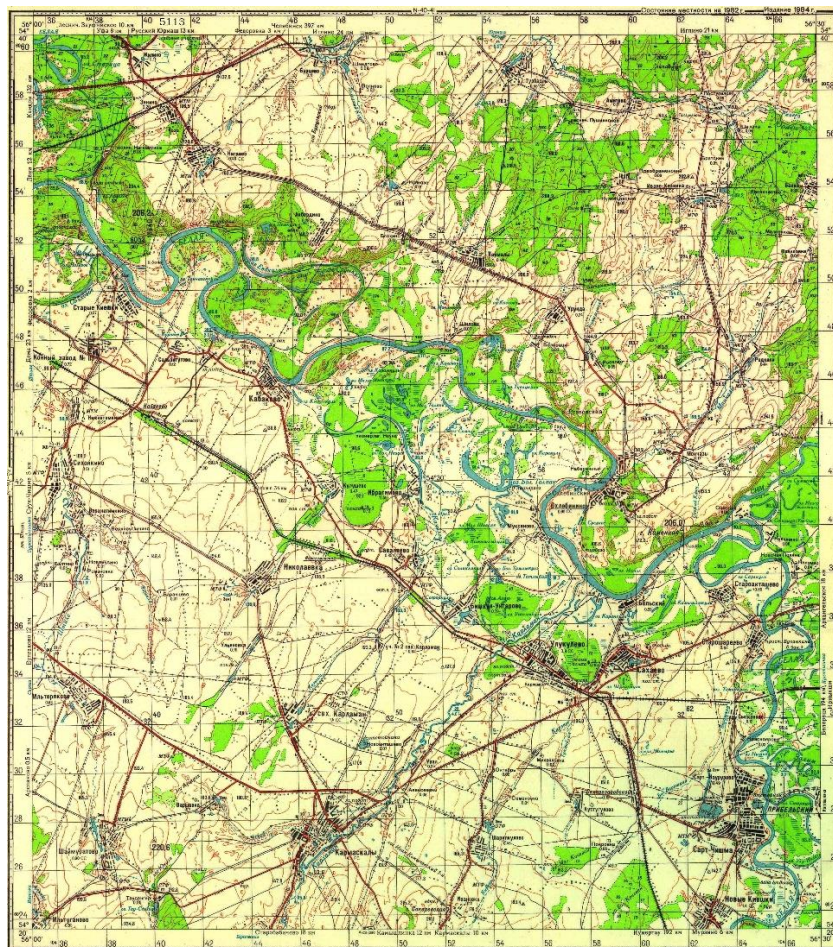


Рисунок 2. Топографическая карта.

1.4. Площадь сельскохозяйственных полей.

Башкирская АССР обладала мощным аграрным потенциалом, однако из-за сложного рельефа и природной зональности (от тайги на севере до степей на юге) земли распределялись неравномерно.

Общая площадь сельхозугодий составляла около 7 млн га (почти 50% от общей территории республики, которая равнялась 143,6 тыс. км²). Сюда

входили не только пашня, но и пастбища, и сенокосы (особенно обширные в горных и степных районах).

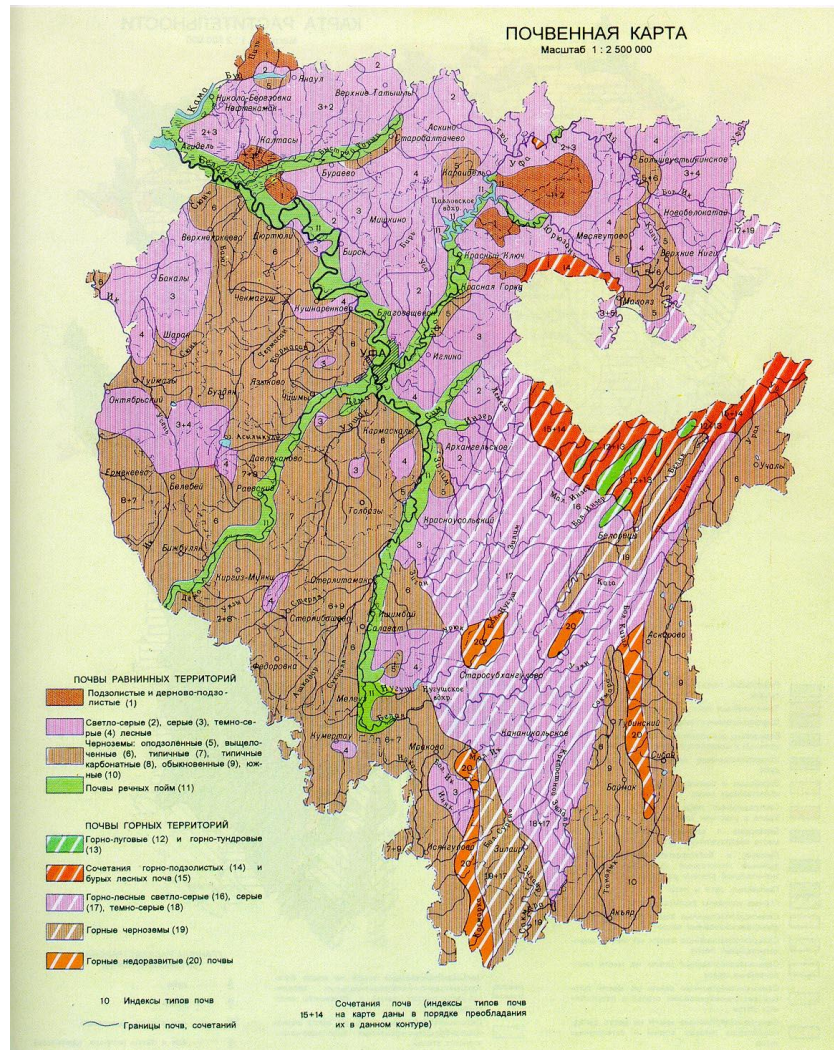


Рисунок 3. Почвенная карта.

На почвенной карте показано:

- Коричневым цветом - черноземы (основные сельскохозяйственные угодья на западе и юге)
- Фиолетовым/розовым - серые лесные почвы (лесостепная зона)
- Зеленым - горные почвы (в восточной горной части)
- Оранжевым с полосами - горнолесные почвы Южного Урала

Участки под картофель размещаются на выровненных водораздельных пространствах. Площадь опытных участков составляет 2,5-3,0 га, что обеспечивает репрезентативность результатов наблюдений. Почвы участков

относятся к чернозему выщелоченному среднемошному среднегумусному тяжелосуглинистому.

Глубина пахотного слоя на участках под картофель составляет 28-30 см, что обеспечивается ежегодной глубокой вспашкой. Плотность сложения пахотного слоя после предпосевной обработки составляет 1,15-1,20 г/см³, что близко к оптимальным значениям для клубнеобразующих культур (1,10-1,25 г/см³). Запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы к моменту посадки картофеля (первая декада мая) составляют 170-190 мм, что соответствует 80-88% от наименьшей влагоемкости. Грунтовые воды залегают на глубине 8-12 м и не оказывают влияния на водный режим корнеобитаемого слоя.

Участки под яровую пшеницу размещаются на пологих склонах южной и юго-западной экспозиции с уклоном 0,003-0,008. Почвы представлены черноземом типичным маломощным среднегумусным среднесуглинистым. Содержание гумуса в пахотном слое 5,0-5,6%, мощность гумусового горизонта 45-55 см, рН солевой вытяжки 6,2-6,5. Обеспеченность подвижным фосфором средняя (140-170 мг/кг), обменным калием средняя (110-140 мг/кг). Механический состав более легкий по сравнению с участками под картофель, содержание физической глины 45-50%.

Глубина пахотного слоя на участках под яровую пшеницу составляет 25-27 см. Плотность сложения пахотного горизонта после предпосевной обработки 1,22-1,28 г/см³, что соответствует оптимальным значениям для зерновых культур (1,20-1,35 г/см³). Наименьшая влагоемкость метрового слоя почвы составляет 340-360 мм, влажность завядания 170-185 мм, запасы доступной влаги 170-190 мм. К моменту посева яровой пшеницы (третья декада апреля) запасы продуктивной влаги в метровом слое составляют 155-175 мм, или 75-85% от НВ.

Агротехника возделывания картофеля на участках включает осеннюю вспашку на глубину 28-30 см с внесением органических удобрений (40 т/га навоза) под зяблевую обработку один раз в три года. Весенняя предпосевная обработка включает культивацию, выравнивание и нарезку гребней. Посадка

картофеля проводится в первой декаде мая клубнями массой 60-80 г, норма посадки 50-55 тыс. клубней на гектар. Глубина посадки 8-10 см, схема посадки 70×25 см. В процессе вегетации проводятся междурядные обработки, окучивание, защитные мероприятия против болезней и вредителей.

Продолжительность вегетационного периода картофеля составляет 100-110 дней в зависимости от сорта и погодных условий. Критическими фазами развития по отношению к водному режиму являются бутонизация-цветение и активное клубнеобразование, когда коэффициент водопотребления достигает максимальных значений. В эти периоды влажность почвы должна поддерживаться на уровне не ниже 70-75% от НВ в слое 0-50 см. За вегетационный период картофеля проводится 3-5 поливов в зависимости от метеорологических условий года.

Агротехника возделывания яровой пшеницы включает зяблевую обработку почвы на глубину 20-22 см с предварительным лушением стерни на 6-8 см. Весенняя предпосевная обработка включает ранневесеннее боронование для закрытия влаги и предпосевную культивацию на глубину заделки семян (4-6 см). Посев проводится в третьей декаде апреля с нормой высева 5,5-6,0 млн всхожих зерен на гектар, что обеспечивает густоту продуктивного стеблестоя 450-550 колосьев на квадратный метр. Способ посева – рядовой с междурядьями 15 см.

Продолжительность вегетационного периода яровой пшеницы составляет 85-95 дней. Критическим периодом по отношению к влагообеспеченности является фаза выхода в трубку – колошение, когда формируется количество зерен в колосе и закладывается потенциал урожайности. В этот период влажность почвы должна поддерживаться на уровне не ниже 70% от НВ в слое 0-60 см. За вегетационный период яровой пшеницы проводится 2-3 полива в зависимости от условий увлажнения. Прекращение поливов осуществляется за 20-25 дней до уборки для обеспечения нормального созревания и снижения влажности зерна.

Рельеф и почвенные условия участков характеризуются относительной однородностью в пределах каждого поля, что обеспечивает сопоставимость результатов наблюдений за водным режимом и позволяет распространять полученные закономерности на аналогичные территории. Различия в механическом составе и водно-физических свойствах почв под картофелем и яровой пшеницей учитываются при расчете поливных норм путем использования соответствующих параметров влагоемкости и влагопроводности.

1.5. Исходные данные.

В работе использовались агрогидрологические свойства почвы по слоям (от 10 до 100 см), влагозапасы, фазы развития растений, осадки и температура.

Используемый период с 1993 года по 1997 год.

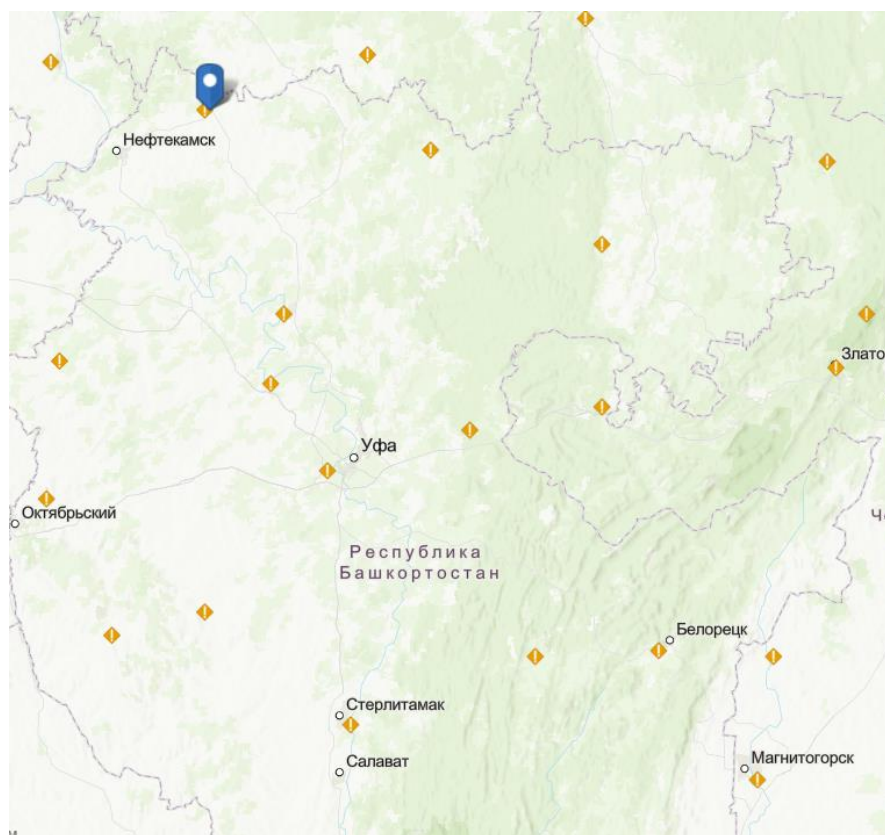


Рисунок 4. Метеостанция Янаул.

ГЛАВА 2. МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АППАРАТ.

Вегетационный период для картофеля считается начавшимся при достижении температуры почвы 8 °С - именно с этого уровня начинается активный рост растения.

Если картофель высаживают проросшими клубнями, рост может начаться раньше - при температуре 4-6 °С, хотя в таких условиях всходы появятся значительно позже (через 30-50 дней).

Разберём подробнее температурные условия по фазам развития:

Пробуждение почек глазков (до всходов):

- минимум: 3-6 °С (рост очень медленный);
- нормально: 7-8 °С (прораствание клубней);
- оптимально: 18-20 °С (всходы появляются на 10-12-й день после посадки).

Рост корней: начинается при температуре не ниже 7 °С.

Появление всходов и развитие ботвы

Оптимальная среднесуточная температура почвы: 17 °С (дневная – около 20 °С, ночная – 12 – 14 °С), рост ботвы прекращается при температуре ниже 7 °С, ботва выдерживает кратковременное понижение температуры почвы до – 1 – 1,5 °С, но не переносит весенних заморозков – 1 – 2 °С (из-за высокого содержания воды – до 75 % и более).

Клубнеобразование.

Наилучшее накопление урожая происходит при умеренных температурах 14-21 °С, замедляется при температуре выше 25 °С, полностью прекращается при 29 – 30 °С.

Крайние температурные пределы.

При выше 42 °С ботва прекращает расти: на дыхание растение расходует больше продуктов ассимиляции, чем накапливает в процессе фотосинтеза, клубни вымерзают при температуре почвы от – 1 до – 2 °С, сумма активных температур

Для полного цикла вегетации важна не только текущая температура, но и накопленная сумма активных температур (сумма среднесуточных температур выше $+10^{\circ}\text{C}$ за период вегетации):

- для ранних и среднеранних сортов: $1000 - 1400^{\circ}\text{C}$;
- для позднеспелых сортов: $1400 - 1600^{\circ}\text{C}$.

Этот показатель помогает планировать сроки посадки и уборки в разных климатических зонах.

Вегетационный период яровой пшеницы начинают отсчитывать с момента появления всходов – а они, в свою очередь, появляются при температуре $4 - 5^{\circ}\text{C}$. Разберём подробнее:

Ключевые температурные отметки:

Прорастание семян возможно уже при $1 - 2^{\circ}\text{C}$, но процесс идёт очень медленно.

Всходы появляются при $4 - 5^{\circ}\text{C}$ - именно эта температура условно считается стартом активной вегетации. Сроки появления всходов зависят от температуры почвы:

- при 5°C всходы появятся примерно через 20 дней;
- при 8°C - через 10 дней;
- при 15°C - уже через 7 дней.

Оптимальная температура для прорастания – $12 - 15^{\circ}\text{C}$.

Благоприятные температуры для разных фаз развития:

- кущение – $10 - 12^{\circ}\text{C}$;
- колошение и молочно-восковая спелость – $16 - 23^{\circ}\text{C}$;
- налив зерна – $22 - 25^{\circ}\text{C}$.

Дополнительные важные параметры вегетационного периода:

Продолжительность. В зависимости от сорта, региона возделывания и погодных условий составляет $85 - 115$ дней (иногда до 120 дней).

Сумма активных температур. Для успешного прохождения всего вегетационного цикла (от всходов до созревания) требуется не менее 1300°C ,

обычно – 1500 – 1750 °С. Этот показатель рассчитывают, как сумму среднесуточных температур выше 10 °С за весь период.

Устойчивость к заморозкам:

- в период прорастания семена переносят кратковременные заморозки до – 13 °С;
- всходы и фаза кущения выдерживают до – 8... - 9 °С;
- во время цветения и налива зерна опасны даже небольшие заморозки – 1... - 2 °С.

Формально вегетационный период стартует при 4 – 5 °С (появление всходов), но для планирования посевных работ ориентируются на более высокую температуру почвы – 5 – 7 °С на глубине заделки семян. Это обеспечивает дружные всходы и снижает риск стресса для растений.

2.1. Переход температуры через 0°С.

Мониторинг и анализ дат устойчивого перехода среднесуточной температуры воздуха через 0°С (весной и осенью), а также характеристика теплого и холодного периодов года.

1. Основная таблица с многолетними данными (1936 – 2025 гг.)

Ежегодные наблюдения почти за 90 лет. Для каждого года рассчитаны следующие показатели:

Весенний переход: Порядковый номер дня в году и календарная дата устойчивого перехода температуры через 0°С весной.

Теплый период: Число дней теплого периода и сумма температур за это время.

Осенний переход: Порядковый номер дня и календарная дата устойчивого перехода через 0°С осенью.

Холодный период: Число дней холодного периода и сумма температур (отрицательные значения) за это время.

Сводные показатели: Общая продолжительность двух смежных периодов (теплого и холодного) и их суммарная температура за год.

2. Статистический анализ (Двухвыборочный F-тест)

В нижней части файла проведена проверка климатических рядов данных на однородность. Используется Двухвыборочный F-тест для дисперсии, который сравнивает два временных периода (1-ый и 2-ый периоды).

Рассчитаны статистики: Среднее значение, Дисперсия, количество наблюдений, степени свободы (df).

Вычислены F-критерий Фишера и односторонний p-уровень значимости $P(F \leq f)$.

Вывод: В таблице присутствует пометка «не однороден». Это означает, что дисперсия (изменчивость) климатических показателей в сравниваемые периоды статистически различается, что может свидетельствовать об изменении климата или смене климатической фазы.

3. Массивы данных для расчетов

После основной таблицы и F-теста идут выгруженные в строку массивы данных по отдельным параметрам за весь период (с 1938 по 2025 год). Они сгруппированы по показателям:

- Число дней теплого периода.
- Число дней холодного периода.
- Суммы температур теплого и холодного периодов (а также их общие суммы).
- Даты устойчивого перехода через 0°C весной и осенью (в виде порядковых номеров дней).

Также присутствуют фрагменты с расчетами разностей между периодами и процентными изменениями (например, 12%, 34%, -14%), что указывает на оценку трендов - насколько изменились показатели во втором периоде по сравнению с первым.

Анализ перехода через 0°C позволяет определить начало и конец периода с условиями для весенних полевых работ, оценить

продолжительность периода без устойчивых морозов и понять, как меняется тепловой режим территории Янаула с течением времени.

2.2. Переход температур через +5°C.

Мониторинг и анализ дат устойчивого перехода среднесуточной температуры воздуха через 5°C (весной и осенью). Этот порог имеет критическое значение для сельского хозяйства, так как именно при температуре выше +5°C начинается активная вегетация растений и весенние полевые работы.

1. Основная таблица с многолетними данными (1936–2025 гг.)

Ежегодные наблюдения почти за 90 лет. Для каждого года рассчитаны следующие показатели:

Весенний переход: Порядковый номер дня в году и календарная дата устойчивого перехода температуры через 5°C весной.

Теплый период: Число дней периода с температурой выше 5°C и сумма температур за это время.

Осенний переход: Порядковый номер дня и календарная дата устойчивого перехода через 5°C осенью.

Холодный период: Число дней холодного периода и сумма температур за это время.

Сводные показатели: Общая продолжительность двух смежных периодов (теплого и холодного) и их суммарная температура за год.

2. Статистический анализ (Двухвыборочный F-тест)

Проведена проверка климатических рядов данных на однородность. Используется Двухвыборочный F-тест для дисперсии, который сравнивает два временных периода (1-ый и 2-ый периоды).

Рассчитаны статистики: Среднее значение, Дисперсия, количество наблюдений, степени свободы (df).

Вычислены F-критерий Фишера и односторонний p-уровень значимости $P(F \leq f)$.

Вывод: В таблице присутствует пометка «не однороден». Это означает, что дисперсия (изменчивость) климатических показателей в сравниваемые периоды статистически различается, что является математическим подтверждением происходящих климатических изменений (смены климатической фазы).

3. Оценка трендов и массивы данных

В нижней части файла находятся выгруженные в строку массивы данных по отдельным параметрам за весь период наблюдений. Они сгруппированы по показателям:

- Число дней теплого периода.
- Суммы температур теплого периода.
- Даты устойчивого перехода через 5°C весной и осенью (в виде порядковых номеров дней).

Также присутствуют фрагменты с расчетами разностей между периодами и процентными изменениями (например, 12%, 34%, -14%). Это позволяет наглядно оценить тренды:

Насколько в процентах изменились суммы температур или длина теплого периода во втором периоде по сравнению с первым.

На сколько дней раньше стал наступать весенний переход и на сколько дней позже – осенний.

Какова абсолютная разница в днях (например, сдвиг дат на 15–20 дней).

Анализ перехода через +5°C позволяет точно определить границы вегетационного периода, оценить теплообеспеченность сельскохозяйственных культур и понять, как меняется тепловой режим территории Янаула.

2.3. Переход температур через +8°C.

Мониторинг и анализ дат устойчивого перехода среднесуточной температуры воздуха через 8°C (весной и осенью). Этот порог имеет важное

значение для сельского хозяйства, так как именно при температуре выше $+8^{\circ}\text{C}$ начинается активная вегетация теплолюбивых культур (например, кукурузы) и заканчивается уборка урожая.

Ниже приведено подробное описание структуры и содержания файла:

1. Основная таблица с многолетними данными (1936–2025 гг.)

Главный лист содержит ежегодные наблюдения почти за 90 лет. Для каждого года рассчитаны следующие показатели:

Весенний переход: Порядковый номер дня в году и календарная дата устойчивого перехода температуры через 8°C весной.

Теплый период: Число дней периода с температурой выше 8°C и сумма температур за это время.

Осенний переход: Порядковый номер дня и календарная дата устойчивого перехода через 8°C осенью.

Холодный период: Число дней холодного периода и сумма температур за это время.

Сводные показатели: Общая продолжительность двух смежных периодов (теплого и холодного) и их суммарная температура за год.

2. Статистический анализ (Двухвыборочный F-тест)

В файле проведена проверка климатических рядов данных на однородность. Используется Двухвыборочный F-тест для дисперсии, который сравнивает два временных периода (1-ый и 2-ый периоды).

Рассчитаны статистики: Среднее значение, Дисперсия, количество наблюдений, степени свободы (df).

Вычислены F-критерий Фишера и односторонний p-уровень значимости $P(F \leq f)$.

Вывод: В таблице присутствует пометка «не однороден». Это означает, что дисперсия (изменчивость) климатических показателей в сравниваемые периоды статистически различается, что является математическим подтверждением происходящих климатических изменений (смены климатической фазы).

3. Оценка трендов и массивы данных

В нижней части файла находятся выгруженные в строку массивы данных по отдельным параметрам за весь период наблюдений. Они сгруппированы по показателям:

- Число дней теплого периода.
- Суммы температур теплого периода.
- Даты устойчивого перехода через 8°C весной и осенью (в виде порядковых номеров дней).

Расчетами разностей между периодами и процентными изменениями (например, 12%, 34%, -14%). Это позволяет наглядно оценить тренды:

Насколько в процентах изменились суммы температур или длина теплого периода во втором периоде по сравнению с первым.

На сколько дней раньше стал наступать весенний переход и на сколько дней позже — осенний.

Какова абсолютная разница в днях (например, сдвиг дат на 15–20 дней).

Анализ перехода через $+8^{\circ}\text{C}$ позволяет точно определить границы периода для выращивания теплолюбивых сельскохозяйственных культур, оценить теплообеспеченность и понять, как меняется тепловой режим территории Янаула.

2.4. Расчет поливной нормы

Для расчета используются данные по влажности почвы, приведенные в исходных данных для слоев по 10 см:

$W_{вз}$ – влажность завядания (мм).

$W_{нв}$ – наименьшая влагоемкость (мм).

Необходимо просуммировать значения $W_{вз}$ и $W_{нв}$ для расчетных корнеобитаемых слоев:

Слой 0–100 см (сумма значений для всех десяти слоев).

Результаты заносятся в таблицу определения продуктивных максимальных влагозапасов.

2. Расчет продуктивных максимальных влагозапасов ($W_{\text{пр.мах}}$)

Продуктивные максимальные влагозапасы рассчитываются как разность между наименьшей влагоемкостью и влажностью завядания для каждого слоя:

$$W_{\text{пр.мах}} = W_{\text{НВ}} - W_{\text{ВЗ}}$$

3. Определение нижнего оптимума влажности ($W_{\text{НО}}$)

Нижний оптимум соответствует влажности разрыва капилляров и определяется для каждого межфазного периода развития растения с использованием коэффициента n_i

$$W_{\text{НО}} = W_{\text{пр.мах}} \cdot n_i$$

где n_i – относительная величина нижнего оптимума для данной фазы развития.

4. Расчет поливной нормы нетто (m)

Полivная норма нетто – это количество воды, необходимое для восполнения дефицита влаги в почве от нижнего оптимума до верхнего предела (продуктивных максимальных влагозапасов):

$$m = W_{\text{пр.мах}} - W_{\text{НО}}$$

ГЛАВА 3. РАСЧЕТ ПОЛИВНОЙ НОРМЫ ДЛЯ РЕТРОСПЕКТИВНОГО ПЕРИОДА

3.1. Переход температуры через 0°C.

Таблица № 1. Климатическая таблица

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1973	93	03.04.	202	295	22.10.	156	2276	-1457	369	1009
1974	92	02.04.	216	308	04.11.	162	2710	-1390	364	886
1975	87	28.03.	200	287	14.10.	144	2750	-1119	360	1591
1976	98	09.04.	184	282	10.10.	176	2317	-1792	376	958
1977	93	03.04.	194	287	14.10.	177	2664	-1860	361	457

Обозначения:

0 – год. Временной период наблюдения.

1 – номер сначала года устойчивого перехода через 0 весной. Порядковый номер дня в году, когда среднесуточная температура устойчиво перешла в положительную область (выше 0 °C). Например, в 1973 году это произошло на 93-й день года.

2 – дата устойчивого перехода через 0 весной. Календарная дата этого события. Совпадает с номером дня: 93-й день – это 3 апреля.

3 – число дней теплого периода. Длительность периода с устойчивой положительной температурой (от весеннего перехода до осеннего). Например, в 1973 году теплый период длился 202 дня.

4 – номер сначала года устойчивого перехода через 0 осенью. Порядковый номер дня, когда среднесуточная температура устойчиво опустилась ниже 0 °C. В 1973 году это произошло на 295-й день года.

5 – дата устойчивого перехода через 0 осенью. Календарная дата осеннего перехода. Для 1973 года — 22 октября.

6 – число дней холодного периода. Длительность периода с устойчивой отрицательной температурой (от осеннего перехода до следующего весеннего). В 1973 году этот период составил 156 дней.

7 – сумма температур теплого периода. Суммарное количество градусо-дней (накопленная положительная температура) за весь теплый

период. Это показатель «теплообеспеченности» сезона. В 1973 году сумма составила 2276 градусо-дней.

8 – сумма температур холодного периода. Суммарное количество градусо-дней (накопленная отрицательная температура) за холодный период. В 1973 году значение равно – 1457 градусо-дней.

9 – продолжительность двух смежных периодов. Сумма длительности теплого и холодного периодов (значения из столбцов 3 и 6). Например, в 1973 году: $202 + 156 = 358$ дней.

10 – сумма температур смежных периодов. Алгебраическая сумма накопленных температур за теплый и холодный периоды (значения из столбцов 7 и 8). В 1973 году: $2276 + (-1457) = 819$ градусо-дней.

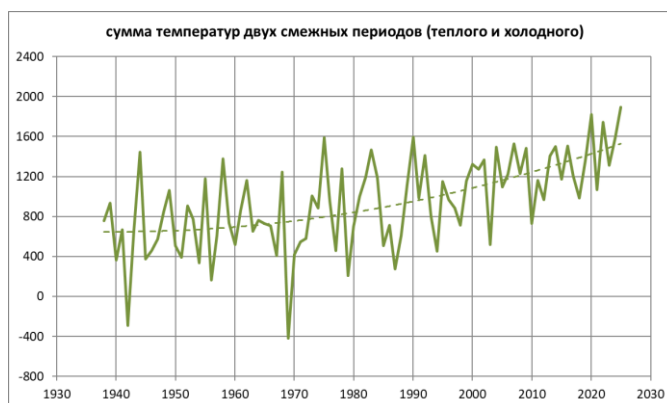


Рисунок 5. Сумма температур двух смежных периодов (теплого и холодного)

Самый теплый год 1975, наибольшая температура теплого периода – 2750, наименьшая сумма холодного периода – - 1119.

3.2. Переход температур через +5°C.

Таблица № 2. Климатическая таблица.

0	1	2	3	7
1973	93	03.04.	202	2276
1974	92	02.04.	216	2710
1975	87	28.03.	200	2750
1976	98	09.04.	184	2317
1977	93	03.04.	194	2664

В таблице показана динамик сезонных переходов температуры и теплообеспеченности вегетационного периода.

0 – год. Временной период наблюдения.

1 - номер сначала года устойчивого перехода через 0 весной. Порядковый номер дня в году, когда среднесуточная температура устойчиво перешла в положительную область (выше 0 °C).

2 – дата устойчивого перехода через 0 весной. Календарная дата, для 1973 и 1977 это 3 апреля.

3 – число дней теплого периода. Длительность периода с устойчивой положительной температурой (от весеннего перехода до осеннего). Максимальное значение было в 1974 году составляющий 216 дней., а минимальное значение в 1976 – 184 дня.

7 – сумма температур теплого периода. Суммарное количество градусо-дней (накопленная положительная температура) за весь теплый период. Это ключевой показатель «теплообеспеченности» сезона. Максимальное значение в 1975 году составило 2750 градусо-дней, минимальное значение в 1973 году – 2276, 1974 – 2710, 1977 – 2664.



Рисунок 6. Сумма температур теплого периода.

3.3. Переход температур через +8°C.

Таблица №3. Климатическая таблица.

0	1	2	3	7
1973	93	03.04.	202	2276
1974	92	02.04.	216	2710
1975	87	28.03.	200	2750
1976	98	09.04.	184	2317
1977	93	03.04.	194	2664

Ранний переход был в 1975 году – 87 день 28 марта. Когда самый поздний в 1976 году – 98 день 9 апреля.

Максимальные теплые периоды в 1974 году, а минимальный в 1976 году.

Самый неблагоприятный год был в 1976 году, самое позднее начало весны, самый короткий теплый сезон.



Рисунок 7. Сумма температур теплого периода.

3.4. Расчет поливной нормы

Агрономический и гидротехнический расчетный, предназначенный для определения оптимального режима орошения (полива) сельскохозяйственных культур.

Расчеты выполнены на основе данных агрометеорологической станции Башкирской АССР за пятилетний период: 1973–1977 годы. Последовательно разбираем две культуры: яровая пшеница и картофель.

1. Исходные агрогидрологические данные (Таблицы № 1 и № 2)

Таблица № 1: содержит физические свойства почвы по слоям (от 10 до 100 см): объемный вес (γ), влажность завядания ($W_{вз}$) и наименьшую влагоемкость ($W_{нв}$). Данные переведены из процентов в миллиметры водного столба.

Таблица №1. Агрогидрологические свойства почвы

Свойства	Глубина слоя, см									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
γ , г/см ³	1	1	1,2	1,2	1,4	1,4	1,4	1,5	1,4	1,5
$W_{вз}$, %	14,2	14,1	14	13,5	13	13	12,9	13,2	13,8	13,6
$W_{нв}$, %	42	42	38	29	24	22	23	25	24	24
$W_{вз}$, мм	14,2	14,1	16,8	16,2	18,2	18,2	18,06	19,8	19,32	20,4
$W_{нв}$, мм	42	42	45,6	34,8	33,6	30,8	32,2	37,5	33,6	36

Таблица № 2: рассчитывает продуктивные максимальные влагозапасы ($W_{пр max} W_{пр max}$) для основных слоев корнеобитаемой почвы (0-20, 0-50, 0-100 см). Это тот объем воды, который доступен растениям.

Таблица №2. Продуктивные максимальные влагозапасы.

Свойства	Слой, см		
	0 - 20	0 - 50	0 - 100
$W_{вз}$, мм	28,3	79,5	175
$W_{нв}$, мм	84,0	198	368
$W_{пр max}$, мм	55,7	119	193

2. Биологические и метеорологические параметры (Таблицы № 3, №4, №5)

Таблица № 3 (Фазы развития): Указаны конкретные календарные даты наступления фаз вегетации для каждого года (всходы, кущение, колошение, спелость — для пшеницы; всходы, цветение, уборка — для картофеля). На основе этих дат выделяются межфазные периоды.

Таблица №3. Фаза развития растений (яровая пшеница).

Фаза	всходы	3-ий лист	кущение	колошение	молочная спелость	восковая спелость	полная спелость
Дата	10.05.	28.05.	04.06.	24.06	16.07	02.08	14.08.
период 1	1						
период 2		2					
период 3			3				
период 4				4			
период 5					5		
период 6						6	

Таблица № 4 (Метеопараметры): Подекадные данные о температуре воздуха (t_t , °C) и дефиците влажности воздуха (dd , мб).

Таблица №4. Метеорологические параметры.

месяц	5			6			7			8	
декада	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
t, °C	0,4	7,3	5	1,1	9,3	5,5	4,8	5,2	8,1	9,4	7,1
d, мб	6	8	6	0	6	5	8	8	8	2	4

Таблица № 5 (Осадки): Фактическое количество выпавших осадков (ХХ, мм) по декадам в течение вегетационного периода.

Таблица №5. Осадки.

№ декады	Расчетная декада	Дата	Осадки, мм
1	1.05-10.05	07.05	7
2	11.05-20.05	15.05	2
3	21.05-31.05	25.05	6
4	01.06-10.06	09.06	12
5	11.06-20.06	16.06	41
6	21.06-30.06	25.06	27
7	01.07-10.07	03.07	99
8	11.07-20.07	18.07	17
9	21.07-31.07	21.07	26
10	01.08-10.08	06.08	27
11	11.08-20.08	17.08	71

3. Расчет испаряемости и поливных норм (Таблицы № 6 и № 7)

Таблица № 6: Расчет испаряемости (E_0 , мм/сут) на основе дефицита влажности воздуха.

Таблица №6. Расчет испаряемости.

Месяц	декада	d, мб	Испаряемость E _о , мм/сут
5	1	6	3,6
	2	8	4,0
	3	6	3,6
6	1	10	5,0
	2	6	4,1
	3	5	3,8
7	1	8	4,2
	2	8	4,2
	3	8	4,2
8	1	12	4,2
	2	4	3,0

Таблица № 7: Определение поливной нормы (mm, мм) — сколько воды нужно внести, чтобы восстановить влажность почвы до нижнего оптимума (W_{н.о.}W_{н.о.}). Используются специальные коэффициенты (nn), зависящие от фазы развития растения и свойств почвы.

Таблица № 7: Определение поливной нормы (mm, мм)

Межфазный период		1 - 2	2 - 3	3 - 4	4 - 5	5 - 6
W _{пр max} , мм		119	119	119	119	119
W _{н.о.}	n	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5
	мм	71,1	71,4	71,4	71,4	59,5
m, мм		47	47,6	47,6	47,6	59,5

4. Итоговый расчет водного баланса почвы (Декадная таблица)

Самая важная часть — это итоговая таблица, которая ведется подекадно на протяжении всего вегетационного периода. Для каждой декады рассчитывается уравнение водного баланса:

$$W_k = W_n - E_d + X + m \quad W_k = W_n - E_d + X + m$$

Где:

- $W_n W_n$ и $W_k W_k$ — влажность почвы в начале и конце декады.
- $EdEd$ — фактическое испарение влаги за декаду.
- XX — осадки.
- mm — полив (орошение).

Таблица №8 Итоговый расчет водного баланса почвы

№ расчетно й декады	Расчетная декада	W_n	$W_{но}$	n	Расчет испарения				Осадки X, мм		Полив			$W_{кр}$	N	J, мм	ное ура	W_k , мм
					k_d	$t_{ср}$, мм/сут	E , мм/сут	d , мм/д	до даты прогно за полив	всего за декаду, дата	дата прогно за	фактич ес-кая дата	m , мм					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	1.05-10.05	118,5	71,1	1	0,4	3,6	1,4	14,5	7,05	7				111	33			111,0
2	11.05-20.05	111	61,8	0,94	1	4,0	4,0	40,3	15,05	2				73	34		$W_k = W$	72,7
3	21.05-31.05	73	61,8	0,61	0,42	3,6	1,5	16,7	25,05	6	28,05	28,05	47	109	3		$W_k = W$	109,4
4	01.06-10.06	109	61,8	0,92	0,43	5,0	2,2	21,5	9,06	12				100	31		$W_k = W$	99,9
5	11.06-20.06	100	61,8	0,84	0,6	4,1	2,5	24,8	16,06	41				116	18		$W_k = W$	116,1
6	21.06-30.06	116	61,8	0,98	0,6	3,8	2,3	23,0	25,06	27				120	22	2	$W_k = W$	118,5
7	01.07-10.07	119	61,8	1,00	0,94	4,2	3,9	39,4	3,07	99				178	25	60	$W_k = W$	118,5
8	11.07-20.07	119	61,8	1,00	0,94	4,2	3,9	39,4	18,07	17				96	14		$W_k = W$	96,1
9	21.07-31.07	96	61,8	0,81	0,94	4,2	3,9	43,4	21,07	26	30,07	30,07	47,6	126	9	8	$W_k = W$	118,5
10	01.08-10.08	119	61,8	1,00	0,96	4,2	4,0	40,3	6,08	27				105	14		$W_k = W$	105,2
11	11.08-20.08	105	51,5	0,89	0,98	3,0	3,0	29,7	17,08	71				147	13	28,0	$W_k = W$	118,5

В этой таблице также определяются прогнозные и фактические даты поливов, чтобы не допустить падения влажности почвы ниже критического уровня ($W_{н.о.} W_{н.о.}$).

Агрометеорологическое обоснование мелиорации (орошения). Он позволяет:

1. Понять, насколько естественных осадков достаточно для выращивания пшеницы и картофеля в условиях Башкирии.
2. Точно рассчитать, когда и сколько воды нужно подать на поле (сроки и объемы поливов), чтобы избежать стресса у растений и получить максимальный урожай, не расходуя воду впустую.
3. Проследить, как менялась потребность в поливе в зависимости от погоды в разные годы (засушливые 1973-1975 гг. против более влажных или наоборот).

3.5. Тенденция изменений поливных норм.

Переход температур через 0°C , 5°C и 8°C — это важнейшие агрометеорологические значения, определяющие фазы развития. Переход

через 0 °С означает начало интенсивного снеготаяния и оттаивания мерзлой почвы, то есть точка отсчета весеннего половодья. Именно с него формируется основной объем годового стока рек в регионах. Осенью переход через 0°С означает начало ледостава и прекращение стока.

Переход через 5°С и 8°С – эти пороги критичны для оценки начала суммарного испарения. После их прохождения осадки перестают преимущественно формировать поверхностный сток и начинают расходоваться на транспирацию растениями и испарение с почвы, где водный баланс территории переходит из режима накопления и стока в режим потерь.

Фазы развития яровой пшеницы и картофеля – это индикаторы изменения гидродинамических свойств агроценоза.

Начало вегетации происходит на всходах и 3-м листе, почва еще слабо защищена растительным покровом. В этот период коэффициент поверхностного стока максимален: даже небольшие ливни вызывают смыв почвы и быстрый сброс воды в дренажные сети и реки.

Смыкание рядков, то есть образование боковых побегов у картофеля и кущение у яровой пшеницы. Резко возрастает перехват осадков кронами и транспирация. С этого момента инфильтрационная способность почвы улучшается за счет корневой системы, а доля поверхностного стока при летних дождях стремится к нулю. Вся влага уходит на формирование урожая и испарение.

Растительный покров деградирует, транспирация падает, что приводит к увеличению влажности почв к осени и измене.

Сравнивая даты по годам (1973–1977), можно оценить аномалии в формировании сезонного стока.

Например, в 1975 году переход через 0°С произошел 28 марта, а в 1976 году – только 7 апреля. Для гидролога это означает, что пик половодья в 1975 году наступил на 10 дней раньше.

Такие данные позволяют ретроспективно анализировать засушливость или влажность лет. Если период от перехода через 8°С до уборки был очень

длинным и жарким, как это видно по сдвигам дат, представленных в таблицах, это указывает на высокие потери влаги, что могло привести к обмелению рек в меженный период.

Эти данные позволяют реконструировать, как менялся механизм формирования речного стока, испаряемости и почвенной влаги в конкретном водосборе в середине 1970-х годов, что крайне полезно для калибровки современных климатических и гидрологических моделей.

Таблица № 9 Фазы развития Яровой пшеницы

Яровая пшеница										
год	Переход через 0	Переход через 5	Переход через 8	всходы	3-ий лист	кущение	колошение	молочная спелость	восковая спелость	полная спелость
1973	03.04.1973	12.04.1973	29.04.1973	14.05.1973	24.05.1973	06.06.1973	24.06.1973	18.07.1973	04.08.1973	20.08.1973
1974	02.04.1974	13.04.1974	01.05.1974	18.05.1974	06.06.1974	10.10.1974	04.07.1974	18.07.1974	08.08.1974	16.08.1974
1975	28.03.1975	05.04.1975	08.04.1975	06.05.1975	16.05.1975	28.05.1975	22.06.1975	10.07.1975	24.07.1975	14.08.1975
1976	07.04.1976	17.04.1976	25.04.1976	18.05.1976	31.05.1976	06.06.1976	28.06.1976	22.07.1976	04.08.1976	20.08.1976
1977	03.04.1977	17.04.1977	25.04.1977	10.05.1977	28.05.1977	04.06.1977	24.06.1977	16.07.1977	02.08.1977	14.08.1977

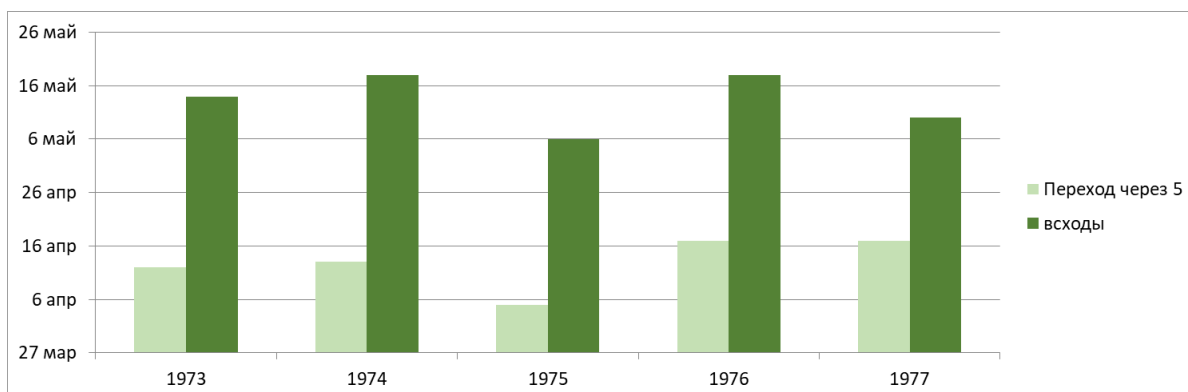


Рисунок 8. Переход через 5 °C.

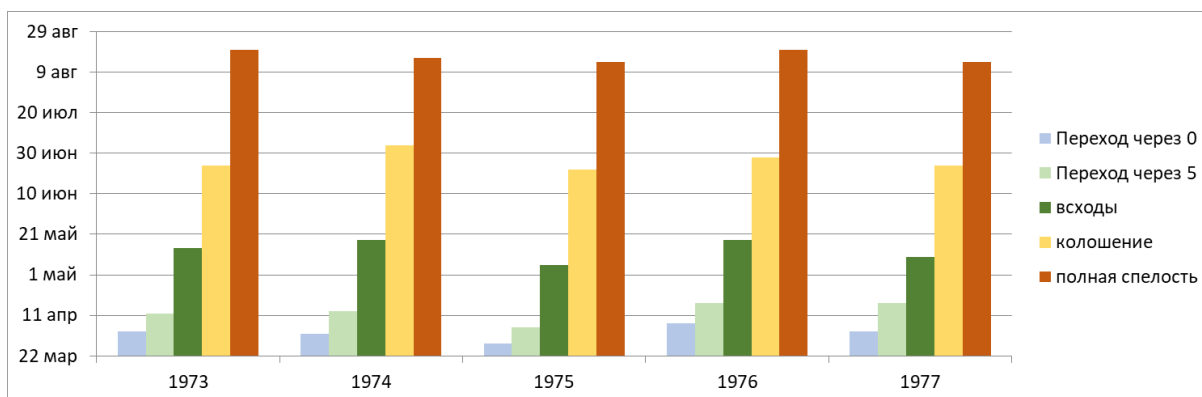


Рисунок 9. Гистограммы дат развития яровой пшеницы.

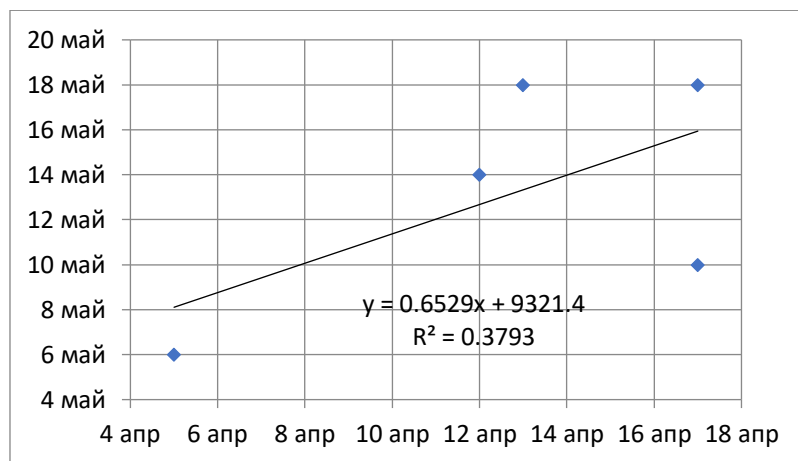


Рисунок 10. Зависимость дат наступления всходов от устойчивого перехода температуры через 5°C

Таблица №10. Фазы развития картофеля.

Картофель									
год	Переход через 0	Переход через 5	Переход через 8	всходы	образование боковых побегов	появление соцветий	цветение	конец цветения	уборка
1973	03.04.1973	12.04.1973	29.04.1973	08.06.1973	16.06.1973	28.06.1973	16.07.1973	20.08.1973	17.09.1973
1974	02.04.1974	13.04.1974	01.05.1974	14.06.1974	20.06.1974	02.07.1974	14.07.1974	10.08.1974	08.09.1974
1975	28.03.1975	05.04.1975	08.04.1975	14.06.1975	24.06.1975	02.07.1975	14.07.1975	10.08.1975	21.09.1975
1976	07.04.1976	17.04.1976	25.04.1976	20.06.1976	30.06.1976	06.07.1976	20.07.1976	10.08.1976	16.09.1976
1977	03.04.1977	17.04.1977	25.04.1977	14.06.1977	24.06.1977	06.07.1977	24.07.1977	06.08.1977	15.09.1977

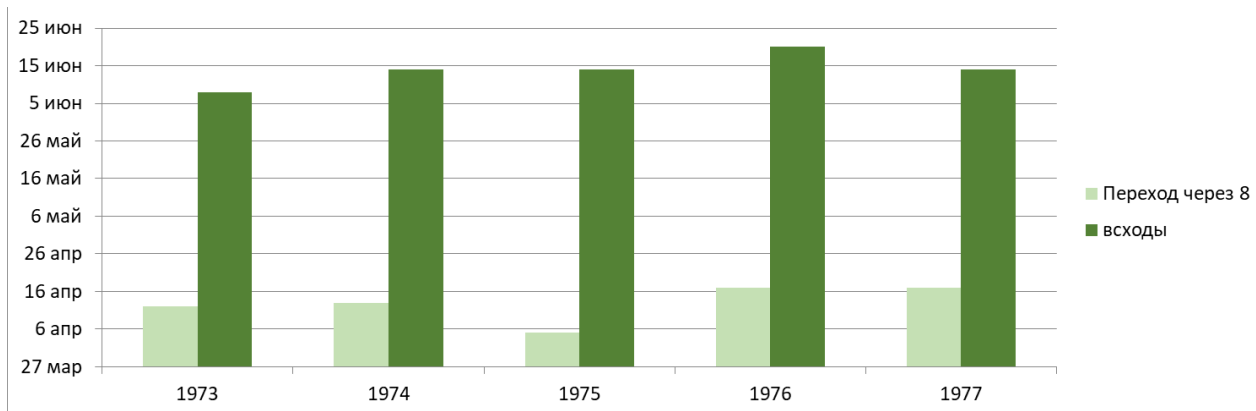


Рисунок 11. Переход через 8°C.

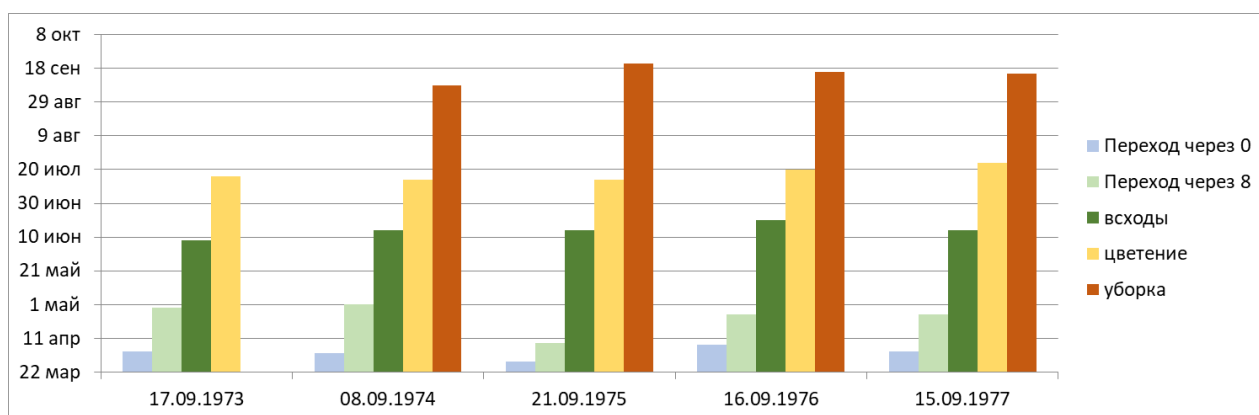


Рисунок 12. Гистограммы дат развития картофеля

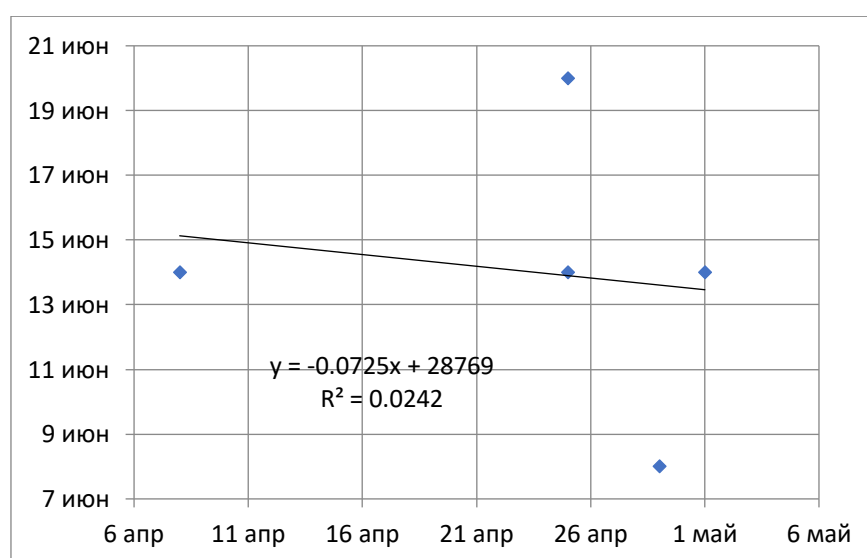


Рисунок 13. Зависимость дат наступления всходов от устойчивого перехода температуры через 8 °C

Таблица № 11.

яровая пшеница		0 °C		5 °C		8 °C	
год	W полив, мм	$\Sigma+T_0$	ΣX_0	$\Sigma+T_5$	ΣX_5	$\Sigma+T_8$	ΣX_8
1973	0	2276	411,7	2138	308,9	1983	283,2
1974	73,2	2710	233,5	2646	211,8	2535	188,6
1975	141,1	2750	193,1	2710	170,6	2654	168,6
1976	0	2317	382,1	2246	358,8	2188	356
1977	94,6	2664		2566		2496	

В таблице показано, как атмосферные процессы компенсировались искусственным орошением. Суммы положительных температур отображают

теплообеспеченность. Чем выше сумма температур, тем больше влаги атмосфера забирает у почвы и растений.

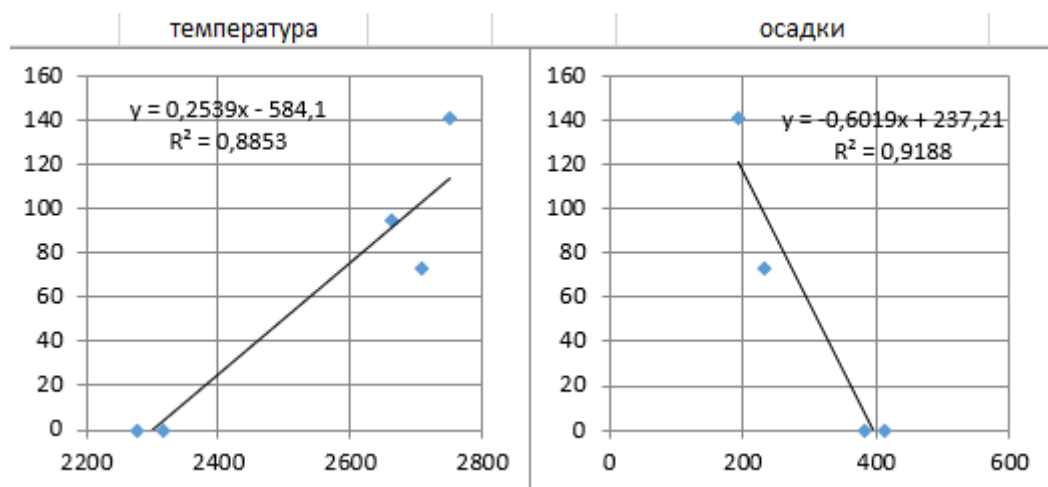


Рисунок 14. Зависимости поливных норм от сумм температур воздуха за теплый период (А) от сумм осадков за теплый период для яровой пшеницы

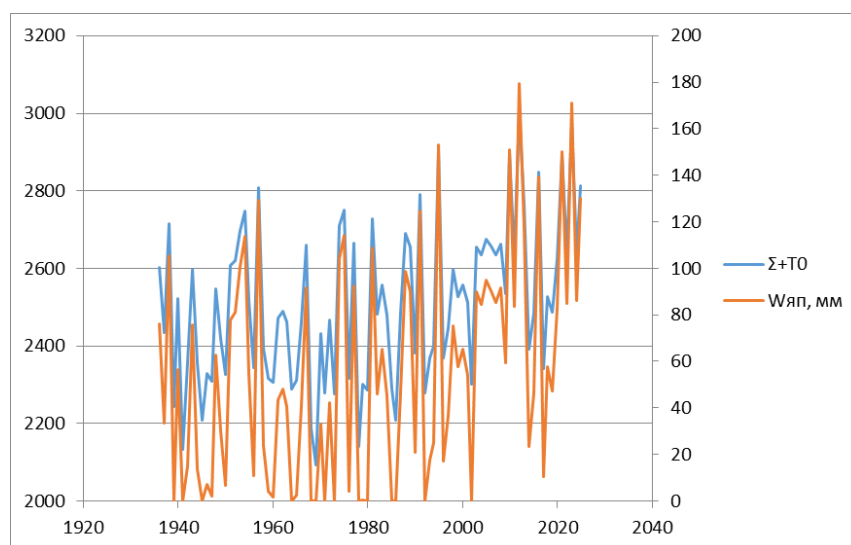


Рисунок 15 Хронологические графики многолетних сумм температуры воздуха за теплый период и расчетные нормы полива для яровой пшеницы

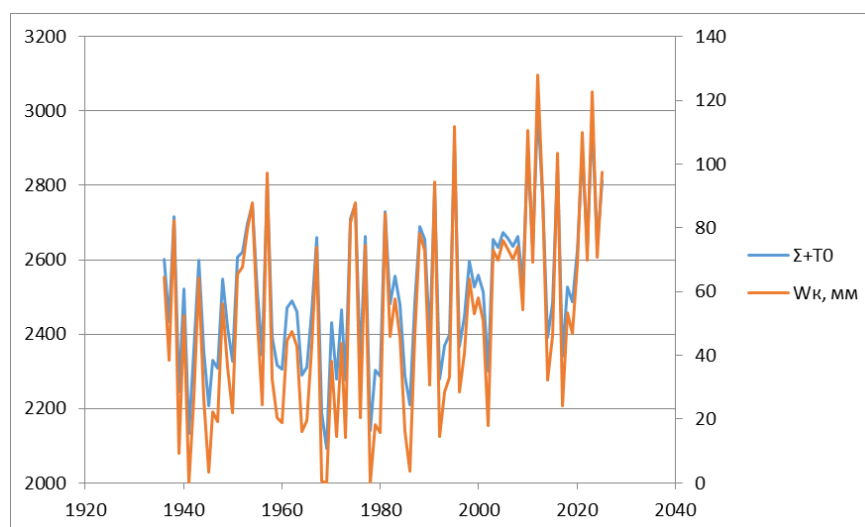


Рисунок 16 Хронологические графики многолетних сумм температуры воздуха за теплый период и расчетные нормы полива для картофеля

В 1930-1960-х годах сумма температуры часто составляла 2200-2400, а норма полива либо нулевые, либо небольшие. Это показывает то, что естественных осадков было достаточно для закрытия потребностей в суммарном испарении. В последние десятилетия 2010-2020-е года наблюдался рост температур, так же вырастают нормы полива.

Графики демонстрируют рост испаряемости и иссушения климата за последние 30 – 40 лет. Атмосфера стала требовать значительно больше воды, естественного стока и инфильтрационных осадков не хватает, что ведет к краткому увеличению нагрузки на водные ресурсы.

Видно, как климатическая жажда атмосферы трансформируется в конкретные объемы антропогенного водозабора на протяжении 90 лет.

R-квадрат – это коэффициент детерминации, он показывает какая доля изменчивости урожайности зависит от факторов.

Регрессия должна составлять меньше 0,05, чтобы модель считалась значимой

Связи присутствуют, но они не надежны, для яровой пшеницы обратная, для картофеля прямая.

Таблица №12. Регрессионный анализ для яровой пшеницы

яровая пшеница								
ВЫВОД ИТОГОВ								
Регрессионная статистика								
Множественный R	0,976484918							
R-квадрат	0,953522795							
Нормированный R-квадрат	0,860568386							
Стандартная ошибка	25,31303946							
Наблюдения	4							
Дисперсионный анализ								
	df	SS	MS	F	Значимость F			
Регрессия	2	13145,57753	6572,788767	10,25796193	0,215585725			
Остаток	1	640,7499669	640,7499669					
Итого	3	13786,3275						
	Коэффициенты	Стандартная ошибка	t-статистика	P-Значение	Нижние 95%	Верхние 95%	Нижние 95.0%	Верхние 95.0%
Y-пересечение	1861,375247	1878,990534	0,990625133	0,502998144	-22013,46317	25736,21367	-22013,46317	25736,21367
Переменная X 1	-0,504377199	0,583359555	-0,864607762	0,546145024	-7,91666314	6,907908742	-7,91666314	6,907908742
Переменная X 2	-1,770482633	1,358337609	-1,303418694	0,416621061	-19,0297984	15,48883313	-19,0297984	15,48883313

R-квадрат равен 0,95352(95,35%). Модель работает отлично. Почти 95% колебаний урожайности яровой пшеницы объясняются осадками и температурой.

Регрессия равна 0,21559, значение больше 0,05, поэтому она не значима.

Таблица № 13. Регрессионный анализ для картофеля.

картофель								
Вывод итогов								
Регрессионная статистика								
Множественный R	0,893018442							
R-квадрат	0,797481939							
Нормированный R-квадрат	0,392445816							
Стандартная ошибка	43,32143841							
Наблюдения	4							
Дисперсионный анализ								
	df	SS	MS	F	Значимость F			
Регрессия	2	7390,312974	3695,156487	1,968915594	0,450020068			
Остаток	1	1876,747026	1876,747026					
Итого	3	9267,06						
	Коэффициенты	Стандартная ошибка	t-статистика	P-значение	Нижние 95%	Верхние 95%	Нижние 95.0%	Верхние 95.0%
Y-пересечение	-3212,555309	3215,756559	-0,999004511	0,500317032	-44072,61654	37647,50592	-44072,61654	37647,50592
Переменная X 1	1,052502413	0,998377736	1,054212624	0,483202898	-11,63308951	13,73809433	-11,63308951	13,73809433
Переменная X 2	2,049012188	2,324696691	0,881410549	0,54007453	-27,48905992	31,5870843	-27,48905992	31,5870843

R-квадрат равен 0,79748(79,75%). Модель приемлема, но менее устойчива, чем яровая пшеница. Около 20% изменчивости урожайности картофеля остается необъяснимой из-за сильной зависимости от влажности почвы.

Регрессия равна 0,45002, значение больше 0,05, поэтому так же не значима.

На графиках, представленных в приложении, видно, что яровая пшеница адаптируется к дефициту влаги, тогда как картофель требует увеличения водоотдачи. Рост амплитуды колебаний после 2000 года указывает на увеличение климатической неустойчивости.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Практическая значимость работы заключается в том, что полученные данные и выявленные тренды доказывают необходимость адаптации водного хозяйства Башкортостана. Для сохранения урожайности в условиях нарастающей иссушения климата необходимо:

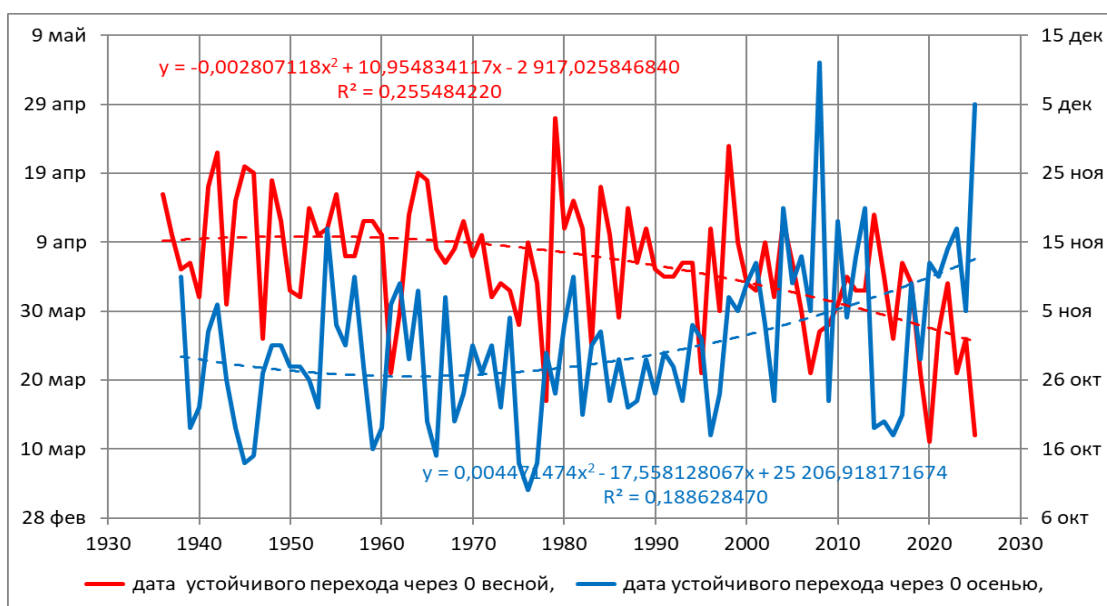
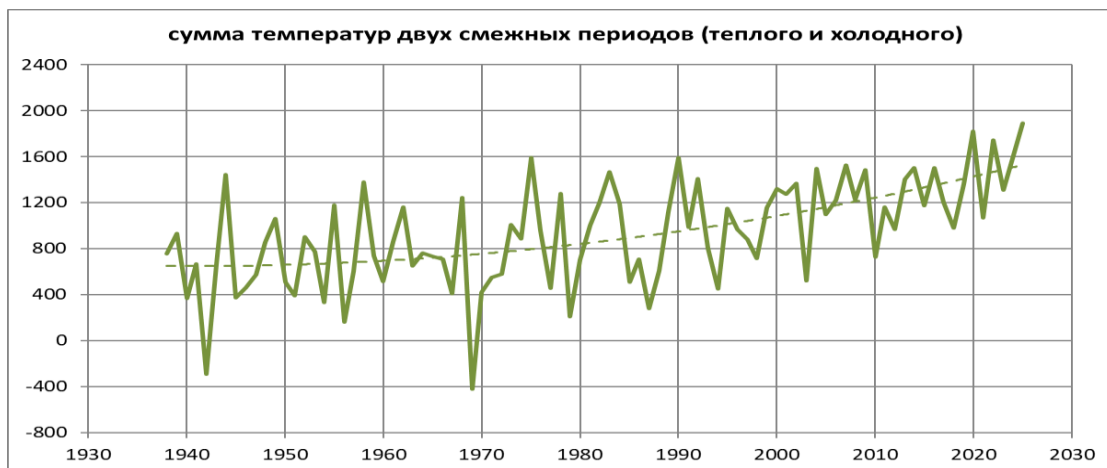
1. Внедрять влагосберегающие технологии орошения (капельное, дождевание).
2. Корректировать графики поливов, привязывая их не только к календарным датам, но и к реальным фазам развития растений и текущему дефициту влажности почвы.

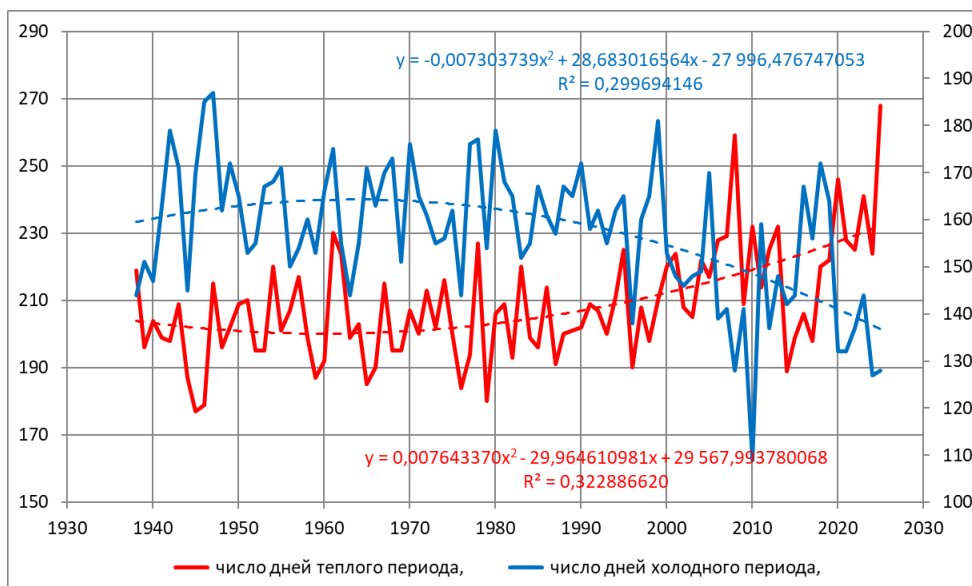
ИСТОЧНИКИ

1. Научно-прикладной справочник по климату СССР: в 34 вып. / Гидрометеиздат. — Л., 1987 – 1998.
2. Садоков В.П., Козельцева В.Ф., Кузнецова Н.Н. Определение весенних дат устойчивого перехода средней суточной температуры воздуха через 0, +5°C, их прогноз и оценка // Труды Гидрометцентра России. – 2012 – Вып. 348. – С. 144 – 150.
3. Климат Санкт-Петербурга и его изменения / ГГО. – СПб., 2010. – 255 с.
4. Малинин В.Н. Статистические методы анализа гидрометеорологической информации: учебник. – СПб.: Изд-во РГГМУ, 2008. – 408 с.
5. ГОСТ 16350-80. Климат СССР. Районирование и статистические параметры климатических факторов для технических целей. – М.: Издательство стандартов, 1981.
6. СП 131.13330.2012. Свод правил. Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99. – М., 2012.
7. Исаченко А.Г. Ландшафтоведение и физико-географическое районирование: учебник. – М.: Высшая школа, 1991. – 366 с.
8. Гурьянов Д.А., Малинин В.Н. Тренды в колебаниях характеристик температуры воздуха в Северо-Западном регионе России // LXVI Герценовские чтения. – СПб.: Астерион, 2013. – С. 30 – 32.
9. Малинин В.Н., Гордеева С.М., Гурьянов Д.А. Особенности температурного режима Санкт-Петербурга в современный период // Нерешенные проблемы климатологии и экологии мегаполисов. – СПб., 2013. – С. 43 – 46.
10. Специализированные массивы для климатических исследований. Температура воздуха [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.meteo.ru/climate/temp.php>.

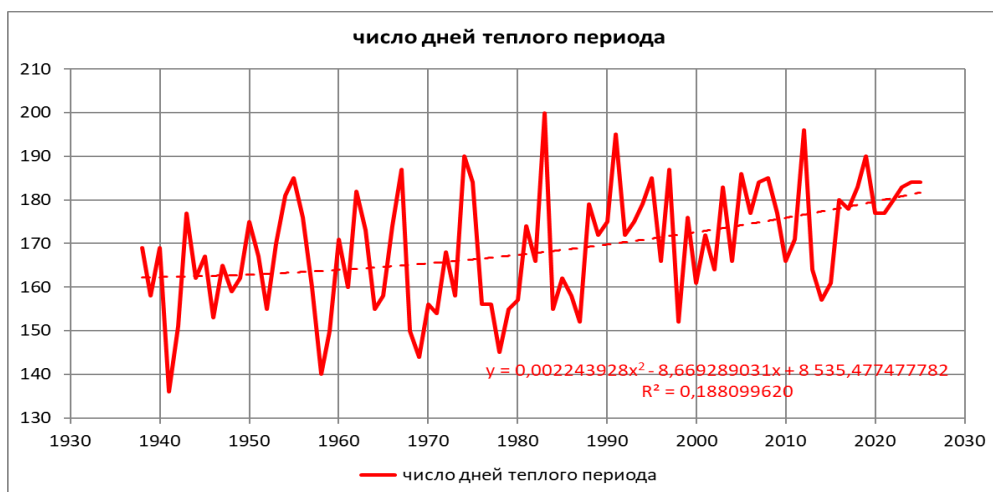
ПРИЛОЖЕНИЕ.

Хронологические графики характеристик температуры при переходе через 0°C



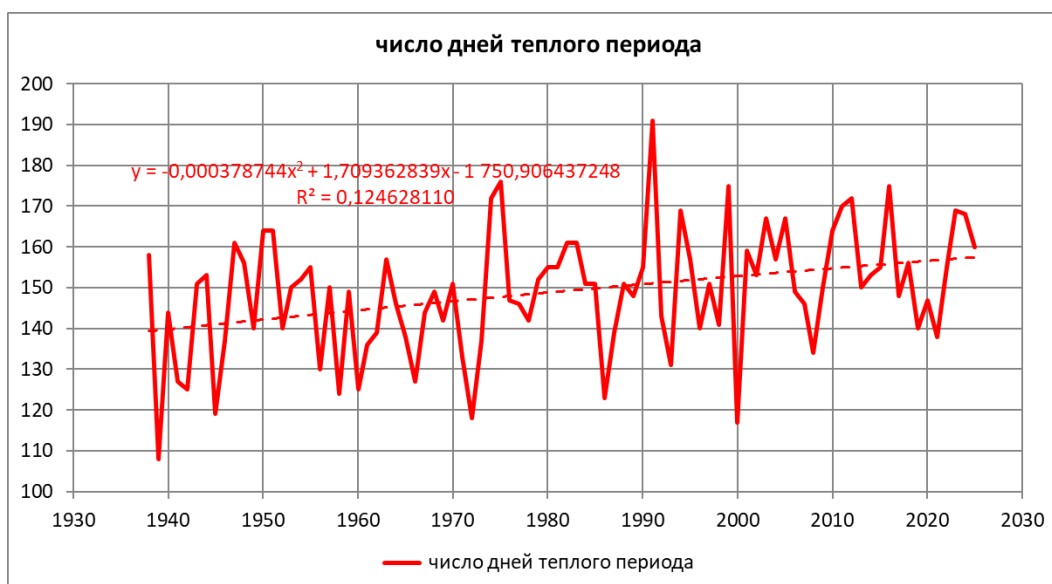
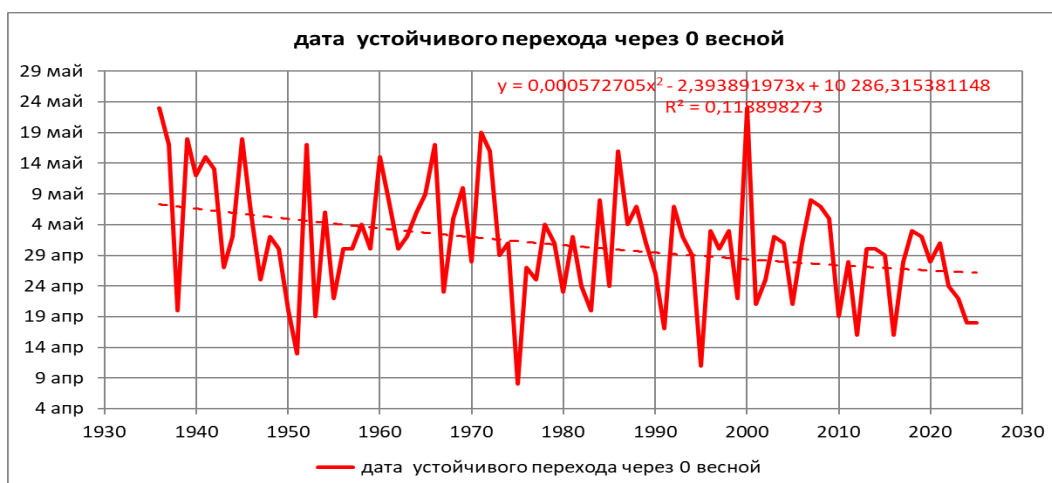


Хронологические графики характеристик температуры при переходе через 5°C





Хронологические графики характеристик температуры при переходе через 8°C





Поливная норма яровой пшеницы 1974 год.

Таблица № 1. Агрогидрологические свойства почвы

Свойства	Глубина слоя, см									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
γ , г/см ³	1,2	1,6	1,3	1,7	1,4	1,2	1,2	1,3	1	1,4
$W_{вз}$, %	12	14	14,3	13,8	13,6	13,5	14,6	13	14,2	14,1
$W_{нв}$, %	42	42	38	24	26	22	23	22	24	24
$W_{вз}$, мм	14,4	22,4	18,59	23,46	19,04	16,2	17,52	16,9	14,2	19,74
$W_{нв}$, мм	50,4	67,2	49,4	40,8	36,4	26,4	27,6	28,6	24	33,6

Таблица № 2. Продуктивные максимальные влагозапасы

Свойства	Слой, см		
	0 - 20	0 - 50	0 - 100
$W_{вз}$, мм	36,8	97,9	182
$W_{нв}$, мм	117,6	244	384
$W_{пр\ max}$, мм	80,8	146	202

Таблица № 3. Фазы развития растений

Фаза	всходы	3-ий лист	кущение	колошен ие	молочна я спелость	восковая спелость	полная спелость
Дата	18.05.	06.06.	10.10.	04.07.	18.07.	08.08.	16.08.
период 1	1						
период 2		2					
период 3			3				
период 4				4			
период 5					5		
период 6						6	

Таблица № 4. Метеорологические параметры

месяц	5			6			7			8	
декада		2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
t, °C		14,4	9	15	14,9	19,5	21,7	19,5	21,2	16,5	19,8
d, мб		5	8	9	6	2	5	6	7	3	5

Таблица № 5. Осадки

№ декады	Расчетная декада	Дата	Осадки, мм
2	11.05-20.05	15.05.	3
3	21.05-31.05	25.05.	25
4	01.06-10.06	09.06.	20
5	11.06-20.06	16.06.	7
6	21.06-30.06	25.06.	42
7	01.07-10.07	03.07.	16
8	11.07-20.07	18.07.	8
9	21.07-31.07	21.07.	12
10	01.08-10.08	06.08.	19
11	11.08-20.08	17.08.	3

Таблица № 6. Расчет испаряемости

Месяц	декада	d, мб	Испаряемость E _о , мм/сут
5	2	5	3,5
	3	8	4,0
6	1	9	4,7
	2	6	4,2
	3	2	3,0
7	1	5	3,5
	2	6	3,9
	3	7	4,0
8	1	3	2,4
	2	5	3,1

Таблица № 7. Определение поливной нормы m, мм

Межфазный период		1 - 2	2 - 3	3 - 4	4 - 5	5 - 6
W _{пр max} , мм		146	146	146	146	146
W _{н.о.}	n	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5
	мм	87,8	87,8	87,8	87,8	73,2
m, мм		59	58,524	58,524	58,524	73,155

Таблица №8. Итоговый расчет водного баланса почвы

№ расчетно й декады	Расчетная декада	W _н	W _{но}	n	Расчет испарения				Осадки X, мм		Полив			W _{кр}	N	J, мм	Расчетно е уравнен ие	W _к , мм
					k _в	E ₀ , мм/сут	E, мм/сут	E _d , мм/ден	до даты прогноза полива	всего за декаду, дата	дата прогноза	фактичес- кая дата	m, мм					
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10					
1	01.05-10.05																	
2	11.05-20.05			0,93		3,5			15,05						41			135,1
		146	87,8		0,4		1,4	14,2		3	135	W _к = W _н -						
3	21.05-31.05	135	61,8	0,86	0,4	4,0	1,6	17,7	25,05	25				142	52		W _к = W _н -	142,4
4	01.06-10.06	142	61,8	0,91	0,47	4,7	2,2	21,9	9,06	20				140	50		W _к = W _н -	140,4
5	11.06-20.06	140	61,8	0,90	0,47	4,2	2,0	19,6	16,06	7				128	36		W _к = W _н -	127,9
6	21.06-30.06	128	61,8	0,82	0,6	3,0	1,8	18,0	25,06	42				152	34	6	W _к = W _н -	146,3
7	01.07-10.07	146	61,8	0,93	0,6	3,5	2,1	21,3	3,07	16				141	47		W _к = W _н -	141,0
8	11.07-20.07	141	61,8	0,90	0,695	3,9	2,7	26,9	18,07	8				126	37		W _к = W _н -	126,1
9	21.07-31.07	126	61,8	0,80	0,95	4,0	3,8	42,1	21,07	12				96	24		W _к = W _н -	96,0
10	01.08-10.08	96	61,8	0,61	0,99	2,4	2,4	24,0	6,08	19	15,08	15,08	73,155	148	9	1,9	W _к = W _н -	146,3
11	11.08-20.08	146	51,5	0,93	0,98	3,1	3,0	30,0	17,08	3				119	40		W _к = W _н -	119,3

Поливная норма картофеля 1973 год.

Таблица № 1. Агрогидрологические свойства почвы

Свойства	Глубина слоя, см									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
γ , г/см ³	1,6	1,4	1,3	1	1,3	1,2	1	1,3	1	1,3
$W_{вз}$, %	12	14	15,2	13,8	13,6	14,7	14,6	12	14,2	14,1
$W_{нв}$, %	42	51	38	24	34	22	23	28	24	24
$W_{вз}$, мм	19,2	19,6	19,76	13,8	17,68	17,64	14,6	15,6	14,2	18,33
$W_{нв}$, мм	67,2	71,4	49,4	24	44,2	26,4	23	36,4	24	31,2

Таблица № 2. Продуктивные максимальные влагозапасы

Свойства	Слой, см		
	0 - 20	0 - 50	0 - 100
$W_{вз}$, мм	38,8	90,0	170
$W_{нв}$, мм	138,6	256	397
$W_{пр\ max}$, мм	99,8	166	227

Таблица № 3. Фазы развития растений

Фаза	Всход	Обр.бок. побегов	Появл. соцвет.	Цветени е	Конец цветения	Уборка
Дата	8.6	16.6	28.6	16.7	20.8	17.9
период 1	1					
период 2		2				
период 3			3			
период 4				4		
период 5					5	
период 6						6

Таблица № 4. Метеорологические параметры

месяц	6			7			8			9	
декада		2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
t, °C	17,2	17	17,9	15,1	15,6	18,1	20,3	17,5	15,8	15,2	10,2
d, мб		5	8	9	6	2	5	6	7	3	5

Таблица № 5. Осадки

№ декады	Расчетная декада	Дата	Осадки, мм
2	11.06-20.06	15,06	17
3	21.06-31.06	25,06	12
4	01.07-10.07	9,07	84
5	11.07-20.07	16,07	20
6	21.07-30.07	25,07	49
7	01.08-10.08	3,08	13
8	11.08-20.08	18,08	22
9	21.08-31.08	21,08	14
10	01.09-10.09	6,09	1
11	11.09-20.09	17,09	5

Таблица № 6. Расчет испаряемости

Месяц	декада	d, мб	Испаряе мость E ₀ , мм/сут
5			
	2	5	3,5
	3	8	4,0
6	1	9	4,7
	2	6	4,2
	3	2	3,0
7	1	5	3,5
	2	6	3,9
	3	7	4,0
8	1	3	2,4
	2	5	3,1

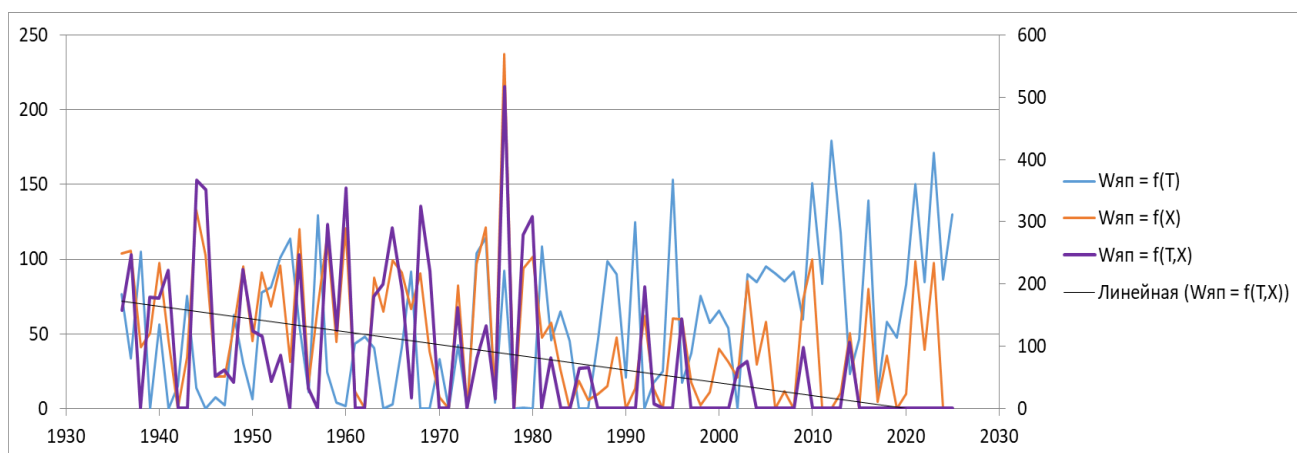
Таблица № 7. Определение поливной нормы m, мм

Межфазный период		1 - 2	2 - 3	3 - 4	4 - 5	5 - 6
$W_{\text{пр max}}$, мм		166	166	166	166	166
$W_{\text{н.о.}}$	n	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5
	мм	99,7	99,7	99,7	99,7	83,1
m, мм		66	66,464	66,464	66,464	83,08

Таблица № 8. Итоговый расчет водного баланса почвы

№ расчетно й декады	Расчетная декада	W _n	W _{ию}	n	Расчет испарения				Осадки X, мм		Полив			W _{кр}	N	J, мм	Расчетно е уравнен ие	W _к , мм
					k _a	E _{ср} , мм/сут	E, мм/сут	Ed, мм/дек	до даты прогноза полива	всего за декаду, дата	дата прогноза	фактичес- кая дата	m, мм					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	01.05-10.05																	
2	11.05-20.05	166	99,7	1,06	0,45	3,5	1,6	16,0	15,06	17				150	42		W _к = W _n	150,2
3	21.05-31.05	150	99,7	0,96	0,46	4,0	1,9	20,4	25,06	12				142	32		W _к = W _n	141,8
4	01.06-10.06	142	99,7	0,90	0,6	4,7	2,8	28,0	9,07	84				198	23	32	W _к = W _n	166,2
5	11.06-20.06	166	99,7	1,06	0,47	4,2	2,0	19,6	16,07	20				167	24		W _к = W _n	166,6
6	21.06-30.06	167	99,7	1,06	0,89	3,0	2,7	26,7	25,07	49				189	34	23	W _к = W _n	166,2
7	01.07-10.07	166	99,7	1,06	0,89	3,5	3,2	31,6	3,08	13				148	25		W _к = W _n	147,6
8	11.07-20.07	148	99,7	0,94	0,76	3,9	2,9	29,4	18,08	22				132	15		W _к = W _n	132,2
9	21.07-31.07	132	99,7	0,84	0,76	4,0	3,1	33,7	21,08	14				112	11		W _к = W _n	112,5
10	01.08-10.08	112	83,1	0,72	0,7	2,4	1,7	16,9	6,09	1				101	10		W _к = W _n	100,5
11	11.08-20.08	101	83,1	0,64	0,68	3,1	2,1	20,8	17,09	5				85	10		W _к = W _n	84,7

Хронологические графики расчётной поливной нормы для яровой пшеницы



Хронологические графики расчётной поливной нормы для картофеля

