

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Национальный исследовательский
Томский государственный университет»

На правах рукописи



Поляков Денис Викторович

**СОВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ АГРОКЛИМАТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ
НА ТЕРРИТОРИИ ЮГО-ВОСТОКА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ**

25.00.30 – Метеорология, климатология, агрометеорология (Науки о Земле)

Диссертация
на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Научный руководитель:
доктор физико-математических наук,
профессор Задде Геннадий Освальдович

Томск – 2015

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	5
1 Наблюдаемые изменения климата и их влияния на сельскохозяйственное производство.....	10
1.1 Агроклиматические ресурсы.....	13
1.1.1 Термические ресурсы.....	14
1.1.2 Ресурсы увлажнения.....	15
1.1.3 Районирование агроклиматических ресурсов.....	19
1.2 Природное зонирование юго-востока Западной Сибири.....	21
1.2.1 Специфика сельского хозяйства.....	23
2 Оценки современных изменений агроклиматических ресурсов юго-востока Западной Сибири.....	26
2.1 Материалы и методы исследования.....	26
2.1.1 Исходные данные.....	26
2.1.2 Рассматриваемые агроклиматические характеристики.....	27
2.1.3 Используемый метод пространственной интерполяции агроклиматических характеристик.....	28
2.1.4 Методы, используемые в статистической обработке агроклиматических характеристик.....	29
2.2 Тенденции современных изменений термических ресурсов.....	33
2.3 Тенденции современных изменений характеристик увлажнения территории юго-востока Западной Сибири.....	52
3 Использование кластерного анализа для целей агроклиматического районирования территории.....	67
3.1 Метод проводимого исследования.....	70
3.2 Результаты исследования.....	71
4 Воздействие волн тепла на раннюю яровую пшеницу в период ее критического развития.....	78
4.1 Метод идентификации волн тепла и алгоритм исследования.....	80

4.2 Результаты исследования.....	81
Заключение.....	93
Список сокращений и условных обозначений.....	95
Список использованных источников и литературы.....	96
Приложение 1	
Пространственно–осредненных аномалий средней годовой температуры воздуха на территории юго-востока Западной Сибири.....	113
Таблица 1.2 – Пространственно–осредненных аномалий характеристик теплообеспеченности на территории юго-востока Западной Сибири.....	115
Таблица 1.3 – Пространственно–осредненных аномалий годовых сумм атмосферных осадков на территории юго-востока Западной Сибири.....	117
Таблица 1.4 – Пространственно–осредненных аномалий характеристик увлажнённости на территории юго-востока Западной Сибири.....	119
Приложение 2	
Таблица 2.1 – Оценка динамики линейных трендов пространственно–осредненных характеристик теплообеспеченности на территории юго-востока Западной Сибири.....	121
Приложение 3	
Таблица 3.1 – Средние многолетние суммы среднесуточных значений температуры воздуха за период календарного года со среднесуточной температурой воздуха, превышающей 10 °С, обеспечивающие созревание растений в 90 % общего числа лет за базовый период (1961–1990 гг.) и последнее десятилетие (2003–2012 гг.) на территории юго-востока Западной Сибири.....	122
Таблица 3.2 – Средние многолетние суммы атмосферных осадков за период вегетации (1961–1990 гг.) и их средние значения за 2003–2012 гг. на территории юго-востока Западной Сибири.....	123
Приложение 4	
Таблица 4.1 – Ряды скользящих оценок средних величин (<i>E</i>) и средних	

квадратических отклонений (V) характеристик теплообеспеченности для 30-летних периодов осреднения на территории юго-востока Западной Сибири.....	124
Таблица 4.2 – Ряды скользящих оценок средних величин (E) и средних квадратических отклонений (V) характеристик увлажнения для 30-летних периодов осреднения на территории юго-востока Западной Сибири.....	125
Приложение 5	
Таблица 5.1 – Пространственное сравнение результатов иерархической классификации (метод Уорда) с делением по влагообеспеченности (по Г. Т. Селянинову) и теплообеспеченности растений (по Д. И. Шашко и С. А. Сапожниковой) на территории юго-востока Западной Сибири, выполненное для периода с 1961 до 2012 гг.....	126
Таблица 5.2 – Агроклиматические условия по классам, полученным с помощью иерархического кластерного анализа за базовый период (1961–1990 гг.) и последнее десятилетие (2003–2012 гг.) на территории юго-востока Западной Сибири.....	127
Приложение 6	
Таблица 6.1 – Характеристики волн тепла, наблюдаемые в уязвимый период жизни яровой пшеницы по станциям юго-востока Западной Сибири с учётом макроциркуляционного фактора.....	128
Таблица 6.2 – Повторяемости волн тепла, наблюдаемые в уязвимый период жизни ранней яровой пшеницы по станциям юго-востока Западной Сибири.....	132
Таблица 6.3 – Повторяемости волн тепла по градациям интенсивности и продолжительности (количество случаев), наблюдаемые в уязвимый период жизни яровой пшеницы по станциям юго-востока Западной Сибири.....	133

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. За историю цивилизации, проблема климата не вызывали такого беспокойства у мирового сообщества, как в последние десятилетия. Исследования, проведенные в работах А. В. Кислова [56], Е. П. Борисенко [10], М. И. Будыко [12, 14], Г. В. Грузы [26], К. Я. Кондратьева [61] и многих других исследователей, говорят о том, что наблюдаемые изменения природных процессов, в перспективе, будут приводить к разнонаправленным последствиям в хозяйственной деятельности человечества. Таким образом, исследование потенциальных последствий трансформаций климата с целью приспособления к ним социально–экономической среды, в последнее время приняли злободневный характер [55]. Следовательно, изучение воздействий климата на процессы жизнедеятельности растений приобретает все большее значение в связи с возрастающим вниманием к проблеме получения высокопродуктивных растительных сообществ.

Средством выражения связи климата и сельского хозяйства служит система агроклиматических показателей, которые строятся на познании климата как ресурса [22]. В качестве рассматриваемых агроклиматических показателей в данном исследовании выступают характеристики теплообеспеченности (термические ресурсы) и увлажнённости [24]. Комплексный анализ характеристик климата, в особенности его изменчивости, экстремальности и воздействия на ведение сельского хозяйства, на территории Западной Сибири проводились исследователями: Всероссийского научно–исследовательского института сельскохозяйственной метеорологии (ВНИИСХМ) и Гидрометцентра России: О. Д. Сиротенко [111–130], И. Г. Грингоф [23], Е. С. Уланова [135–137], Е. К. Зоидзе [39], В. Ф. Гридасов [21]; Сибирского научно–исследовательского гидрометеорологического института (СИБНИГМИ): С. В. Устинова [138], Т. В. Старостина [128], М. И. Черникова [148, 149]; а так же М. Г. Сухова [133], П. И. Кузнецов [67], В. Е. Суховерковой [130] и др. Отметим, что из-за всеобщего

внимания, разброс оценок и мнений экспертов о климатическом потенциале продолжает оставаться очень значительным.

До последнего времени такие комплексные исследования непосредственно в юго-восточном районе Западной Сибири не проводились давно, между тем накоплены новые данные наблюдений, включая засушливый 2012 год [103–105]. Следовательно, выявление и анализ локальных проявлений глобального изменения климата и воздействие этих изменений на сельское хозяйство, должны, проводится в оперативном режиме для регулярного обновления справочной информации о состоянии агроклиматических ресурсов, в которой сейчас заинтересованы аграрные предприятия региона исследования.

Цель работы – выявление и анализ локальных проявлений современного изменения климата и агроклиматических ресурсов юго-восточных районов Западной Сибири в условиях современной волны глобального потепления.

Для достижения цели решались следующие задачи:

- Сформировать базу данных агроклиматических показателей, привлекая данные наблюдений, в интервале более 50 лет (1961–2012 гг.).
- Выбрать статистические методы исследования для оценки состояния и изменения климата на региональном уровне.
- Исследовать и обобщить современную динамику основных агроклиматических характеристик влияющих на продуктивность растениеводства во времени и пространстве.
- Провести агроклиматическое районирование с помощью кластерного анализа.
- Оценить условия возникновения и воздействия короткопериодных жарких и сухих метеорологических условий в критический (уязвимый) период развития ранней яровой пшеницы.

Объект исследования – Алтайский край, Новосибирская, Омская и юг Томской области, входящие в юго-восточную часть Западной Сибири.

Материалы и методика исследования. Для написания работы приоритет отдан использованию ежесуточных станционных данных о приповерхностной

температуре воздуха и атмосферных осадков за 52 года (период с 1961 по 2012 г.) информационной базы данных ВНИИГМИ–МЦД (<http://www.cliwar.meteo.ru>) по 17 метеорологическим станциям [47]. Использовались пакеты программ (Microsoft Office, Statistica, Visual FoxPro, WinSurfer) включающие в себя стандартные методы обработки рядов наблюдений на основе математической статистики, с использованием корреляционно–регрессионного, фрактального анализов и графических методов.

Научная новизна работы. Данная диссертационная работа является научным исследованием изменений климата и агроклиматических показателей юго-востока Западной Сибири в условиях современного глобального потепления и их влияния на растениеводство. При этом:

- Выявлены знаки и величины трендов рассматриваемых агроклиматических показателей, отражающих локальные особенности глобальных изменений, где продолжительность периода вегетации на территории юго-востока Западной Сибири обладает устойчивой тенденцией роста.
- Установлены особенности проявления современного потепления климата выражающиеся в увеличении числа случаев формирования наиболее интенсивных положительных аномалий агроклиматических показателей за вегетационный период в XXI века.
- При использовании кластерного анализа, определены элементы признакового поля, которые обеспечивают районирование в соответствии с принятыми агроклиматическими методами, что позволяет уточнить их современные границы.
- Впервые выявлены макросиноптические условия, которые оказывают пагубное воздействие на развитие ранней яровой пшеницы в период их критического развития.

Основные положения, выносимые на защиту:

- За последние два десятилетия наблюдаются наиболее сильные положительные аномалии сумм среднесуточных значений температуры воздуха за период со среднесуточной температурой, превышающей 5 и 10 °С, а

продолжительность периода со среднесуточной температурой, превышающей 5 °С в период 1976–2012 гг. обладает устойчивой тенденцией роста на территории исследования.

- Установлено, что за период 1961–2012 гг. на территории исследования наблюдается увеличение изменчивости сумм атмосферных осадков, что нивелирует положительную динамику термических показателей, неблагоприятно сказываясь на сельском хозяйстве.

- Разработанная методика агроклиматического районирования, основанная на математическом сходстве объектов исследования, позволяет уточнить современное состояние границ существующих делений по влагообеспеченности (по Г. Т. Селянину) и теплообеспеченности растений (по Д. И. Шашко и С. А. Сапожниковой) в условиях современного изменения климата.

- Выявлена зависимость состояния ранней яровой пшеницы от погодно-климатических факторов: необратимое пагубное воздействие на дальнейшее развитие посевов в критический период её развития оказывают метеорологические условия, связанные с антициклональной циркуляцией, повторяемость которых в регионе исследования начала увеличиваться.

Научная и практическая значимость работы. Полученная совокупность научных исследований по оценке влияния локальной составляющей глобального изменения климата на продуктивность растениеводства, может быть полезна при рациональном использовании агроклиматических ресурсов юго-востока Западной Сибири. Информация о современном положении агроклиматических провинций, полученная с помощью кластерного анализа может быть полезна при прогнозировании урожайности агропромышленными предприятиями. Изложенные в диссертации методологические положения использованы в учебном процессе при подготовке гидрометеорологов в Томском государственном университете в рамках курсов «Методы статистической обработки и анализ метеорологических наблюдений» и «Климатическая обработка данных».

Достоверность результатов расчётов, представленных в работе, подтверждается большим объёмом и качеством используемого фактического

материала данных наблюдений, оценками статистической значимости результатов, а также их апробацией на различных конференциях и семинарах.

Апробация результатов. Основные положения работы и полученные результаты исследования докладывались и обсуждались на следующих научных конференциях: Региональные эффекты глобальных климатических изменений XXI веке (Воронеж, 2012 г.); Международная научно-практическая конференция «Климатология и гляциология Сибири» (Томск, 2012 г.); XVI международная конференция молодых ученых «Состав атмосферы. Атмосферное электричество. Климатические эффекты» (Звенигород, 2012 г.); Международная научная конференция по региональным проблемам гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Казань, 2012 г.); X Сибирское совещание по климато–экологическому мониторингу (Томск, 2013 г.).

Публикации. Всего по теме диссертации опубликовано 12 печатных работ, в том числе 4 статьи – в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК.

Личный вклад автора. Автор принимал непосредственное участие в постановке задачи, сборе, обработке материала, расчётах и интерпретации полученных результатов.

Структура и объём работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка использованных источников, а также приложений. Общий объём работы составляет 134 страницы, 29 рисунков, 17 таблиц и 6 приложений. Библиографический список включает 164 наименований, в том числе – 4 иностранных.

Автор выражает глубокую благодарность и признательность научному руководителю д.ф. – м.н. Г. О. Задде и к.г.н. И. В. Кужевской и всем сотрудникам кафедры метеорологии и климатологии Томского государственного университета, без поддержки и неоценимой помощи которых работа была бы невозможна. Многолетнее и плодотворное сотрудничество с И. В. Кужевской вдохновило

автора на научный и творческий поиск, позволило подготовить и выпустить в свет ряд совместных работ и докладов.

1 НАБЛЮДАЕМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА И ИХ ВЛИЯНИЯ НА ВЕДЕНИЕ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

Для решения большого количества задач в рассматриваемой работе под понятием «климат» будет правильней использовать определение Г. В. Грузы и Э. Я. Раньковой по [26]: «Климат – обобщение изменений погоды, и представляется набором её условий в заданной области пространства и интервал времени». Для характеристики климата используется статистическое описание в терминах средних, экстремумов, показателей изменчивости соответствующих величин и повторяемостей явлений за выбранный период времени [27]. По рекомендации Всемирной метеорологической организации (ВМО) в качестве стандартного периода для оценивания климатических переменных, используется период, равный трем десятилетиям [137]. В настоящее время это период с 1961 по 1990 год, но строго определенного начала отсчета не существует, так например, за базовые нормы могут выступать 1971–2000 гг. и 1981–2010 гг. [55].

В исследованиях межправительственной группой экспертов по изменению климата (МГЭИК) говорится, что с вероятностью более 95 % причиной современного потепления стало доминирующее влияние антропогенного фактора [161]. Это влияние, в первую очередь, связано с увеличением концентраций атмосферных парниковых газов вследствие хозяйственной деятельности человека [13, 50]. По данным второго оценочного доклада об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации, можно сказать, что средняя скорость современного потепления для Земного шара составляет $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}/10$ лет за 1976–2012 гг. и $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}/10$ лет за 1901–2012 гг. [18].

На рисунке 1 приводится временной ряд среднегодовых аномалий температуры приземного воздуха, осредненных по территории России.

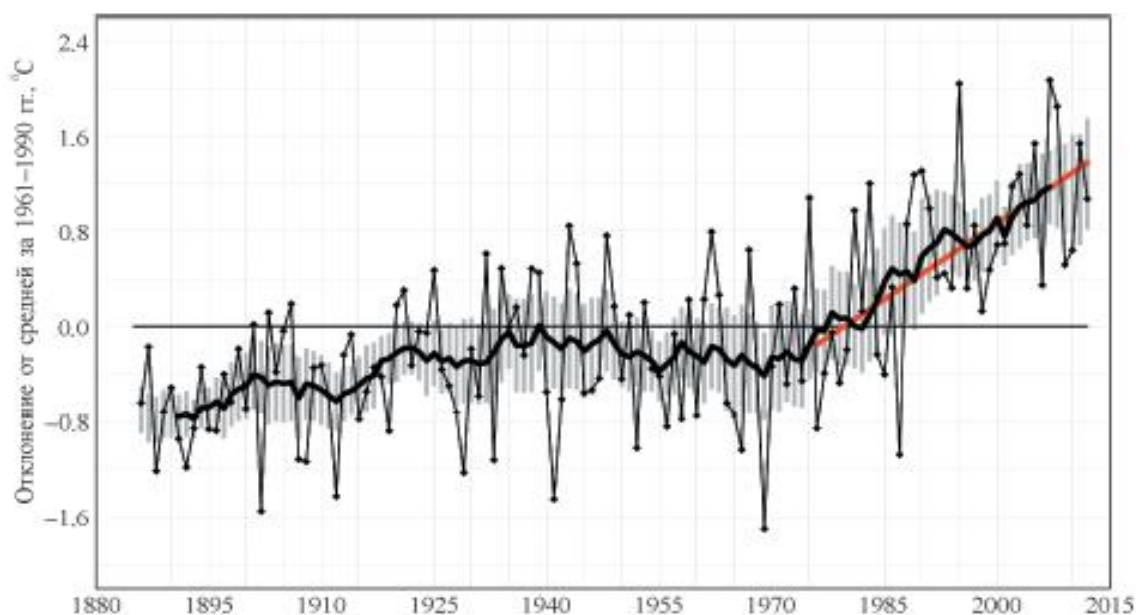


Рисунок 1 – Изменения аномалий среднегодовой температуры приземного воздуха, осредненных по территории России, в течение 1886–2012 гг. [18]

Примечание: Аномалии рассчитаны как отклонения от базовой нормы за 1961–1990 гг. Жирная кривая показывает сглаженный ход температуры (11-летние скользящие средние). Вертикальными отрезками показан 95 %-ный доверительный интервал для 11-летних средних (без учета ошибок пространственного осреднения и нарушений однородности). Красная линия – тренд за 1976–2012 гг.

Во временном ряде среднегодовых аномалий температуры приземного воздуха, осредненных по территории России, после 1976 г. характеризуется наиболее интенсивным потеплением [93].

На рисунке 2 видно, что среднегодовая скорость потепления в целом для России составляет ($0,4\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ лет}$). С другой стороны, для температуры зимних сезонов на юге Западной Сибири уже в течение нескольких лет отмечается тенденция к похолоданию (до $-0,6\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ лет}$), которая постепенно распространяется на всю Азиатскую часть России (АЧР) [18]. Изменение климата России в целом следует охарактеризовать как продолжающееся потепление с наметившейся тенденцией его замедления, что, скорее всего, связано с уменьшением радиационного воздействия и охлаждением атмосферы в результате естественной внутренней изменчивости с возможным перераспределением тепла в океане [26, 60].

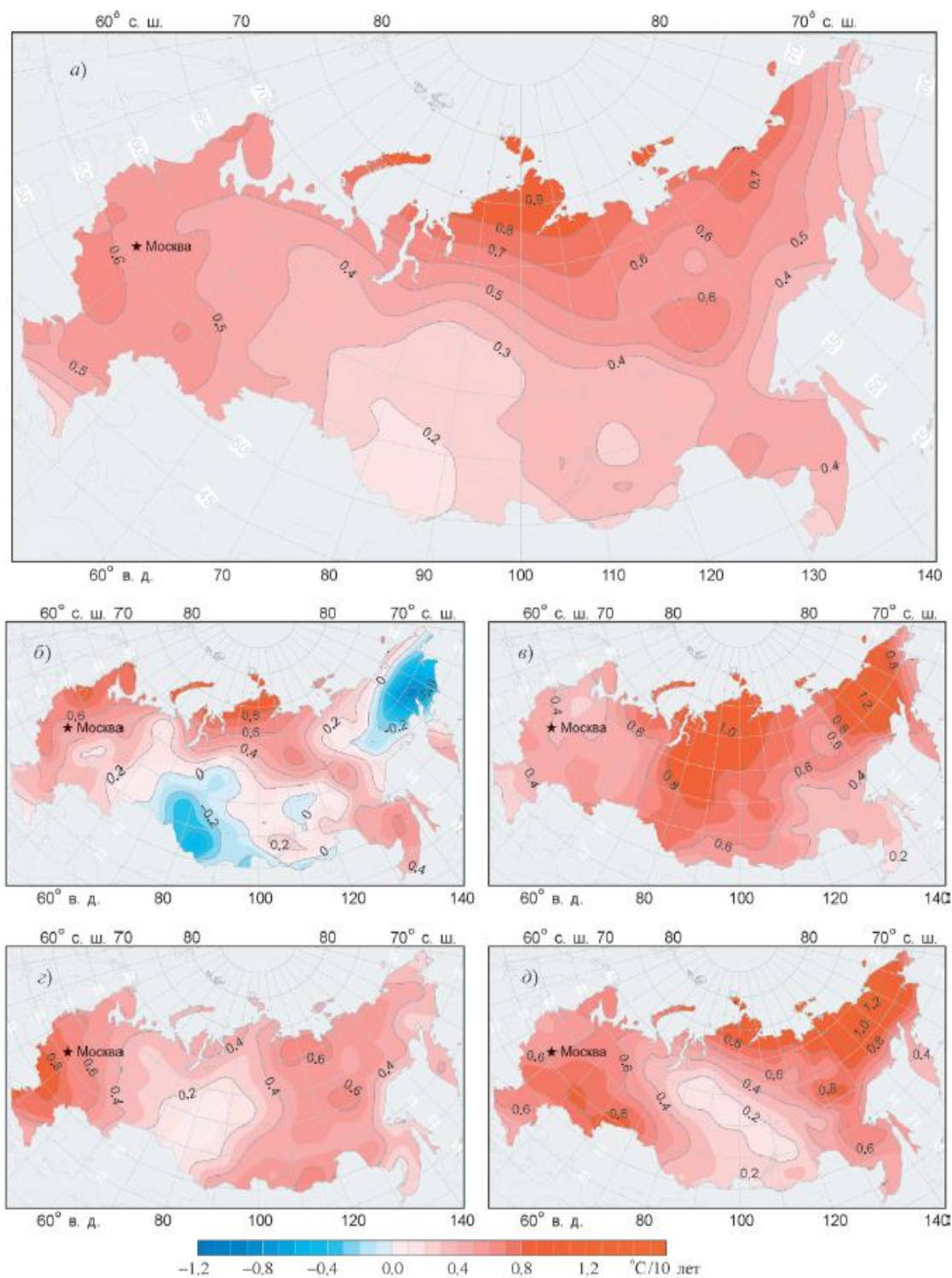


Рисунок 2 – Географическое распределение коэффициентов линейного тренда среднегодовой (а) и средней сезонной температуры (б-д) на территории России за 1976–2012 гг.: б) зима; в) лето; г) весна; д) осень по [18]

Однако высказываются мнения о том, что естественные внешние воздействия и многочисленные обратные связи между компонентами внутри климатической системы проявляются значительней, чем антропогенный фактор

[60, 93]. Так, например, высказывается гипотеза о том, что ни смотря на происходящее антропогенно–обусловленное потепление, глобальный климат всё же находится в состоянии медленного похолодания, вызванного естественными причинами – уменьшением инсоляции, изменения параметров орбиты нашей планеты и т. д. [140].

Исследования ВНИИСХМ, показывают, что в условиях текущих изменений климата, наблюдается расширение благоприятных сельскохозяйственных площадей, что необратимо приводит к повышению продовольственной безопасности России и укреплению кормовой базы животноводства [114–119]. Однако помимо положительных последствий для сельского хозяйства, существуют и отрицательные – рост повторяемости неблагоприятных и опасных погодных условий (засухи, переувлажнение почвы и т. д.), а так же нашествие вредителей [18, 20].

1.1 Агроклиматические ресурсы

Оценка степени благоприятности климатических условий для возделывания сельскохозяйственных культур возможна только при знании потребностей растения в агроклиматических ресурсах [1]. Агроклиматические ресурсы любой территории представляют собой совокупность агроклиматических факторов: световых, термических, увлажнения, перезимовки растений [23]. Данные ресурсы территории оцениваются показателями, обеспечивающие рост, развитие и формирование продуктивности (количество и качество) однолетних и многолетних сельскохозяйственных культур [53]. Уровень обеспеченности возделываемых культур необходимым количеством в первую очередь солнечной радиации, теплом и влагой определяет хозяйственную и экономическую целесообразность их выращивания на конкретной территории [58].

При изучении агроклиматических ресурсов применяют агроклиматические показатели, которые получают путем осреднения многолетних данных за вегетационные периоды или отдельные временные интервалы [158]. Эти

показатели выражают количественные связи роста, развития, состояния и формирования продуктивности сельскохозяйственных культур с факторами климата, а также реакцию растений на отдельные элементы климатической системы: температура воздуха и атмосферные осадки [89–91].

В настоящем исследовании для комплексной оценки влияния изменений климата на сельское хозяйство и землепользование рассматриваются такие агроклиматические характеристики, как термические ресурсы и характеристики увлажнения [67]. Выбор рассматриваемых агроклиматических показателей, разработанный для государственной системы мониторинга климата, основан на классическом агроклиматическом районировании, выполненном Г. Т. Селяниновым [109], Ф. Ф. Давитая [22], Д. И. Шашко и С. А. Сапожниковой [153] и М. И. Черниковой [149] в XX веке.

1.1.1 Термические ресурсы

Возможные агроклиматические границы возделывания сельскохозяйственных культур определяются их теплообеспеченностью в соответствии с потребностями растений в тепле [64]. В условиях достаточной теплообеспеченности урожай культур определяется в основном условиями их влагообеспеченности [75]. Термические ресурсы вегетационного периода характеризуются широким диапазоном, определяющим возможность произрастания многих видов и сортов сельскохозяйственных культур – от холодостойких до исключительно теплолюбивых [151]. В зависимости от уровня теплообеспеченности в большинстве регионов России умеренного климата собирают один–два урожая в год [132]. Основой термического ресурса является оценка теплообеспеченности за временные интервалы, а именно суммы активных температур, складывающихся из средних суточных температур воздуха выше 5 и 10 °С, а также даты наступления и продолжительности этих периодов [110, 156].

Термические ресурсы в пределах Западной Сибири изменяются в значительных пределах [65]. Число дней со средней суточной температурой

больше 10 °С увеличивается от 10 дней на севере до 140 дней на юге. Суммы температур, превышающих 10 °С, повышаются от 200 °С в зоне тундры до 2400 °С в степях Алтайского края, определяя возможность развития тех или иных сельскохозяйственных культур [78, 124]. По оценкам представленных в работе Д. И. Шашко на территории южной тайги ресурсы тепла (1000–1600 °С) позволяют возделывать очень ранние культуры, в лесостепных районах составляют 1600–2200 °С, где возможно возделывать более поздние и теплолюбивые культуры [150]. В степных районах Алтайского края составляют 2200–2400 °С, где становится возможным произрастание позднеспелых сортов зерна, зернобобовых, подсолнечника и сахарной свеклы [77]. Однако в условиях быстрого глобального изменения климата, осознанное в последнее десятилетие, представленные результаты исследований нуждаются в современной оценки состояния термических ресурсов на территории юго-востока Западной Сибири.

1.1.2 Ресурсы увлажнения

Эффективное использование земельных ресурсов территории возможно при учёте ресурсов естественного увлажнения [49]. Базовым материалом для определения ресурсов увлажнения почвы является количество выпавших атмосферных осадков, поскольку является важнейшей приходной частью водного баланса [48].

Проблема оптимального использования ресурсов увлажнения в условия их дефицита включает в себя оперативное решение большого круга задач [70, 71]. При этом акцент ставится на исследования неблагоприятных и экстремальных погодно-климатических условий [157]. Исследованиям вопросов засух и засушливых явлений посвящено множество работ: И. Е. Бучинский [16], И. Г. Грингоф [25], Е. К. Зоидзе [40, 41], А. Н. Золотокрылин [42], А. В. Мещерская [76], А. И. Страшная [130–131], Е. А. Черенкова [146, 147] и А. Т. Сотникова [126].

От засух страдает не только сельское хозяйство, но и другие отрасли хозяйства. Например, убытки от аномально–жаркой и засушливой погоды в 2012 г. в Западной Сибири несли: перерабатывающие отрасли, речной транспорт (на многих реках прекратилась навигация, что привело к срыву контрактов доставки грузов и банкротству речных компаний), рыболовство и лесное хозяйство региона [162]. Можно подчеркнуть, что большинство критериев качественной и количественной оценки засух проводятся по реакции на них зерновых культур, т. е. с помощью биометеорологических критериев [163]. В работе А. С. Утешева высказывается мысль о том, что подобные критерии тяжело поддаются прогнозированию, поскольку они по своей сущности имеют слабые связи с погодообразующими процессами [139]. Исходя из выше сказанного, проблема идентификации засушливых явлений решается в настоящем исследовании исключительно в климатическом направлении [73].

Периоды дождливой и прохладной погоды могут привести к снижению качества урожая. Например, дождливая погода приводит к снижению крахмала в клубнях картофеля, белка и клейковины в зерне пшеницы [69]. Важно знать не только об общем количестве атмосферных осадков за период вегетации, но и том, в какой период вегетации они выпадают [29]. Например, десертные и сладкие вина получают из винограда в тех районах, где сумма активных температур больше 3600 °С, а сумма осадков меньше 100 мм за месяц перед сбором винограда [79]. Таким образом, режим осадков в течение вегетационного периода влияет не только на произрастание сельскохозяйственных культур, но и на планируемые сроки и методы сбора урожая [120–121].

Обеспеченность сельскохозяйственных культур влагой обычно оценивают средними многолетними значениями атмосферных осадков за определенные интервалы времени (год, месяц, вегетационный период) [122]. Для более информативной оценкой условий увлажнения в агроклиматических исследованиях сельскохозяйственных территорий большое распространение получили специализированные показатели, которые отражают соотношение тех или иных метеорологических характеристик [98]. Представим такие показатели:

индекс сухости М. И. Будыко [106], коэффициенты увлажнения, предложенные Н. Н. Ивановым и С. А. Сапожниковой [22] и гидротермический коэффициент Г. Т. Селянинова [108].

Среди известных комплексных показателей увлажнения можно назвать индекс сухости М. И. Будыко [14]. Расчет индекса сухости R_i , производится по формуле (1):

$$R_i = R/L_r, \quad (1)$$

где R – радиационный баланс, Вт/м²;

L – скрытая теплота парообразования, Дж/кг.

Составляющие формулы (1) представляют отношение годового радиационного баланса R к количеству тепла L_r , необходимого для испарения годового количества осадков при достаточном увлажнении подстилающей поверхности. Его применение показало хорошее согласие с растительными зонами земного шара, но этот индекс характеризует годовые условия в целом, в то время как для растительности умеренной зоны, вегетирующей лишь в течение непродолжительного теплого периода, необходимы сезонные оценки увлажнения.

К сезонным оценкам увлажнения можно отнести коэффициент K , предложенный Н. Н. Ивановым, который рассчитывается как отношение суммы осадков к испаряемости за определенный период по формуле (2) из [22]:

$$K = R/E_p, \quad (2)$$

где R – сумма атмосферных осадков за месяц, мм;

E_p – месячная испаряемость, мм.

Величина K по формуле (2) равная 1, говорит об оптимальном увлажнении, менее 1 – недостаточное, более 1 – избыточное. Однако этот показатель требует сведений о влажности воздуха, что не всегда возможно получить в свободном доступе.

Большее распространение получили показатели, которые характеризуют влагообеспеченность сельскохозяйственных культур при естественном

увлажнении, а именно гидротермический коэффициент Т. Г. Селянинова (ГТК) по формуле (3) и коэффициент увлажнения С. А. Сапожниковой (КУ) по формуле (4) из [108]:

$$ГТК = \frac{\sum r_{,мм}}{0.1 \sum T_{\geq 10^{\circ}C}}, \quad (3)$$

$$КУ = \frac{0.5r_{X-III} + r_{IV-VIII}}{0.18 \sum T_{IV-VIII}}, \quad (4)$$

где $\sum T_{\geq 10^{\circ}C}$ – сумма среднесуточных значений температуры воздуха за рассматриваемые периоды года, $^{\circ}C$;

r – сумма атмосферных осадков, мм.

Показатели $ГТК$ и $КУ$, представляют отношение приходной части водного баланса (атмосферные осадки) к максимально возможной величине его расходной части – испаряемости. При этом испаряемость оценивается как $0,1 \sum T_{\geq 10^{\circ}C}$ и $0,18 \sum T_{IV-VIII}$.

В таблице 1 представлены следующие градации $ГТК$ по [23], которые послужили основой для интерпретации результатов настоящего исследования.

Таблица 1 – Классификации разной степени увлажнения по значениям $ГТК$ [23]

Степень увлажнения	Качественная характеристика увлажнения	Степень увлажнения	Качественная характеристика увлажнения
$ГТК < 0,2$	очень сильная засуха	$0,7 \leq ГТК < 1,0$	недостаточная
$0,2 \leq ГТК < 0,4$	сильная засуха	$1,0 \leq ГТК < 1,4$	оптимальная
$0,4 \leq ГТК < 0,6$	средняя засуха	$1,4 \leq ГТК < 1,6$	повышенная
$0,6 \leq ГТК < 0,7$	слабая засуха	$\geq 1,6$	избыточная

В некоторых работах, в частности [55] пороговые значения могут несколько отличаться. Отличие не превышает 0,1. В настоящей работе используются градации принятые ВНИИСХМ [23].

1.1.3 Районирование агроклиматических ресурсов

Агроклиматическое районирование – это деление той или иной территории по признаку соответствия агроклиматических ресурсов потребностям возделывания культур [24]. Основной задачей агроклиматического районирования является выделение территории по определенным агроклиматическим условиям, выраженными агроклиматическими показателями и спецификой сельского хозяйства [154].

Целью агроклиматического районирования является составление специализированных карт основанных на различии агроклиматических ресурсов. В процессе районирования можно выделить области, несвязанные между собой географически, но имеющие аналогичные агроклиматические условия. Предложено много разных методов общего и специального агроклиматического районирования, которые осуществляются на основе учёта климата к потребностям сельского хозяйства в научно–исследовательских работах Г. Т. Селянинова [108], С. А. Сапожниковой [22], Д. И. Шашко [154], П. И. Колоскова [58, 59]. Подробное районирование территория исследования получило отражение во многих исследованиях. Так, например, в работах М. И. Черниковой [148] и Н. В. Устиновой [138], где большое внимание отводилось оценке агроклиматических условий и продуктивности растениеводства на территории Западной Сибири.

В качестве примера, в таблице 2 представлена общеизвестная схема общего районирования по Г. Т. Селянинову [23].

Таблица 2 – Термические пояса на территории России предложенная Г. Т. Селяниновым [23]

Термический пояс	Средние многолетние суммы температур за период температурой выше 10 °С	
	<i>Европейская часть России</i>	<i>Западная Сибирь</i>
Прохладный	1600	1500
Умеренно–тёплый	2200	2100
Тёплый	3000	3000
Жаркий	4000	4000

Подобная оценка выполнялась по условиям теплообеспеченности для периода с температурой воздуха выше 10 °С (период активной вегетации). Прохладный подпояс обеспечен теплом для возделывания кормовых и овощных культур, а в более благоприятных условиях микроклимата возможно выращивание ранних сортов зерновых культур. В умеренно–теплом подпоясе термический режим обеспечивает теплом возделывание яровых и озимых культур. Теплый подпояс позволяет возделывать поздние яровые, а также и пожнивные культуры. Тепловые ресурсы жаркого подпояса обеспечивают ежегодные урожаи средних сортов кукурузы [109].

Согласно исследованиям тепло– и влагообеспеченности, проведенных Г. Т. Селяниновым, удалось уточнить засушливую зону, с выделением трёх подзон, различающихся по степени засушливости. В таблице 3 приведены зоны и подзоны увлажнения по грациям ГТК. Избыточно влажная зона характеризуется значением индекса больше 1,6, а лесная влажная зона находится в пределах от 1,6 до 1,3. Лесостепные зоны характеризуются величинами ГТК от 1,3 до 1,0 степные от 1,0 до 0,4. Сухая зона представляется условиями гидротермического режима менее 0,4 (полупустыня и пустыня) [23].

Таблица 3 – Зоны и подзоны увлажнения по ГТК по [23]

Зона увлажнения	Провинция	Природная зона	ГТК
Влажная	Избыточно влажная	Тайга	$\geq 1,6$
	Влажная	Тайга и лиственные леса	1,6–1,3
Засушливая	Слабо засушливая	Лесостепь	1,3–1,0
	Засушливая	Степь	1,0–0,7
	Очень засушливая		0,7–0,4
Сухая	Сухая	Полупустыня	0,4–0,2
	Очень сухая	Пустыня	$< 0,2$

Для сравнения в таблице 4 приведены общеизвестные в агроклиматической практике составляющие ресурсов тепла и влаги, которые используются для решения вопросов агроклиматического районирования территории такими

известными исследователями как Г. Т. Селяниновым [108], П. И. Колосковым [58] Д. И. Шашко [153].

Таблица 4 – Примеры показателей, используемые в агроклиматическом районировании

Оценка	Г. Т. Селянинов	П. И. Колосков	Д. И. Шашко
Ресурсы тепла	$\sum_{t \geq 10^{\circ}\text{C}}$	$\sum_{t \geq 0^{\circ}\text{C}}$	$\sum_{t \geq 10^{\circ}\text{C}}$
Ресурсы влаги	$ГТК$	$K_{год} = r / \sum(E - e)$	$Md = r / \sum(E - e)$
<i>Примечание: Здесь r (количество выпавших осадков, мм); $\sum(E - e)$ – сумма средних суточных дефицитов влажности воздуха за год, мм; $\sum_{t > 0, 10^{\circ}\text{C}}$ – сумма среднесуточных температур воздуха выше 0, 10 °С.</i>			

Исходя из представленных критериев, становится возможным решить конкретные задачи, связанные с размещением тех или иных сельскохозяйственных культур, где конечным этапом является выход в оценку их экономической рентабельности.

1.2 Природное зонирование юго-востока Западной Сибири

Западно-Сибирская равнина – одна из немногих физико-географических районов, границы которых отчетливо выражены в рельефе [33]. Её рубежами на западе являются восточные предгорья Урала. На востоке равнина ограничена уступом Енисейского кряжа (1000–1500 м) и Среднесибирского плоскогорья, вдоль которого расположилась долина реки Енисей, на севере омывается водами Карского моря. Южная часть равнины является районом исследования, уходит за пределы России в Казахстан и лишь на крайнем юго-востоке граничит с Кузнецким Алатау и Алтаем [35]. Данная территория является наиболее освоенной и обжитой, где природа в значительной мере изменена хозяйственной деятельностью человека [34].

На рисунке 3, приведена карта природных зон на территории Западной Сибири. Природные зоны юга Западной Сибири характеризуются плавным

переходом (с севера на юг) от южной тайги к лесостепи, а те, в свою очередь, постепенно вытесняются степями [142].

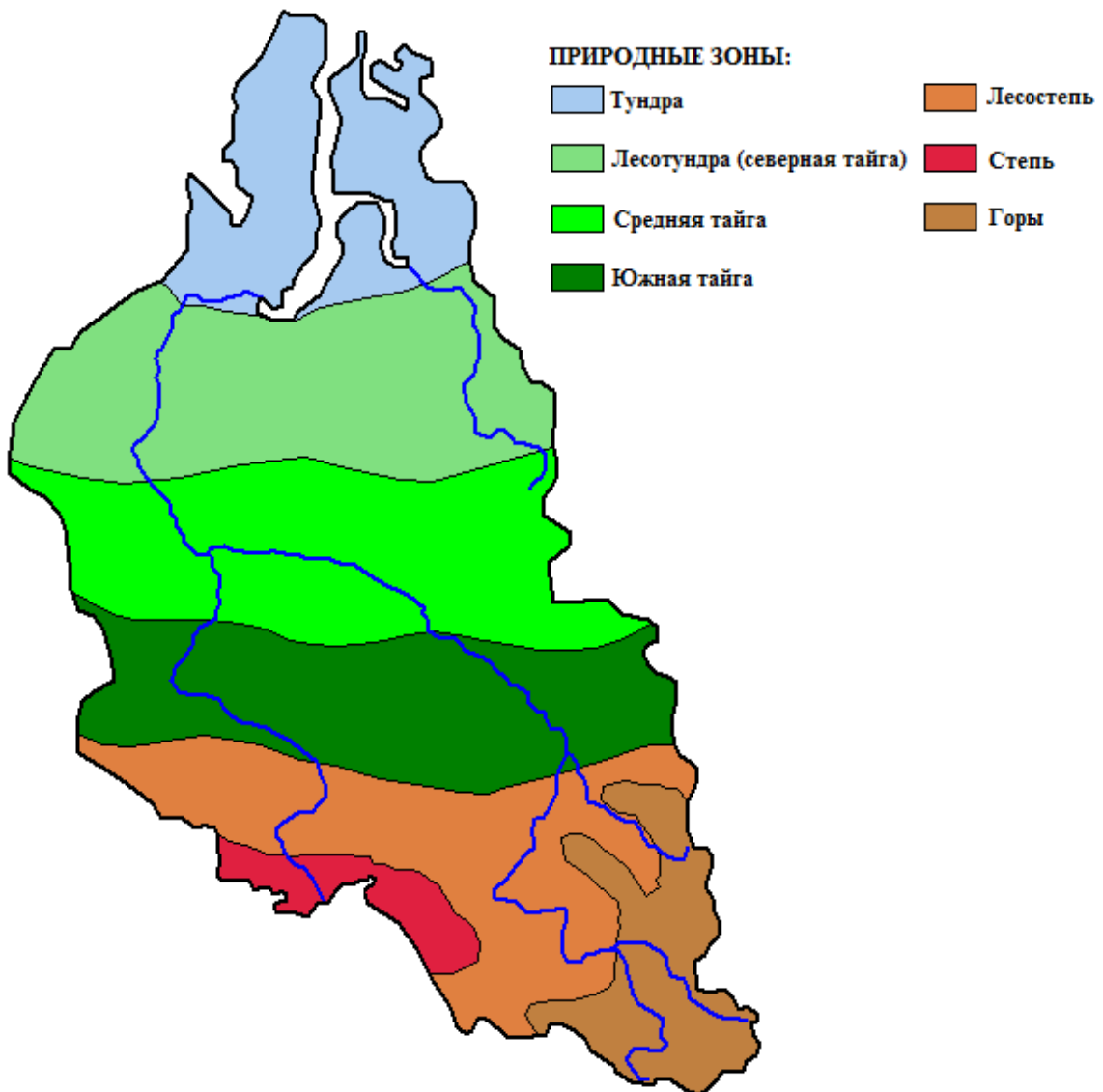


Рисунок 3 – Карта–схема расположения природных зон на территории Западной Сибири [142]

Южная тайга. Основным типом лесов зоны являются темнохвойные леса с преобладанием ели сибирской, пихты сибирской и сосны сибирской (кедра) [125, 46]. Самые крупные в мире болотные массивы (Васюганское болото) расположены в южной тайге [72]. Они постоянно увеличивают свои размеры и наступают на окружающие территории с развитием сфагнового покрова [52].

Лесостепная зона. Рассматриваемая зона тянется узкой полосой (от 100 до 300 км) от Урала до предгорий Салаирского кряжа и Алтая, южная граница зоны

проходит по реке Уй – левому притоку Тобола, южнее Петропавловска к Омску и далее к Барнаулу. Характерной чертой лесостепи Западной Сибири является гривно–лощинный рельеф и обилие соленых бессточных озер. Большие площади в зоне занимают пашни, она наиболее густо заселена и освоена [8].

Степная зона. Охватывает южную часть Омской и юго-западную часть Новосибирской областей, а также западную часть Алтайского края. В неё входят Кулундинский, Алейский и Бийский степной район. Своеобразие заключается в большой заозёрности, в меньшем количестве атмосферных осадков, более холодной и малоснежной зиме, чем в степях Русской равнины. В пределах зоны по древним ложбинам стока ледниковых вод произрастают ленточные сосновые боры [142].

1.2.1 Специфика сельского хозяйства

Благодаря сложившимся природно-климатическим условиям юг Западной Сибири хорошо подходит для вызревания многих сельскохозяйственных культур (рожь, ячмень, яровая пшеница) [20, 67]. К данным районам относятся агропромышленные комплексы Новосибирской, Омской, юг Томской областей и Алтайский край [95].

Алтайский край – житница не только Западной Сибири, но и всей страны. Это крупнейший производитель зерна в Российской Федерации, регион располагает серьезными перспективами дальнейшего развития производства сельскохозяйственной продукции. По объёмам производства зерна и в первую очередь высококачественной яровой пшеницы край входит в первую пятёрку регионов России, а зерновое поле Алтая является самым большим в России. Благоприятные почвенно-климатические условия на территории края позволяют выращивать широкий спектр зерновых культур (ячмень, рожь, овёс, просо, гречиха, бобы, подсолнечник) и сахарную свеклу. В крае выращивают лён-долгунец для производства маслених семян и короткого волокна, а также развивается садоводство [5].

Новосибирская область. Основной сельскохозяйственного комплекса являются: зерно, картофель, овощи, лён. Посевы зерновых преобладают, в основном, в южных районах Барабинской низменности. Льноводство и картофелеводство развито правобережье Оби, а вокруг Новосибирска сосредоточено производство картофеля, овощей, продуктивное животноводство и птицеводство. Из технических культур основную роль играет лён. Аграрный потенциал Новосибирской области велик, этому способствуют высокий процент сельхозугодий и структура пашни. Доля области по основным видам сельскохозяйственного производства велика и продолжает расширяться [17].

Омская область – крупный сельскохозяйственный район Западной Сибири. Две трети сельскохозяйственных угодий находятся в степной и лесостепной зонах, где находятся благоприятные природно–климатические условия. Отраслями сельского хозяйства являются растениеводство (основные виды продукции – пшеница, рожь, ячмень, овёс), молочно-мясное животноводство, птицеводство, свиноводство. Омская область входит в первую десятку крупнейших производителей зерна Российской Федерации [95].

С учетом природно-климатических условий Томской области, основной задачей растениеводства является выращивание продукции для развития кормопроизводства, а также картофельной и овощной продукции [28]. Сельскохозяйственные организации южных районов Томской области являются основными производителями зерна (более 83 % валового производства зерна в целом по области) и льноволокна (100 %). В среднем за год производится до 400 тысяч тонн зерна, до 100 тысяч тонн овощей, 260 тысяч тонн картофеля [2].

Немаловажной стороной вопроса является то, что юг Западной Сибири обладает хорошо развитым аграрным сектором – по размерам посевных площадей занимает второе место (13,6 %), уступая Поволжскому (22,0 %) району. По данным Федеральной службы государственной статистики (Росстат) за 2010–2014 гг., валовой сбор зерновых и зернобобовых культур в Алтайском крае составляет 2517–4926 тыс. тонн, в Омской и Новосибирской областях – 1240–3428 тыс. тонн. За последние 5 лет наблюдается положительная динамика сбора урожая зерновых

культур, где вклад региона исследования в общую по России урожайность возрос с 11 до 14 % [160].

В преобладающем большинстве, исследования посвящённые теме воздействия изменений климата на сельское хозяйство, отражают результаты только для крупных географических областей, либо целых экономических районов России [88]. Отмечено, что изменения агроклиматических ресурсов в отдельных небольших районах России полностью не вписываются в общую парадигму глобального изменения климата и нуждаются в детализации [114]. Понимание подобной ситуации определило нацеленность подобного исследования на анализ агроклиматических ресурсов в особенности их изменчивости, экстремальности и воздействии на ведение сельского хозяйства юго-востока Западной Сибири.

2 ОЦЕНКИ СОВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ АГРОКЛИМАТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ ЮГО-ВОСТОКА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

В условиях меняющегося климата оценка его современных изменений является актуальной и важной научной задачей [10, 129]. Данные последнего доклада МГЭИК, показывают, что глобальные климатические условия с середины 1970-х годов изменяются необыкновенно быстрыми темпами [161]. В ближайший период (15–20 лет) наблюдаемые изменения климата на территории России будут продолжаться и, возможно, ускорятся, что необходимо учитывать уже сейчас при планировании в сельском хозяйстве [39, 18].

Превалирующее большинство исследований посвященных оценке современных изменений агроклиматических ресурсов отражают результаты только для крупных географических областей (Западная Сибирь учитывается в целом), а анализ изменений климата на отдельно взятых небольших территориях, которые могут иметь свои особые последствия и проблемы для сельского хозяйства не проводились давно, а между тем накоплены новые данные наблюдений, включая засушливый 2012 г. [88, 58]. Понимание данной ситуации определили нацеленность выполняемой работы на изучение динамики климат обусловленных изменений поступающего количества тепла и влаги в период развития сельскохозяйственных культур, на примере юго-востока Западной Сибири.

2.1 Материалы и методы исследования

2.1.1 Исходные данные

Источником информации о климате и его изменениях является глобальная и региональная система наблюдений за климатом [30]. В данной работе приоритет отдан использованию ежесуточных станционных данных о приповерхностной температуре воздуха и атмосферных осадков за 52 года (период с 1961 по

2012 гг.) информационной базы данных ВНИИГМИ–МЦД по 17 метеорологическим станциям [47]: Бакчар, Барабинск, Барнаул, Бийск (Бийск–Зональный), Камень-на-Оби, Кемерово, Новосибирск (Огурцово), Омск, Первомайское, Ребриха, Рубцовск, Русская Поляна, Славгород, Северное, Тара, Татарск, Томск.

Метеорологическая информация рассматриваемых станций имеют менее 10 % пропусков в рядах наблюдений, не имеют пропусков за базовый период (1961–1990 гг.) и станции являются действующими в настоящем времени.

2.1.2 Рассматриваемые агроклиматические характеристики

В настоящей работе, которая связана с оценкой агроклиматического режима юго-востока Западной Сибири представлены следующими агроклиматическими характеристиками (показателями) по [23]:

– сумма среднесуточных значений температуры воздуха за период календарного года со среднесуточной температурой воздуха, превышающей 5 и 10 °С ($\sum T_{5,10}$);

– даты перехода среднесуточной температуры воздуха через границы 5 °С весной и осенью (D_5);

– продолжительность вегетационного периода, когда среднесуточная температура воздуха, превышает 5 и 10 °С ($P_{5,10}$);

– сумма атмосферных осадков за период календарного года со среднесуточной температурой, превышающей 5 и 10 °С ($R_{5,10}$);

– гидротермический коэффициент Г. Т. Селянинова (ГТК), характеризующий соотношения изменений температуры воздуха и количества выпавших атмосферных осадков за период активной вегетации.

Алгоритм, основанный на методе Д. А. Педя для определения представленных агроклиматических показателей, был реализован на базе Visual FoxPro 9.0 (Microsoft, USA) [87].

2.1.3 Используемый метод пространственной интерполяции агроклиматических характеристик

На рисунке 4 изображена территория исследования, которая представляет собой регион, включающий в себя Омскую, Кемеровскую, Новосибирскую, южную часть Томской области и Алтайский край с оптимально размещенными на ней станциями. В пределах области исследования средние значения расстояния между станциями составляют около 150 км.



Рисунок 4 – Карта–схема расположения гидрометеорологических станций на территории юго-востока Западной Сибири

Проблема пространственной интерполяции агроклиматических показателей решается с помощью критерия учёта географической неоднородности сети станций [55]. В качестве данного критерия используется интерполяция

станционных данных в регулярную сеть с использованием метода Кригинга с линейной моделью вариограммы, осуществленный на WinSurfer 8.0. Данная интерполяция происходила в регулярные узлы сетки с заданным шагом широтно-долготной сетки 0,5 градуса.

Рассмотренные станции не имеют большого перепада высот, в среднем около 100–150 м. Таким образом, мы имеем относительно однородный набор станций, без учёта горного влияния, которые могли бы исказить картину результатов из-за горноклиматических особенностей [140]. Учитывая то, что ландшафт области исследования довольно однородный, в результате заполнения узлов сетки не должно возникнуть значительных ошибок. Качество полученной нами сеточной информации в пределах буферной зоны исследования удовлетворительно.

2.1.4 Методы, используемые в статистической обработке агроклиматических характеристик

Статистический анализ многолетних рядов агроклиматических показателей для выявления и анализа локальных проявлений глобальных процессов изменения климата сводится в настоящем исследовании к следующим действиям по [111]:

1. Получение средних многолетних агроклиматических показателей [15]. Средние многолетние значения агроклиматических показателей рассчитываются путем осреднения за определенный интервал времени [105]. В качестве средних многолетних значений для оценивания агроклиматических показателей, характеризующий текущий климат, по рекомендации ВМО, используется период равный 30 годам, в данном исследовании используется базовый период 1961–1990 гг. [18].

2. По представленным характеристикам агроклиматических показателей рассчитываются аномалии. Аномалии определены как отклонения наблюдаемых значений от базовой нормы.

3. Расчёт и построение EV-диаграмм скользящих оценок средних величин и средних квадратических отклонений агроклиматических показателей для n периодов осреднения. Данный метод основан на сдвиге положения центра распределения метеорологических параметров: $f(x)$ – среднее арифметическое (E) и (V) изменении их дисперсии, пример которой представлен на рисунке 5.

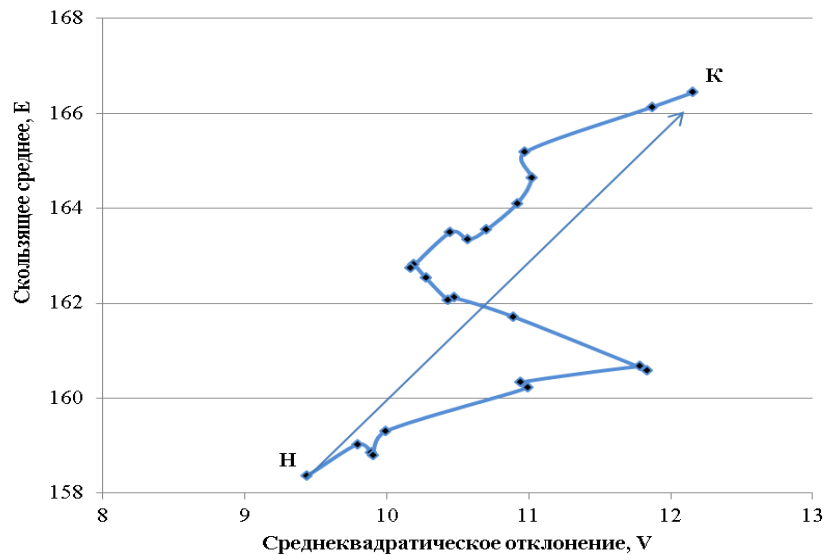


Рисунок 5 – Пример EV-диаграммы изменений центров распределения и разброса продолжительности периода со среднесуточной температурой воздуха выше 5 °C для скользящих 30-летних периодов с 1990 по 2012 гг. в Барабинске (точка Н – состоянию климата за 1961–1990 гг., а точка К – 1983–2012 гг. соответственно)

По вертикальной оси графика наносятся значения скользящих средних, а по горизонтальной – соответствующие оценки средних квадратических отклонений, которые определяют функцию плотности нормального распределения [23].

Трансформация кривой распределения плотности вероятности происходит за счет добавления нового наблюдения и изъятия самого «старого» наблюдения анализируемого временного ряда. Так, например, чем сильнее два соседних наблюдения отличаются друг от друга, тем на большее расстояние каждый год смещается точка, характеризующая текущее состояние климата. Таким образом, EV-диаграммы позволяют осуществлять постоянный мониторинг текущих колебаний климата [30].

4. Базовые нормы любого элемента климата не отражают их изменчивости, так как средняя многолетняя величина очень редко наблюдается в отдельно взятый год и оказывается сильно «сглаженной» [134]. Так, например, суммы температур за тот или иной период года могут отличаться на сотни градусов. Поэтому при оценке рассматриваемых показателей было необходимым провести расчёт скользящих оценок интеграла вероятности нормального распределения по формуле (5) из [23]:

$$F(y_p, \bar{y}, \sigma) = \int_{-D}^{y_p} \frac{1}{\sigma_y \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{y_k - y}{2\sigma_y} \right] d_y, \quad (5)$$

где $F(y_p, y, \sigma_y)$ – обеспеченность заданного уровня.

5. Для более полной оценки возможно возделывания конкретных сельскохозяйственных культур в данном исследовании были рассчитаны обеспеченности определённых величин сумм температур исследуемой территории по методике Ф. Ф. Давитая. Расчётная формула (6) для определения обеспеченности (P, %) отклонений сумм температур от климатической нормы (базовая норма) имеет вид по [112]:

$$P = 50,33 - 7,54 \left(\frac{\sigma}{50} \right) + 0,002 \left(\frac{\sigma}{50} \right)^2 + 0,24 \left(\frac{\sigma}{50} \right)^3, \quad (6)$$

где σ – среднеквадратическое отклонение от средней многолетней суммы температуры воздуха выше 10 °С.

В данном исследовании определялись суммы температур обеспеченные в 90 % лет, поскольку при заданном пороговом значении развития растений возможно без применения дополнительных агротехнических мероприятий. Погрешность расчётов находится в интервале 3–5 %, что является допустимым в агроклиматологии [22].

6. В качестве характеристики изменений климата за определенный интервал времени используется коэффициент линейного тренда, оцененный методом наименьших квадратов. Он характеризует среднюю скорость изменений рассматриваемых агроклиматических показателей на заданном интервале времени. В качестве меры существенности тренда используется доля дисперсии переменной, объясняемая трендом, т.е. R^2 (%) дисперсия случайной ошибки (коэффициент детерминации). Достоверность тренда оценивается с привлечением статистики Стьюдента, где в рамках принятой гипотезы используется 5%-ый уровень значимости. Если изменение климата превосходит заданный уровень значимости, то наличие тренда считается статистически значимым [26].

Изменение климата в данном исследовании будем в прямом или косвенном виде приписывать к человеческой деятельности, меняющей состав глобальной атмосферы, и является добавкой к естественной климатической изменчивости для сравниваемых периодов времени [122]. Таким периодом принято считать период с 1976 года – начало периода интенсивного потепления [23]. Подобное условие, позволяет оценить только текущие изменения климата вследствие как естественных, так и антропогенных причин [120].

7. В целях более глубоко изучения устойчивости тенденций во времени (персистентности) рассматриваемых рядов агроклиматических показателей, используется R/S анализ [9].

При помощи показателя Хёрста (H) можно отличить случайный ряд от неслучайного (обладают долговременной памятью), даже если случайный ряд не нормально распределен [38]. Таким образом, благодаря показателю H становится возможным получить дополнительную практическую информацию о текущих тенденциях агроклиматических показателей [31, 94]. В исследовании [68] отмечено, что закон H выполняется для многих природных явлений и процессов с помощью формулы (7) по [164]:

$$H_T = \frac{\log(R/S_T)}{\log(\pi \times N/2)} \times (-0,0011 \times \ln(N) + 1,0136) \quad (7)$$

где R – разность между экстремумами временного ряда ($max - min$);

S_T – среднеквадратическое отклонение;

N – общее количество выборки.

Интерпретируя физический смысл формулы (7), можно сказать, что показатель $H > 0,5$ является своеобразным отражением фрактальных свойств процесса и является общим свойством природных процессов в отличие от антропогенных процессов [73]. В работе Ю. А. Калуша [51] высказывается предположение, что при $H > 0,5$ наблюдаемая тенденция сохранится и в ближайшем будущем – свойство персистентности. То есть, если ряд начал возрастать, ждите, что он будет возрастать и дальше. Устойчивость тренда тем больше, чем ближе H к 1, потому что чем больше корреляция между процессами, тем более одинаково они себя ведут. Чем ближе H к 0,5, тем более зашумленный и менее выраженный тренд получается на выходе. При $H < 0,5$ тенденция сменяется на противоположную – тренд не устойчив (свойство антиперсистентности). Происходит так называемый "возврат к среднему": если система растет в какой-то период, то в следующий период надо ожидать его спада. При стремлении H к нулю, временной ряд испытывает устойчивые осцилляции. Если $H = 0,5$ получается истинно случайный ряд чисел, то есть события случайны и не коррелированы [164]. В данном исследовании были рассчитаны показатели H агроклиматических показателей, в целях интерпретации физического смысла их тенденций, т. е. наличие или отсутствие долговременной памяти у рассматриваемых временных рядов.

2.2 Тенденции современных изменений термических ресурсов

Сведения о термических ресурсах необходимы для решения большого количества вопросов в области сельскохозяйственного землепользования, а так же

оптимизации сортового и видового состава возделываемых сельскохозяйственных культур в условиях меняющегося климата [23, 92].

Для выделения видимых флуктуаций рассмотрим количественные данные об аномалиях пространственно–осредненных по территории исследования: среднегодовой температуры воздуха, изображенные на рисунке 6, выборки которых представлены в таблице 1.1 из приложения 1.

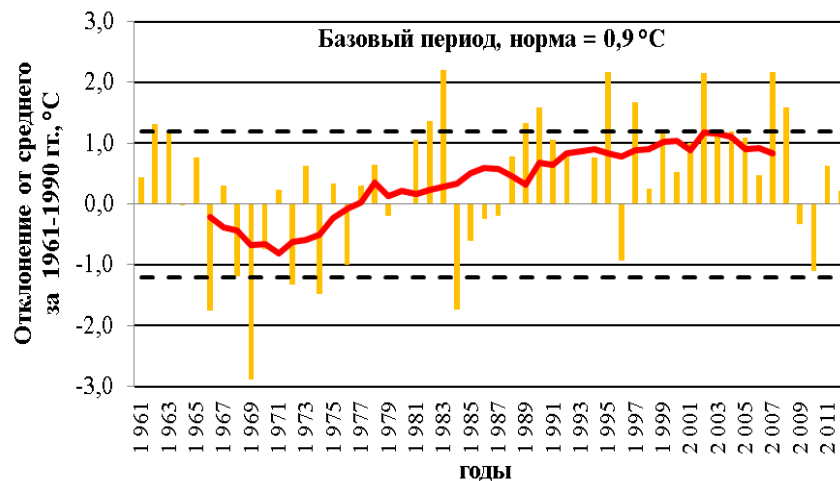


Рисунок 6 – Временной ход аномалий средней годовой температуры воздуха на территории юго-востока Западной Сибири за период 1961–2012 гг.

Примечание: Аномалии рассчитаны как отклонения от базовой нормы (1961–1990 гг.). Сглаженная кривая получена 11-летним скользящим осреднением. Пунктирными линиями показано положение $\pm 1,25\sigma$ – отклонение величин от базовой нормы.

По характеру поведения положительных аномалий среднегодовой температуры воздуха, приведенных на рисунке 6, можно сказать, что активное потепление на территории юго-востока Западной Сибири началось с начала 80-х XX века до настоящего времени. Если в шестидесятые годы количество лет с положительными отклонениями среднегодовой температуры воздуха ($\geq 1,25\sigma$) было всего – 2, а в семидесятые вообще не наблюдались, то в восьмидесятые – 3, девяностые – 4, а в первом десятилетии XXI века их стало – 5.

Рассмотрим количественные данные об аномалиях (Δ) пространственно–осредненных по территории исследования продолжительности периодов с температурой воздуха выше 5 и 10 °C. ($P_{5,10}$), изображенные на рисунке 7, выборки которых представлены в таблице 1.2 из приложения 1.

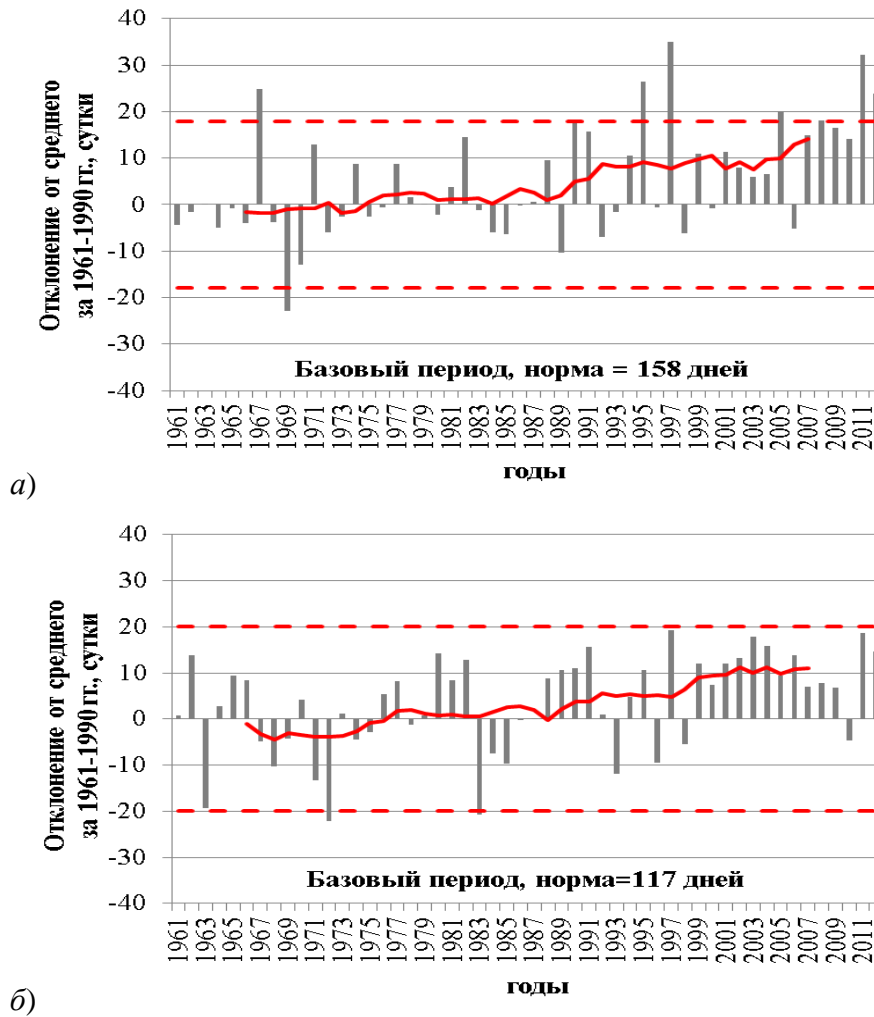


Рисунок 7 – Временной ход аномалий $P_{5,10}$ (а, б) на территории юго-востока Западной Сибири за период 1961–2012 гг.

Примечание: Аномалии рассчитаны как отклонения от базовой нормы (1961–1990 гг.). Сглаженная кривая получена 11-летним скользящим осреднением. Пунктирными линиями показано положение $\pm 2\sigma$ – отклонение величин от базовой нормы.

По характеру поведения положительных $\Delta P_5 - \geq 2\sigma$, приведенных на рисунке 7а, можно сказать, что за период 1961–1989 гг. количество случаев такого рода аномалий было всего – 1, то в девяностые – 3, а в первом десятилетии XXI века их стало уже 4. Так, например, в 1997 году наблюдался самый продолжительный период вегетации ($\Delta P_5 - 35$ дней). На рисунке 7б видно, что до 90-х годов XX века встречаются 4 из 5 самых коротких P_{10} , где отклонения от нормы составляли 19–21 дня. С начала 90-х XX в. картина кардинально меняется в сторону превалирования положительных ΔP_{10} , где находятся 5 самых продолжительных периодов активной вегетации, но случаи с аномалиями $\geq 2\sigma$ не наблюдались.

Проанализирована временная изменчивость аномалий (Δ) пространственно–осредненных по территории исследования сумм среднесуточных значений температуры воздуха за период календарного года со среднесуточной температурой воздуха, превышающей 5 и 10 °С ($\sum T_{5,10}$), изображенные на рисунке 8, выборки которых представлены в таблице 1.2 из приложения 1.

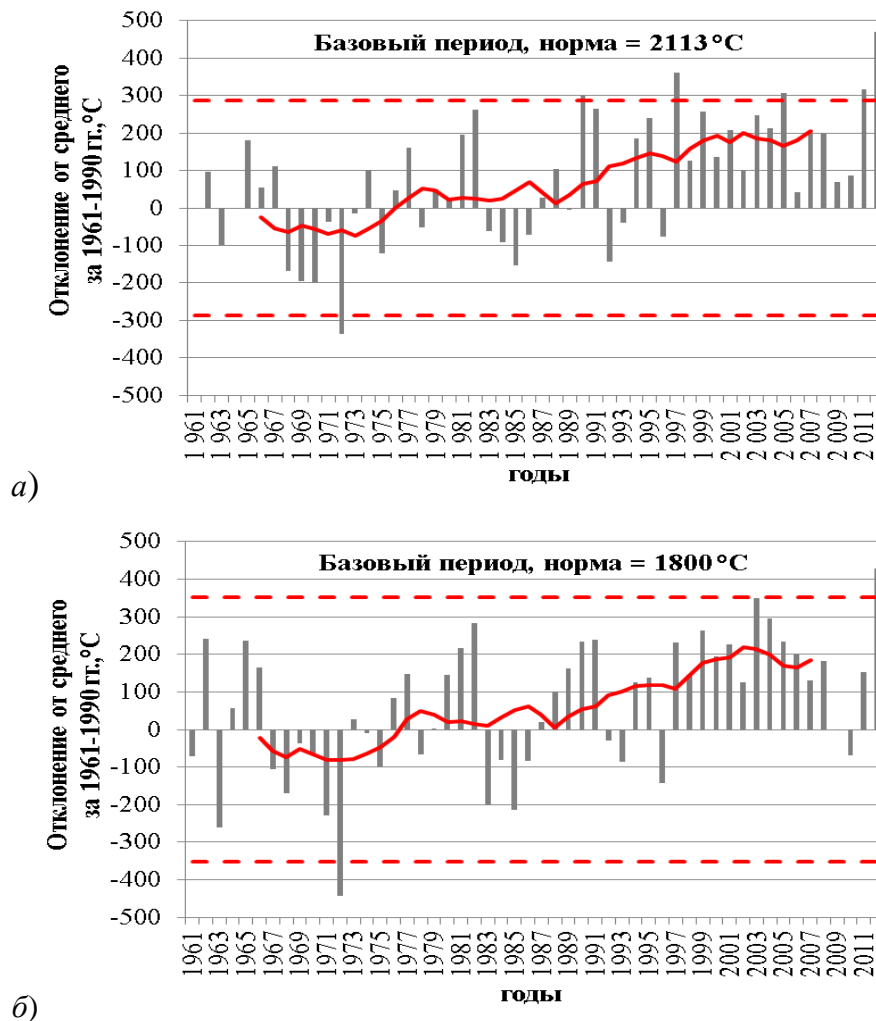


Рисунок 8 – Временной ход аномалий $\sum T_{5,10}$ (а, б) на территории юго-востока Западной Сибири за период 1961–2012 гг.

Примечание: Аномалии рассчитаны как отклонения от базовой нормы (1961–1990 гг.). Сглаженная кривая получена 11-летним скользящим осреднением. Пунктирными линиями показано положение $\pm 2\sigma$ – отклонение величин от базовой нормы.

На рисунке 8 видно, что превалирование положительных $\Delta \sum T_{5,10}$ стало отмечаться в последние десятилетия, по аналогии с $\Delta \Pi_{5,10}$. По характеру поведения приведенных $\Delta \sum T_5$ на рисунке 8а, можно сказать, что самые прохладные периоды вегетации отмечались на рубеже 60–70 годов XX века. С

начала 90-х годов XX века наблюдается полное господство положительных аномалий над отрицательными, где наблюдалось 4 из 5 особо сильные положительные аномалии ($\Delta\sum T_5 \geq 2\sigma$) по теплообеспеченности за вегетационный период (1997, 2005, 2011 и 2012 г.). Исключительным оказался 2012 г., где $\Delta\sum T_5$ составила 471 °С (1 ранг).

На рисунке 8б, где изображён временной ход $\Delta\sum T_{10}$, прослеживаются аналогичные тенденции, что и у $\Delta\sum T_5$. Отметим, что $\Delta\sum T_5$, в большей степени формируются за счёт $\Delta\sum T_{10}$, где их вклад за весь период выборки (1961–2012 гг.) составил 85 %, а коэффициент ранговой корреляции Спирмена, равный 0,83, подтверждает их сильную прямую связь. Случай с положительным отклонением ($\geq 2\sigma$) для $\sum T_{10}$ отметилось впервые в 2012 году.

Таким образом, участвовавшие случаи формирования положительных аномалий характеристик теплообеспеченности стали приводить к неоднозначным последствиям для сельского хозяйства. Так, например, в Алтайском крае увеличение продолжительности вегетации, безусловно, положительный фактор, но сокращение периода налива зерна и более раннее созревание при повышении теплообеспеченности часто приводило к снижению урожайности по причине несвоевременной готовности техники к уборке. Это привело к тому, что отдельные хозяйства региона исследования стали переориентироваться на более теплолюбивые сорта и гибриды: яровой пшеницы, ячменя, овса и др. [1, 2].

Дополнительно, для анализа текущих изменений рассмотрим EV-диаграммы изменений центров распределения и разброса показателей теплообеспеченности для скользящих 30-летних периодов с 1961 по 2012 гг. на территории юго-востока Западной Сибири. Данные EV-диаграммы представлены на рисунке 9, результаты которых представлены в таблице 4.1 из приложения 4.

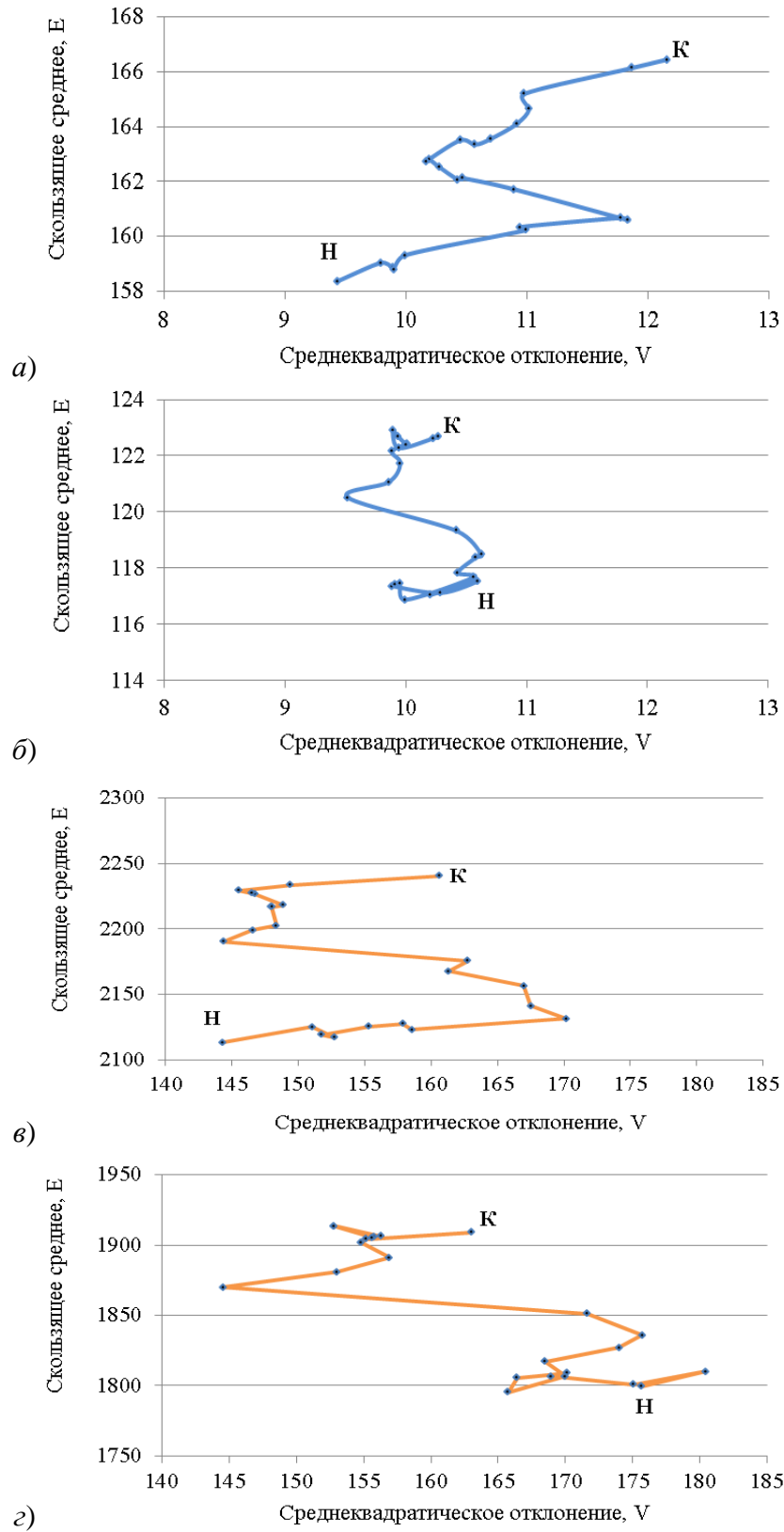


Рисунок 9 – EV-диаграммы изменений центров распределения и разброса $P_{5,10}$ (а, б) и $\Sigma T_{5,10}$ (в, г) для скользящих 30-летних периодов с 1961 по 2012 гг. на территории юго-востока Западной Сибири (Н – состояние климата за 1961–1990 гг.; К – 1983–2012 гг. соответственно)

Представленные кривые соединяют точки (Н) – (К) и визуализируют траекторию движения рассматриваемых термических показателей. Изменения этих показателей не было монотонным и однонаправленным. Главная тенденция этих изменений – чёткий региональный отклик на глобальное потепление. Так, 30-летние средние значения P_5 возросли с 158 до 166 дней (рис. 9а), P_{10} – с 117 до 123 дней (рис. 9б). При этом $\sum T_5$ также возросла с 2113 до 2240 °С (рис. 9в), $\sum T_{10}$ – с 1800 до 1909 °С (рис. 9г).

В связи с потеплением изменяется и форма функции распределения. Можно отметить тенденцию к небольшому увеличению межгодовой изменчивости P_5 , где среднеквадратическое отклонение (V) возросло с 9 до 12 дней (рис. 9а) и $\sum T_5$ – с 144 до 161 °С (рис. 9б), что следует отнести к негативным последствиям наблюдаемых изменений климата. Обратные условия наблюдаются $\sum T_{10}$, где V сократилось от 176 до 163 °С (рис. 9г), а P_{10} – не изменилась (рис. 9б), что следует отнести к положительным последствиям наблюдаемого изменения климата – внедрение более теплолюбивых сортов и гибридов яровой пшеницы.

Исследование современных тенденций изменения D_5 с помощью EV-диаграмм, позволяют оценить не стационарность климатических изменений важного сельскохозяйственного сезона, на примере станций Бакчар и Славгород, которые отражают особенности прохладного пояса и умеренно-теплого соответственно по классификации Г. Т. Селянинова [154]. Данные EV-диаграммы представлены на рисунке 10, результаты которых представлены в таблице 4.1 из приложения 4.

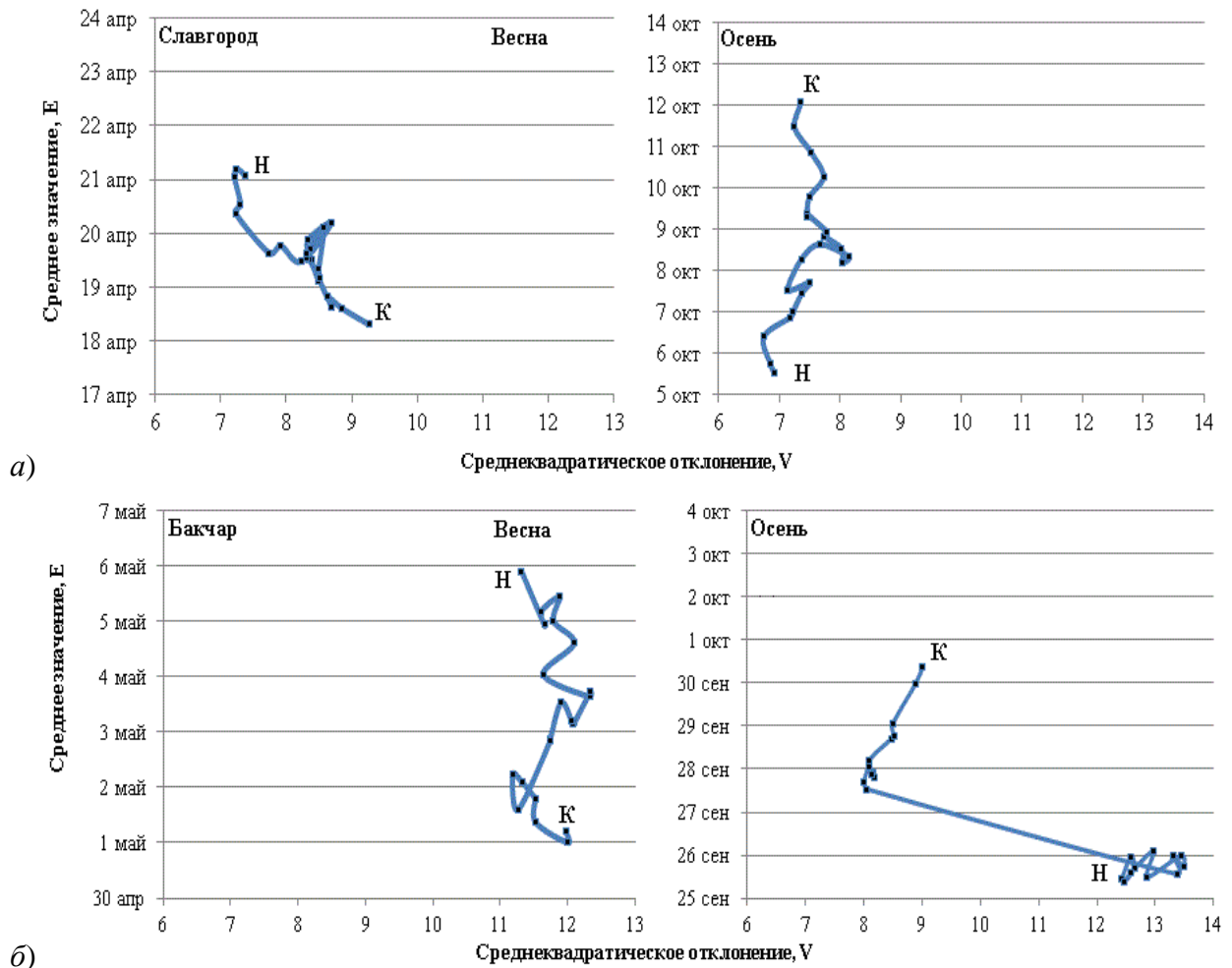


Рисунок 10 – EV-диаграммы изменений центров распределения и разброса D_5 весной и осенью для скользящих 30-летних периодов с 1961 по 2012 гг. на примере станций Бакчар (а) и Славгород (б) (Н – состояние климата за 1961–1990 гг.; К – 1983–2012 гг. соответственно)

Анализ EV-диаграмм показывает тенденцию смещения D_5 весной на более ранние сроки: в Бакчаре с 6 на 1 мая (рис. 10а) и Славгороде – с 21 на 18 апреля соответственно (рис. 10б). Осенью D_5 , смещается на более поздние сроки: в Бакчаре с 25 на 30 сентября, в Славгороде с 5 на 12 октября, что наглядно свидетельствует об увеличении продолжительности вегетации. Это следует отнести к положительным последствиям наблюдаемых изменений климата, поскольку создаются благоприятные условия для внедрения культур с более длительным периодом вегетации [157].

Для полной оценки современных тенденций термических ресурсов необходимо еще располагать данными об обеспеченности в отдельные годы, что является важной характеристикой распределения, описание которого

представлено в пункте 2.4 настоящего исследования.

В таблице 5 приведены 30-летние скользящие оценки повторяемости современного (на 1983–2012 гг.) состояния системы с пятилетним шагом для $\sum T_5 = 2240$ °С, $\sum T_{10} = 1909$ °С, $P_5 = 166$ дней и $P_{10} = 123$ дня.

Таблица 5 – Скользящие 30-летние оценки обеспеченности (%) заданных значений современного (1983–2012 гг.) состояния сумм температур воздуха выше 5 и 10 °С ($\sum T_{5,10}$) и продолжительности вегетации ($P_{5,10}$)

Период осреднения	Обеспеченность, %			
	$\sum T_5$	$\sum T_{10}$	P_5	P_{10}
1961–1990	17,9	31,5	21,4	34,0
1966–1995	23,9	34,1	32,6	34,1
1971–2000	35,0	44,1	35,6	40,0
1976–2005	48,0	60,1	38,0	53,5
1982–2011	52,1	63,8	48,0	63,0
1983–2012	2240 °С	1909 °С	166 дня	123 дня

Представленные результаты расчетов можно интерпретировать следующим образом: повторяемость значений $\sum T_5$ равная 2240 °С, которая, была малообеспеченной (за 1961–1990 гг. составляет 17,9 %), возросла к 2010 г. до 52,1 %, перейдя в разряд часто встречаемого события, около пяти раз за 10 лет. Аналогичным образом повторяемость $\sum T_{10}$ равная 1909 °С, возросла к 2011 г. 63,8 %, т. е. стало встречаться около шести раз за 10 лет.

Повторяемость значений P_5 равная 166 дня, которая составляла 21,4 % в 1990 г., возросла к 2010 г. практически до 48 %. Аналогичным образом, повторяемость значений продолжительности активной вегетации за период активной вегетации равная 123 дня, возросла к 2010 г. до 63 %. Это говорит о том, что вероятности современных значений $P_{5,10}$ возросли примерно в 2 раза. Таким образом, рост обеспеченностей рассматриваемых термических показателей повышает безопасность созревания многих сельскохозяйственных культур.

В таблице 6 приведены 30-летние скользящие оценки повторяемости современного (на 1983–2012 гг.) состояния системы с пятилетним шагом для D_5 в Бакчаре – 01.05 (весна) / 30.09 (осень) и Славгороде – 18.04 (весна) / 12.10 (осень)

Представленные результаты расчетов можно интерпретировать следующим

образом: повторяемость значений $D_{5(\text{весна})}$ в Бакчаре равная 01.05, которая, была малообеспеченной (7,8 %.), возросла к 2011 г. до 19,3 %, $D_{5(\text{осень})}$ – с 25,1 до 42,8 %, т.е. стала встречаться около 4 раз за 10 лет.

Таблица 6 – Скользящие 30-летние оценки обеспеченности (%) заданных значений современного (1983–2012 гг.) состояния даты перехода среднесуточной температуры воздуха через границы 5 °С весной и осенью (D_5) в Бакчаре и Славгороде.

Период осреднения	Обеспеченность, %			
	Бакчар		Славгород	
	D_5 весна	D_5 осень	D_5 весна	D_5 осень
1961–1990	7,8	25,1	35,1	24,8
1966–1995	9,4	32,0	42,0	29,2
1971–2000	12,7	29,7	42,0	37,7
1976–2005	18,1	31,7	42,0	42,4
1982–2011	19,3	42,8	44,8	52,6
1983–2012	01.05	30.09	18.04	12.10

Повторяемость значений $D_{5(\text{весна})}$ в Славгороде равная 18.04, которая, составляла 35,1 %., возросла к 2010 г. до 44,8 %, $D_{5(\text{осень})}$ – с 24,8 до 52,68 %, т.е. стала встречаться около 5 раз за 10 лет.

Особое внимание в настоящем исследовании уделяется анализу трендов за период с 1976 года, в большей мере характеризующих антропогенное влияние на современный климат. По данным таблицы 7, можно отметить, что летом существенных положительных изменений температуры воздуха не наблюдается, в отличии от весны, которая увеличивается со скоростью 0,2–0,8 °С/10 лет и осени – 0,3–0,7 °С/10 лет – приводит к более раннему началу вегетации весной и более позднему его завершению осенью, что в следствии сказывается на теплообеспеченности в регионе.

Таблица 7 – Скорости изменения (тренды) температуры воздуха по сезонам на территории юго-востока Западной Сибири за период 1976–2012 гг.

Станции		зима	весна	лето	осень
		°С/10 лет			
Барнаул	Алтайский край	-0,7	0,2	0,2	0,5

Станции		зима	весна	лето	осень
		°C/10 лет			
Бийск	Алтайский край	-0,8	0,6	0,2	0,3
Камень-на-Оби		-0,7	0,7	0,2	0,5
Славгород		-0,4	0,6	0,1	0,6
Рубцовск		-0,7	0,7	0,2	0,4
Ребриха		-0,5	0,8	0,0	0,7
Новосибирск	Новосибирская обл.	-0,5	0,8	0,2	0,5
Барабинск		-0,4	0,8	0,1	0,6
Татарск		-0,4	0,7	0,1	0,4
Северное		-0,4	0,8	0,1	0,5
Омск	Омская обл.	-0,3	0,7	0,1	0,7
Русская Поляна		-0,3	0,9	0,1	0,7
Тара		-0,4	0,6	0,0	0,6
Первомайское	Томская обл.	-0,7	0,7	0,2	0,4
Томск		-0,5	0,7	0,1	0,5
Бакчар		-0,5	0,7	0,0	0,5
Кемерово		-0,5	0,8	0,2	0,4
Регион		-0,5	0,7	0,1	0,5

Примечание: «жирным» шрифтом выделены тенденции, которые имеют высокую степень достоверности при превосходстве 5%-го уровня значимости статистики Стьюдента.

Однако на фоне регионального потепления, наблюдается похолодание зимой, что приводит к неблагоприятным последствиям для перезимовки озимых культур (вымерзание посевов), поэтому селекция должна быть направлена на повышение их морозостойкости.

Рассмотрим, как изменилась теплообеспеченность региона исследования на протяжении современной волны глобального потепления, для $\sum T_{5,10}$, изображенные на рисунке 11, результаты которых представлены в таблице 8.

Оценки линейного тренда $\sum T_5$ (рис. 11а) показывают рост теплообеспеченности со скоростью – от 34 до 79 °C/10 лет. Оценки скорости изменения $\sum T_{10}$ (рис. 11б), как основной характеристики теплообеспеченности сельскохозяйственных культур показывают рост на территории исследования от 27 до 92 °C/10 лет.

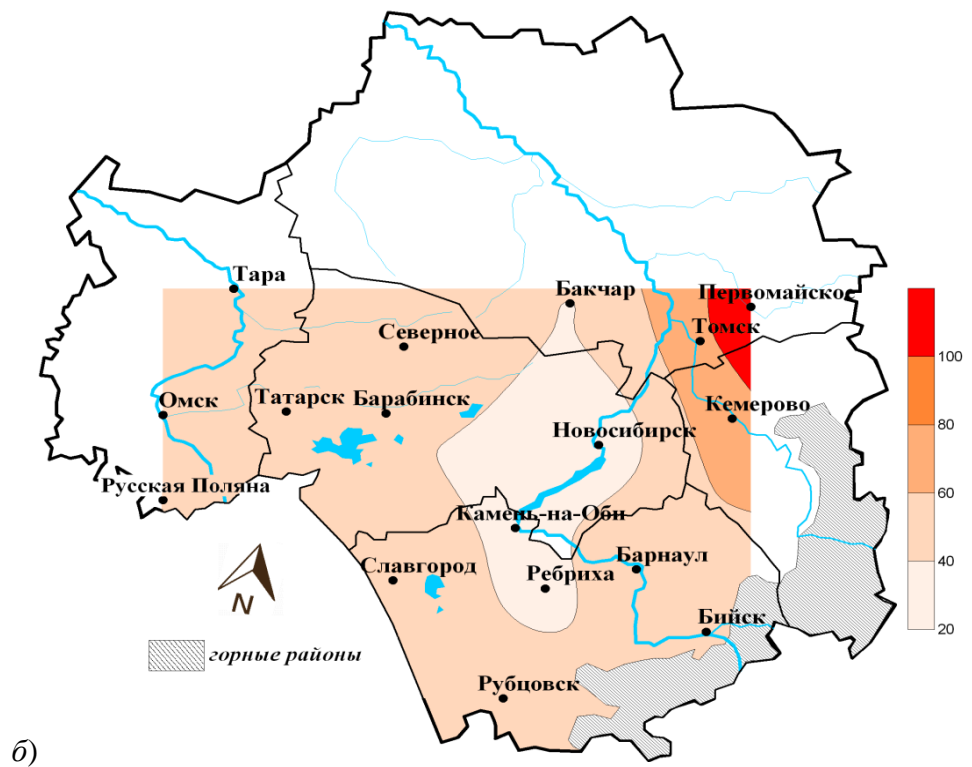
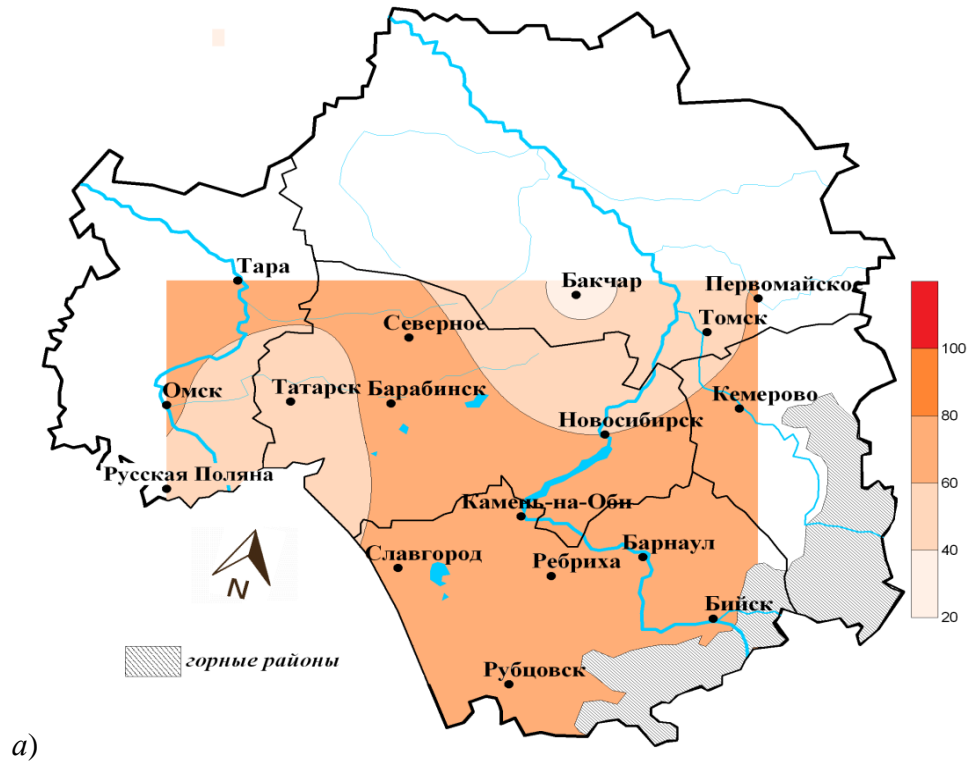


Рисунок 11 – Средняя скорость изменения (тренд) $\sum T_{5,10}$ (а, б) ($^{\circ}\text{C}/10$ лет) за период 1976–2012 гг. на территории юго-востока Западной Сибири

Рост теплообеспеченности в течение рассматриваемых периодов является благоприятным фактором, который может способствовать повышению

продуктивности сельского хозяйства в регионе исследования, как например переход на более теплолюбивые сорта и гибриды выращиваемых культур.

Таблица 8 – Скорости изменения (тренды) сумм температур воздуха за период с температурой выше 5 и 10 °С ($\Sigma T_{5,10}$) на территории юго-востока Западной Сибири за период 1976–2012 гг.

Станции		ΣT_5	(R^2/H)	ΣT_{10}	(R^2/H)
		сутки/10 лет			
Барнаул	Алтайский край	71	0/0,3	59	6/0,3
Бийск		79	7/0,4	44	4/0,4
Камень-на-Оби		67	1/0,3	35	5/0,3
Славгород		67	12/0,4	56	7/0,4
Рубцовск		60	7/0,4	57	6/0,4
Ребриха		61	8/0,4	27	3/0,4
Новосибирск	Новосибирская обл.	60	7/0,4	20	1/0,3
Барабинск		69	1/0,4	41	5/0,3
Татарск		43	15/0,4	47	5/0,3
Северное		62	4/0,4	57	5/0,4
Омск	Омская обл.	63	1/0,4	59	7/0,4
Русская Поляна		55	13/0,4	48	7/0,4
Тара		71	4/0,4	39	5/0,3
Первомайское	Томская обл.	62	0/0,4	92	36/0,4
Томск		54	5/0,4	76	15/0,4
Бакчар		34	2/0,4	39	4/0,4
Кемерово		66	11/0,4	75	22/0,4
Регион		61	8/0,4	49	7/0,4

Примечание: «жирным» шрифтом выделены тенденции, которые имеют высокую степень достоверности при превосходстве 5%-го уровня значимости статистики Стьюдента; R^2 – доля дисперсии, объясняемая трендом (% от полной дисперсии), H – показатель персистентности временного ряда по Хёрсту.

Из результатов таблицы 8 можно сказать, что в целом для ю Западной Сибири оценка линейной скорости роста ΣT_5 составляет +61 °С/10 лет (вклад в общую изменчивость 8 %), для ΣT_{10} – +49 °С/10 лет (вклад в общую изменчивость 7 %). Отдельные станции обладают высокой степенью достоверности при превосходстве 5%-го уровня значимости статистики Стьюдента. Временные ряды данных показателей не обладают долговременной памятью (антиперсистентны), поскольку $H < 0,5$ – тренды не устойчивы, т. е. в следующий момент времени можно ожидать противоположные тенденции.

Далее рассмотрим оценки линейных трендов $P_{5,10}$ за период 1976–2012 гг., результаты которых представлены на рисунке 12, результаты которых представлены в таблице 9.



Рисунок 12 – Средняя скорость изменения (тренд) $P_{5,10}$ (а, б) (сутки/10 лет) за период с 1976 по 2012 гг. на территории юго-востока Западной Сибири

Скорость изменения P_5 (рис. 12а) на территории исследования находится в диапазоне от 3 до 6 суток/10 лет. Отметим, что район с наибольшей скоростью тенденций находится на территории Омской области. Как показывают расчеты, оценки трендов P_{10} (рис. 12б) положительны на большей территории исследования и составляют 3–4 дня/10 лет, при этом за последние 36 лет на отдельных станциях территории исследования не претерпели изменений.

Таблица 9 – Скорости изменения (тренды) продолжительности вегетации ($P_{5,10}$) на территории юго-востока Западной Сибири за период 1976–2012 гг.

Станции		P_5	(R^2/H)	P_{10}	(R^2/H)
		сутки/10 лет			
Барнаул	Алтайский край	4	22/0,6	0	5/0,2
Бийск		3	5/0,3	0	0/0,2
Камень-на-Оби		4	17/0,6	0	0/0,2
Славгород		5	26/0,8	3	3/0,3
Рубцовск		4	14/0,6	3	5/0,4
Ребриха		4	13/0,6	0	0/0,2
Новосибирск	Новосибирская обл.	4	14/0,6	0	0/0,1
Барабинск		4	21/0,8	3	4/0,4
Татарск		4	10/0,7	3	5/0,3
Северное		4	24/0,7	4	10/0,4
Омск	Омская обл.	6	20/0,7	3	7/0,2
Русская Поляна		6	12/0,6	3	6/0,4
Тара		6	24/0,6	4	2/0,3
Первомайское	Томская обл.	5	26/0,8	4	29/0,4
Томск		5	17/0,4	3	19/0,4
Бакчар		5	15/0,6	4	7/0,4
Кемерово		4	11/0,6	0	0/0,1
Регион		4	23/0,7	2	7/0,3

Примечание: «жирным» шрифтом выделены тенденции, которые имеют высокую степень достоверности при превосходстве 5%-го уровня значимости статистики Стьюдента; R^2 – доля дисперсии, объясняемая трендом (% от полной дисперсии), H – показатель персистентности временного ряда по Хёрсту.

Из результатов таблицы 9 можно сказать, что в целом для юго-востока Западной Сибири оценка линейной скорости роста P_5 составляет 4 суток/10 лет – за последние 36 лет период вегетации увеличился более чем на неделю (вклад в общую изменчивость 23 %). P_{10} – 2 суток/10 лет (вклад в общую изменчивость 7 %) соответственно.

Отметим, что в среднем по региону исследования Π_5 и по отдельным станциям Π_{10} обладают высокой степенью достоверности при превосходстве 5%-го уровня значимости статистики Стьюдента. Временные ряды данных показателей антиперсистентны ($H < 0,5$), за исключением Π_5 (персистентны), где H равен 0,7 – в ближайшей перспективе продолжит возрастать, что приведет к росту продуктивности сельского хозяйства в результате расширения посевов более теплолюбивых и соответственно более урожайных сельскохозяйственных культур.

Рассмотрим динамику коэффициентов тренда, которые характеризуют изменение средней скорости увеличения термических ресурсов – $\Sigma T_{5,10}$ (а) и $\Pi_{5,10}$ (б) с 1976 года, результаты которых представлены в приложении 2.

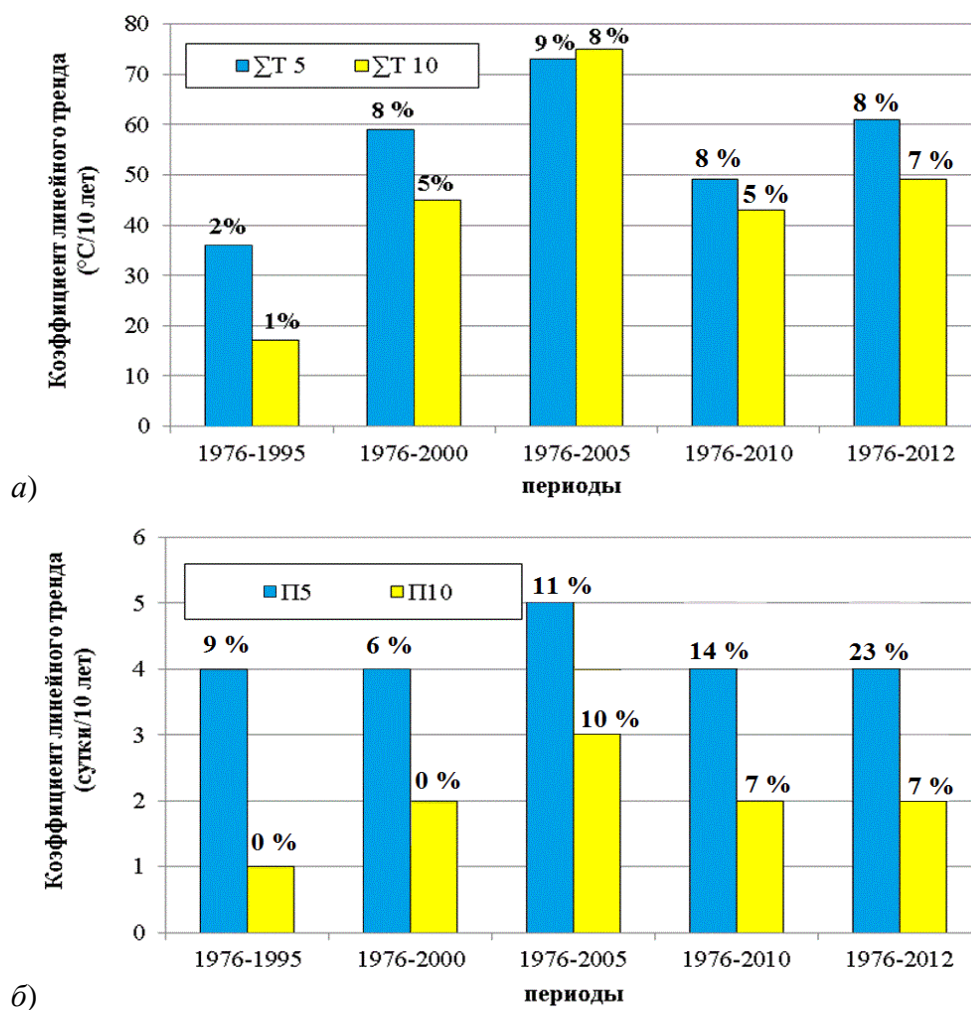
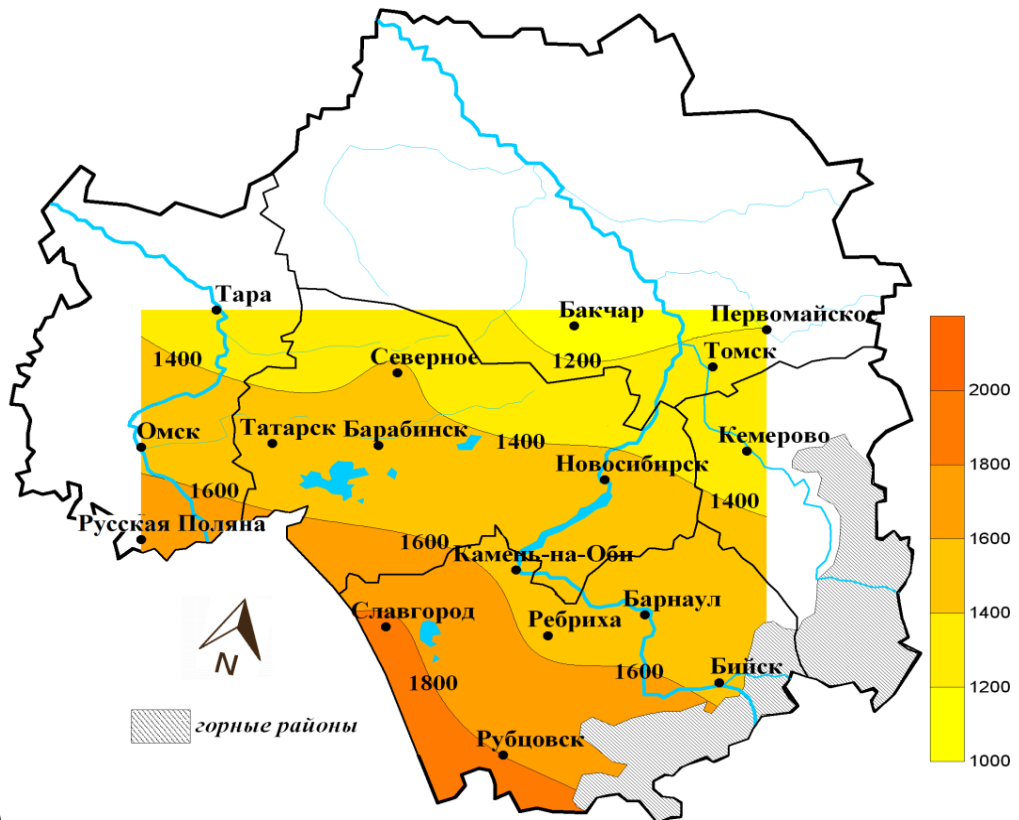


Рисунок 13 – Оценка динамики линейных трендов пространственно-осредненных термических ресурсов: $\Sigma T_{5,10}$ (а) и $\Pi_{5,10}$ (б) на территории юго-востока Западной Сибири (% – доля дисперсии, объясняемая трендом)

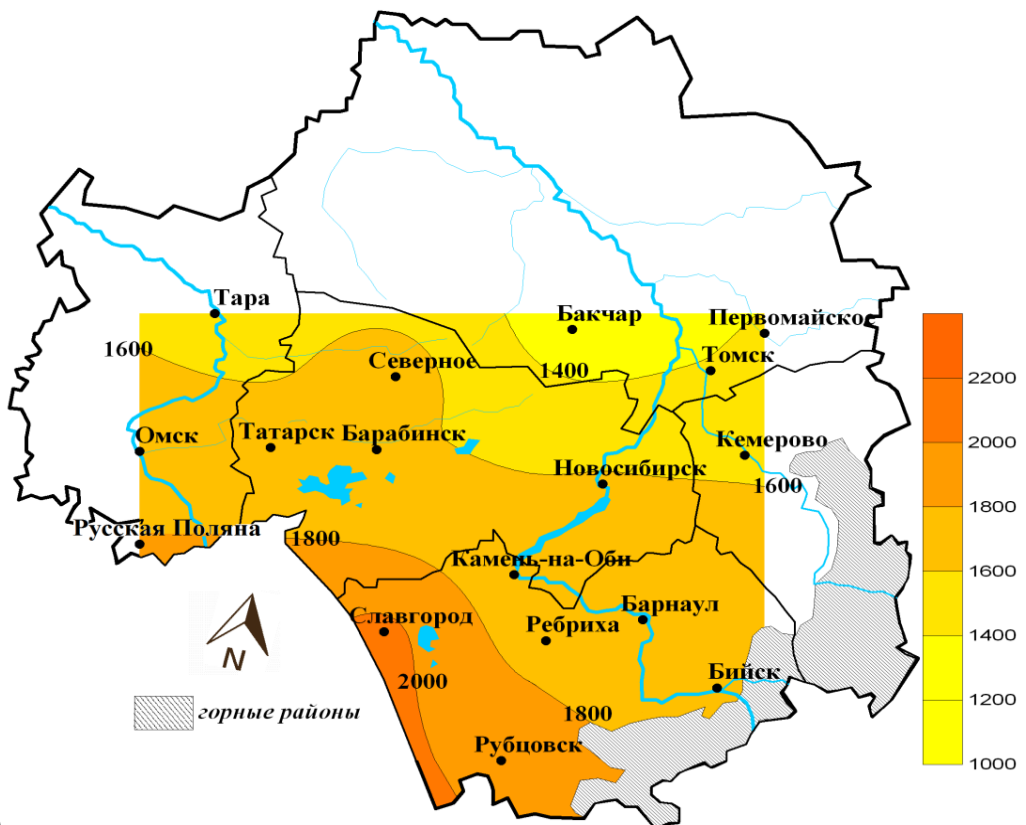
На рисунке 13 видно, что пиковые скорости роста рассматриваемых термических ресурсов приходились на 2005 г. Можно сказать, что происходит колебание в области достигнутых высоких значений. Таким образом, наблюдаемое поведение рассматриваемых показателей в регионе исследования имеет отклик на начавшийся процесс стагнации современного потепления климата [26].

В дополнении рассмотрим, как изменилось распределение ресурсов тепла с помощью сравнения средних многолетних за базовый период (1961–1990 гг.) и последние десять лет (2003–2012 гг.). Суммы активных температур представленные на рисунке 14, обеспечивают созревание культур в 90 % случаев $\sum T_{10}$ (90 %), расчеты которых приведены в таблице 3.1 из приложения 3.

Согласно классификации Г. Т. Селянинова, за базовый период (рис. 14а) территории исследования находилась в двух термических подпоясах: прохладный подпояс (< 1400 °С), умеренно–тёплый подпояс (1400–2000 °С) [154]. Период 2003–2012 гг. (рис. 14б), наглядно показывает трансформацию поля сумм активных температур, где произошло смещение изолиний к северу на 350–400 км, что привело к значительному увеличению площади умеренно–тёплого подпояса на территории исследования.



a)



б)

Рисунок 14 – Распределение средних многолетних сумм активных температур выше 10 °С, обеспечивающие созревание сельскохозяйственных культур с вероятностью 90 % за базовый период 1961–1990 гг. (а) и 2003–2012 гг. (б) на территории юго-востока Западной Сибири

В таблице 10 представлены $\sum T_{10}$ (сумма активных температур), обеспечивающие созревание сельскохозяйственных культур в 90 % от общего числа лет. Градации данной таблицы используются для интерпретации расчетов, критерии которых выбраны по Д. И. Шашко [23].

Таблица 10 – Обеспеченность созревания или достижения хозяйственно-ценных фаз развития растений в 90 % от общего числа лет [23]

Сумма активных температур	Приоритетные виды культур
1000–1200	Ячмень (<i>p</i>), горох (<i>p</i>), лен на волокно (<i>p</i>)
1200–1400	Овес (<i>p</i>), ячмень (<i>c</i>), яровая пшеница (<i>p</i>)
1400–1600	Ячмень (<i>n</i>), яровая пшеница (<i>c</i>), кукуруза (<i>c</i>) и свекла на корм
1600–1800	Яровая пшеница (<i>n</i>), подсолнечник на зерно (<i>p</i>), сахарная свекла на сахар (<i>p</i>)
1800–2200	Кукуруза на зерно (<i>p</i>), фасоль (<i>p</i>), просо (<i>n</i>)
> 2200	Кукуруза на зерно (<i>c</i>), соя (<i>p</i>), виноград (<i>p</i>)
<i>(p)</i> – ранние, <i>(c)</i> – средние, <i>(n)</i> – поздние сорта	

Опираясь на таблицу 10, проведем интерпретацию результатов, представленных на рисунке 14. По отношению к территории исследования, Алтайский край наиболее теплообеспечен, где в 90 % от общего числа лет за последние десять лет (рис. 14б), произошло расширение зоны, благоприятной для выращивания наиболее теплолюбивых видов культур (1800–2200 °С): раннеспелые сорта кукурузы на зерно, фасоль, просо, а так же обеспечило благоприятное и безопасное их созревание. На остальной территории исследования за последние десятилетия также складываются условия, которые приводят к возможности выращивания позднеспелых сортов яровых зерновых культур, что может повысить урожайность в целом.

Таким образом, в современных тенденциях термических ресурсов юго-востока Западной Сибири можно отметить следующее:

1. Выявлено, что повторяемость положительных аномалий среднегодовой температуры воздуха на юго-востоке Западной Сибири с начала 80-х годов XX века увеличивается. Наиболее существенные положительные аномалии рассматриваемых термических характеристик ($\Sigma T_{5,10}$ и $P_{5,10}$) наблюдается в последний двадцатипятилетний отрезок времени.

2. Исследования текущих изменений климата с помощью EV-диаграмм и оценок обеспеченности, основанных на изменении центров распределения и разброса показателей теплообеспеченности для скользящих 30-летних периодов с 1961 по 2012 гг., показывают чёткий региональный отклик на процессы глобального потепления.

3. Средняя скорость изменений (тренды) продолжительности периода вегетации ($P_5 = 4$ дня/10 лет) на территории исследования за период 1976–2012 гг. обладает высокой достоверностью и персистентностью, что приводит к росту теплообеспеченности в основном за счёт интенсивного потепления в весной и осенью.

4. В сравнении с базовым периодом (1961–1990 гг.), сложившиеся условия термических ресурсов на территории юго-востока Западной Сибири за последнее десятилетие (2003–2012 гг.) возросли. Таким образом, с целью повышения эффективности сельского хозяйства в регионе, становится возможным выращивать более теплолюбивые сорта и гибриды: яровой пшеницы, ячменя, овса и др.

2.3 Тенденции современных изменений режима увлажнения территории юго-востока Западной Сибири

На протяжении вегетационного периода жизнь и развитие растений помимо ресурсов тепла зависит от того насколько они обеспечены влагой [50]. Повышение теплообеспеченности приводит к росту испарения и вследствие – к росту дефицита влаги в почве, который балансирует в зависимости от суммы выпавших атмосферных осадков за рассматриваемые периоды [65]. В этой связи

для сельскохозяйственного производства очень важна оценка режима увлажнения.

Для выделения видимых флуктуаций и динамики изменения основных показателей увлажнения рассмотрим количественные данные об аномалиях пространственно осредненных по территории исследования суммы атмосферных осадков за год изображены на рисунке 15, расчеты которых представлены в таблице 1.3 из приложения 1.

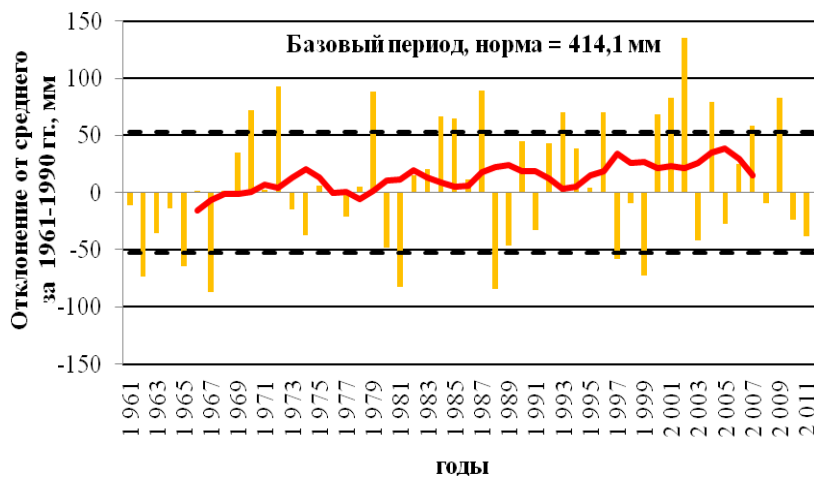


Рисунок 15 – Временной ход аномалий сумм атмосферных осадков на территории юго-востока Западной Сибири за период 1961–2012 гг.

Примечание: Аномалии рассчитаны как отклонения от базовой нормы (1961–1990 гг.). Сглаженная кривая получена 11-летним скользящим осреднением. Пунктирными линиями показано положение $\pm 1,25\sigma$ – отклонение величин от базовой нормы.

На рисунке 15 приведена временная изменчивость аномалий количества атмосферных осадков за период с 1961 по 2012 гг., где отмечается их большая межгодовая изменчивость и заметный рост положительных аномалий, особенно в восьмидесятые и девяностые годы.

Рассмотрим количественные данные об аномалиях (Δ) пространственно–осредненных по территории исследования сумм атмосферных осадков за период календарного года со среднесуточной температурой, превышающей 5 и 10 °C ($R_{5,10}$), изображенные на рисунке 16, выборки которых представлены в таблице 1.4 из приложения 1.

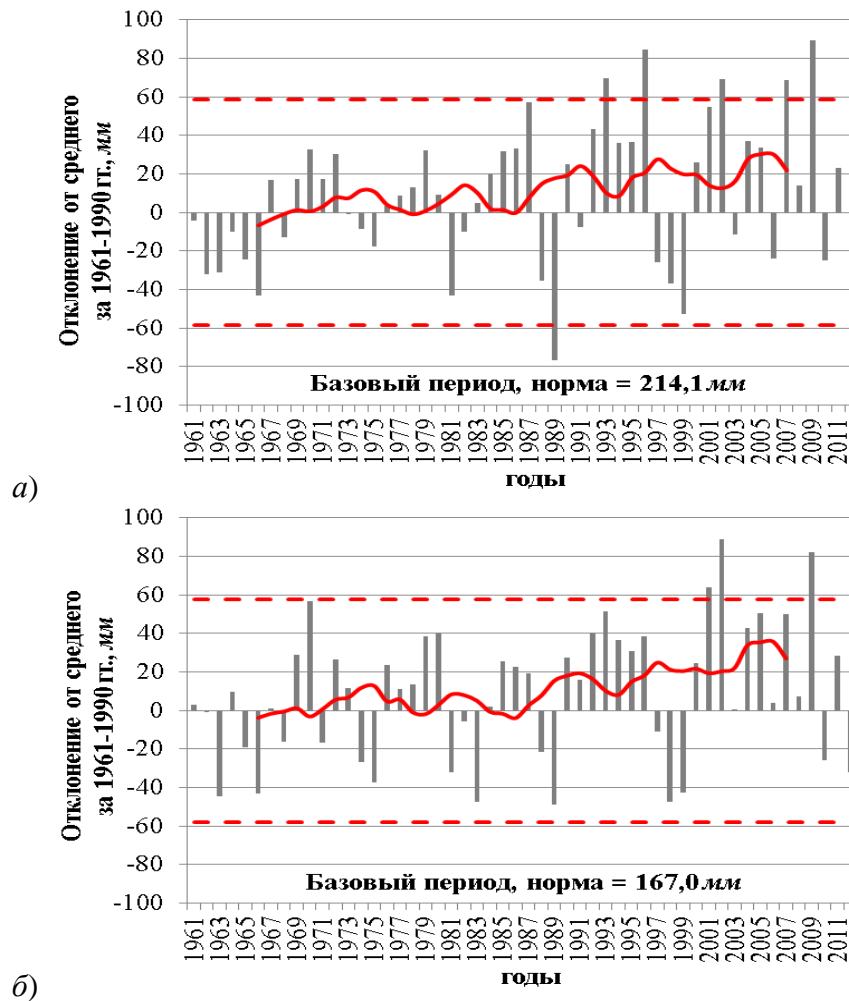


Рисунок 16 – Временной ход аномалий $R_{5,10}$ (а, б) на территории юго-востока Западной Сибири

Примечание: Аномалии рассчитаны как отклонения от базовой нормы (1961–1990 гг.). Сглаженная кривая получена 11-летним скользящим осреднением. Пунктирными линиями показано положение $\pm 2\sigma$ – отклонение величин от базовой нормы.

На рисунке 16 анализ временной изменчивости $\Delta R_{5,10}$ за период с 1961 по 2012 гг., показывает их большую межгодовую вариабельность и заметный рост количества случаев с положительными отклонениями ($\geq 2\sigma$) в девяностые годы и первом десятилетии XXI века. Если за период 1961–1990 гг. количество лет с положительными ΔR_5 ($\geq 2\sigma$) не наблюдалось, то в девяностые – 2, а в первом десятилетии XXI века их стало уже 3 (рис. 16а). Положительные ΔR_{10} ($\geq 2\sigma$) стали отмечаться в XXI веке (рис. 16б). На фоне современного потепления климата, проявления такого рода экстремальности в режиме увлажнения приводили к переувлажнению почвы и грибковым заболеваниям у растений, что негативно

сказывалось на урожайности и проведении полевых работ в отдельных хозяйствах региона исследования [5].

Для анализа текущих изменений рассмотрим EV-диаграммы изменений центров распределения и разброса $R_{5,10}$ (a , b) для скользящих 30-летних периодов с 1961 по 2012 гг. на территории юго-востока Западной Сибири. EV-диаграммы рассматриваемых показателей увлажнения изображены на рисунке 17, результаты которых представлены в таблице 4.2 из приложения 4.

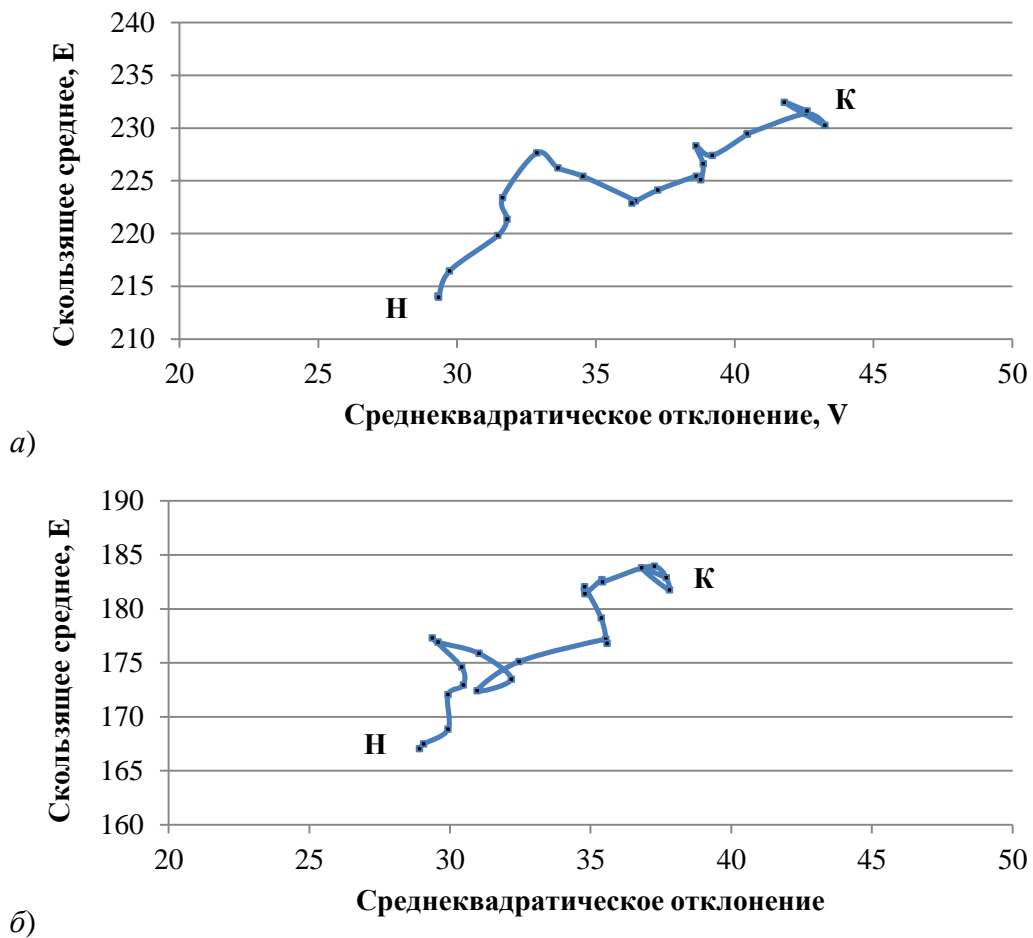
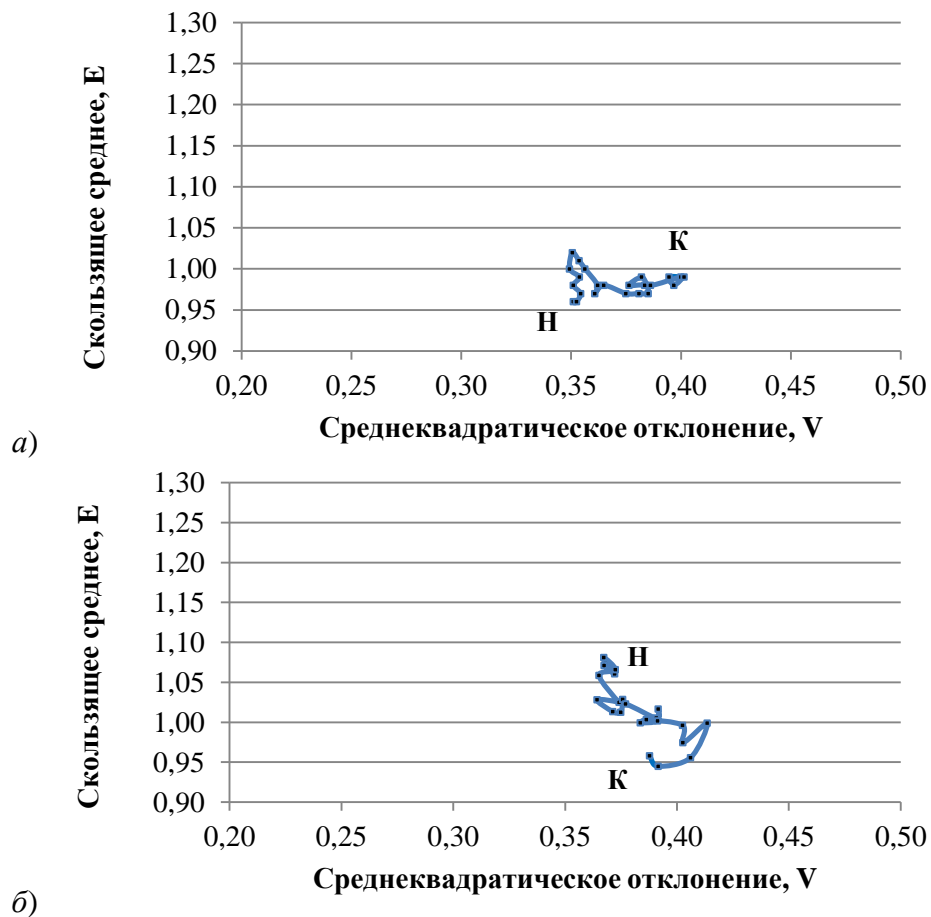


Рисунок 17 – EV-диаграммы изменений центров распределения и разброса $R_{5,10}$ (a , b) для скользящих 30-летних периодов с 1961 по 2012 гг. на территории юго-востока Западной Сибири (Н – состояние климата за 1961–1990 гг.; К – 1983–2012 гг. соответственно)

На рисунке 17 видно, что изменения $R_{5,10}$ с 1961 по 2012 г. на территории исследования не было монотонным. Проведя прямую линию из начальной точки в конечную, становится очевидным факт увеличения атмосферных осадков: R_5 – от 214,1 до 231,6 мм (рис. 17а) и R_{10} – от 167,0 до 182,9 мм (рис. 17б) соответственно.

Отметим тенденцию, связанную с увеличением межгодовой изменчивости режима увлажнения за рассматриваемые периоды, где среднеквадратическое отклонение R_5 возросло (на 45 %) от 29,3 до 42,6 мм и R_{10} – от 28,9 до 37,7 мм (на 31 %).

Оценки условий увлажнения только с помощью атмосферных осадков за рассматриваемые периоды является недостаточным. Для полной оценки условий увлажнения рассмотрим $ГТК$, как характеристики, определяющей увлажнение сельскохозяйственной продукции. EV -диаграммы $ГТК$ приведены на рисунке 18 для периода активной вегетации в целом, и отдельно за летние месяцы, результаты которых представлены в таблице 4.2 из приложения 4.



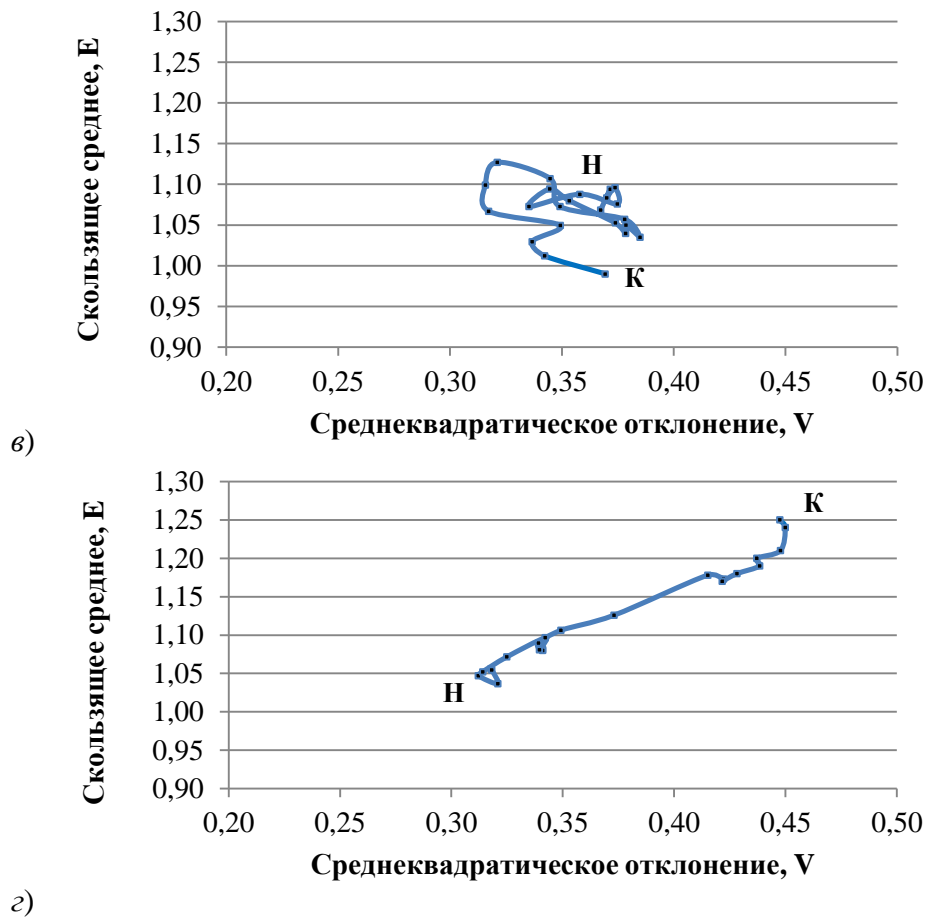


Рисунок 18 – EV-диаграммы изменений центров распределения и разброса $GTK_{общ.}$ (а), $GTK_{июль.}$ (б), $GTK_{июль.}$ (в), $GTK_{август.}$ (г) для скользящих 30-летних периодов с 1990 по 2012 гг. на территории юго-востока Западной Сибири (Н – состояние климата за 1961–1990 гг.; К – 1983–2012 гг. соответственно)

На рисунке 18а показатель величины GTK , определенный в целом за период активной вегетации не претерпел существенных изменений. Однако непосредственно внутри данного периода можно отметить некоторые особенности. Так, наблюдается небольшое увеличение аридности климата в июне–июле, где значения GTK снижаются в июне от 1,07 до 0,96 (рис. 18б) и июле – от 1,07 до 0,99 соответственно (рис. 18в). Это объясняется тем, что прирост температуры происходит более интенсивно, чем увеличение осадков, что ведет к увеличению расходной части водного баланса – росту испарения. В

августе наблюдается обратный процесс, связанный с ростом $ГТК$ от 1,06 до 1,25 – уменьшение роли расходной части водного баланса (рис. 18з).

Далее рассмотрим обеспеченность в отдельные годы, что является важной характеристикой распределения. В таблице 11 приведены 30-летние скользящие оценки повторяемости современного (1983–2012 гг.) состояния системы с пятилетним шагом для $R_5 = 231,6$ мм, $R_{10} = 182,9$ мм и $ГТК = 0,99$.

Таблица 11 – Скользящие 30-летние оценки обеспеченности (%) заданных значений современного (1983–2012 гг.) состояния сумм атмосферных осадков за период с температурой воздуха выше 5 и 10 °С ($R_{5,10}$), $ГТК$ и риски засушливых условий летом ($ГТК_{\leq 0,6}$)

Период осреднения	Обеспеченность, %		
	R_5	R_{10}	$ГТК$
1961–1990	28,5	32,7	45,2
1966–1995	41,5	58,3	55,1
1971–2000	44,3	55,5	48,1
1976–2005	52,8	54,6	55,2
1982–2011	58,7	58,3	52,1
1983–2012	231,6 мм	182,9 мм	0,99
Период осреднения	$ГТК_{\leq 0,6}$		
	июнь	июль	август
1961–1990	9,0	8,6	1,3
1966–1995	12,0	10,3	1,8
1971–2000	16,0	11,6	2,4
1976–2005	16,2	12,1	2,1
1981–2010	17,8	14,7	2,0
1983–2012	19,1	15,7	1,9

Представленные результаты расчетов в таблице 11 можно интерпретировать следующим образом: повторяемость значений R_5 равная 231,6 мм, которая составляла 28,5 % за период 1961–1990 гг., возросла к 2011 г. до 58,7 %. Аналогичным образом повторяемость значений R_{10} равная 182,9 мм, возросла к 2010 г. 58,3 %. Повторяемость современного состояния системы $ГТК$ (0,99) составляла в 1961–1990 гг. 45,2 % и увеличилась к 1981–2010 гг. на 6,9 % до уровня 52,1 %. Увеличение количества выпадающих атмосферных осадков на фоне современного потепления, безусловно, благоприятно сказывается на ведении сельского хозяйства. Однако в июне и июле (ответственный период в

жизни многих сельскохозяйственных культур), можно отметить повышение риска засушливых условий ($ГТК_{\leq 0,6}$). Вероятность $ГТК_{\leq 0,6}$ в июне несколько возросла – с 9 до 19,1 %, а в июле – с 8,6 до 15,7 % соответственно. Поэтому должное внимание необходимо уделять влагосберегающим технологиям.

Рассмотрим вопроса о том, в какую сторону происходят изменения режима осадков на протяжении современной волны глобального потепления (с 1976 г.), результаты которых приведены в таблице 12.

Таблица 12 – Скорости изменения (тренды) сумм атмосферных осадков по сезонам на территории юго-востока Западной Сибири за период 1976–2012 гг.

Станции		зима	весна	лето	осень
		% нормы/10 лет			
Барнаул	Алтайский край	0,7	1,9	0,7	3,2
Бийск		-5,2	9,9	-0,3	-1,4
Камень-на-Оби		-2,8	4,2	-2,2	2,0
Славгород		-16,3	-1,0	-4,6	-6,6
Рубцовск		-13,3	0,4	-1,3	-3,1
Ребриха		-11,6	4,1	2,7	-4,4
Новосибирск	Новосибирская обл.	4,9	4,4	-4,1	0,0
Барабинск		-2,3	0,8	-1,6	-3,2
Татарск		4,3	2,1	4,5	-5,8
Северное		-5,8	7,9	11,1	-2,3
Омск	Омская обл.	-0,6	0,3	4,0	-5,2
Русская Поляна		2,9	12,5	0,0	-2,2
Тара		0,6	6,3	-4,5	2,6
Первомайское	Томская обл.	1,0	4,8	1,3	3,6
Томск		3,4	9,7	2,2	1,7
Бакчар		-2,8	2,2	9,5	-2,5
Кемерово		3,3	6,8	1,1	3,6
Регион		-2,3	4,5	1,1	-1,2

Примечание: «жирным» шрифтом выделены тенденции, которые имеют высокую степень достоверности при превосходстве 5%-го уровня значимости статистики Стьюдента.

Представленные тенденции (% нормы/10 лет) в таблице 12, в общем, по региону исследования не обладают высокой степенью достоверности. Здесь можно говорить, о локальных правлениях статистически значимых изменениях в режиме увлажнения за сезон. Так, весной и летом на отдельных станциях количество осадков увеличивается. В зимний период на территории Алтайского

края отмечается отрицательная тенденция выпадающих зимних осадков, что неблагоприятно для перезимовки озимых культур по причине малого снегонакопления.

На рисунке 19 представлено пространственное распределение средней скорости изменения (тренд) непосредственно R_5 (а) и R_{10} (б) на территории юго-востока Западной Сибири за период 1976–2012 гг., расчеты, которых приведены в таблице 13.

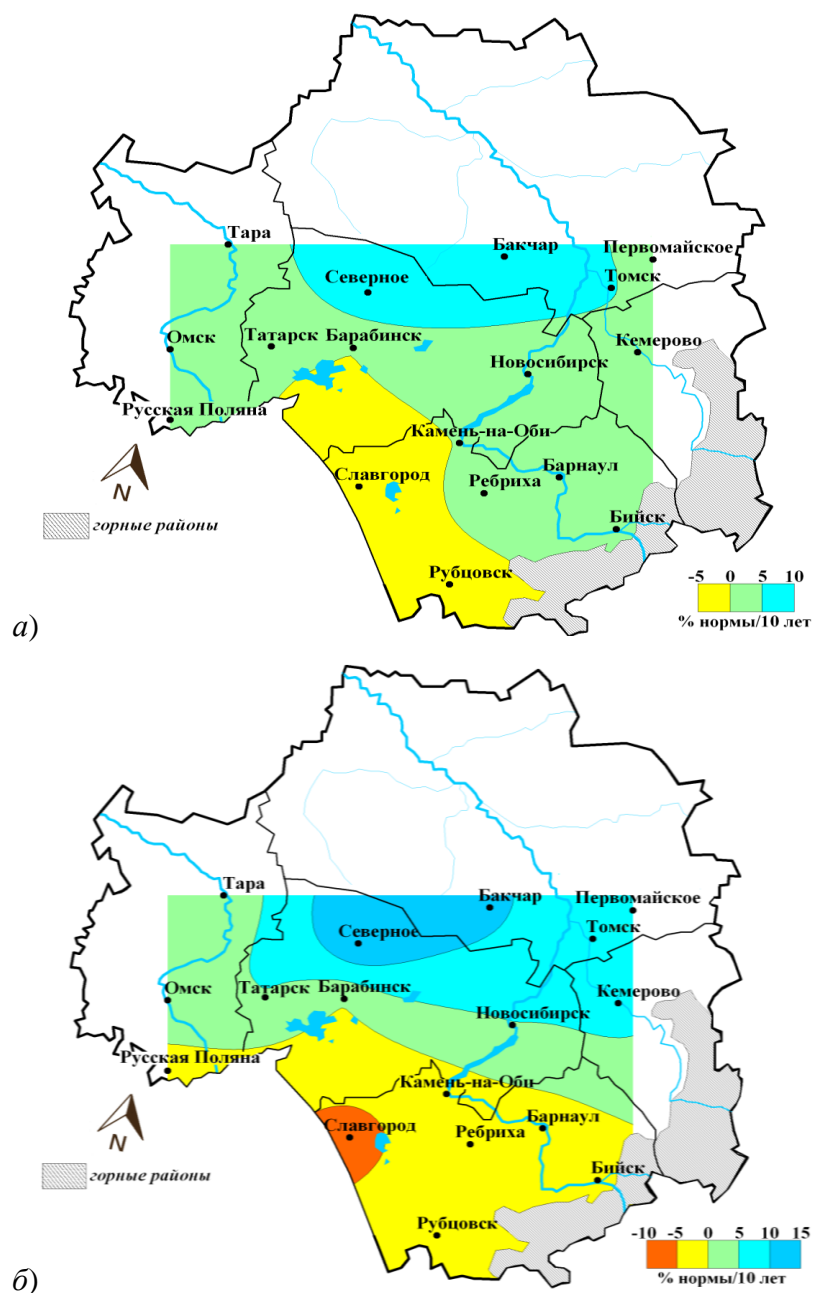


Рисунок 19 – Средняя скорость изменения $R_{5,10}$ (а, б) за период с 1976 по 2012 гг. на территории юго-востока Западной Сибири

Оценки средней скорости изменения $R_{5,10}$ показывают, что на территории исследования в южной зоне отмечается увеличение роли аридных условий, в северной зоне – увлажнения. Так, положительные тенденции R_5 наблюдаются на значительной территории исследования, за исключением западных районов Алтайского края (рис. 19а). За период активной вегетации, аридные условия уже проявляются на значительной территории Алтайского края, захватывая юг Новосибирской и Омской областей (рис. 19б).

Далее рассмотрим оценки линейного тренда такого важного агроклиматического показателя, как $ГТК$, которые изображены на рисунке 20.

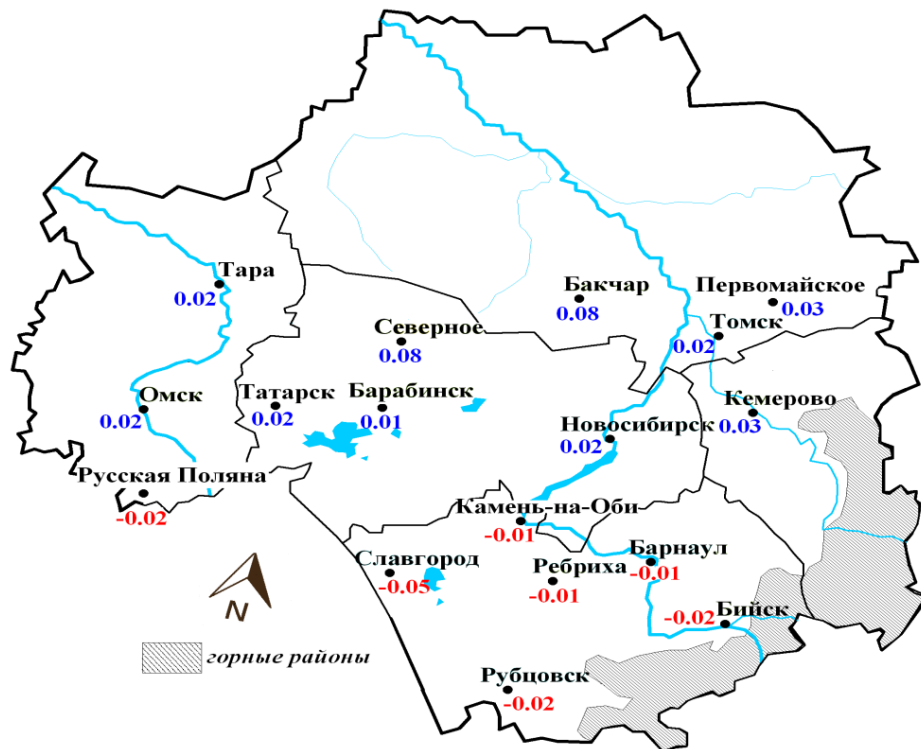


Рисунок 20 – Средняя скорость изменения $ГТК$ (ед./10 лет) за период с 1976 по 2012 гг.

Анализ динамики $ГТК$ за период с 1976 по 2012 гг., представленный на рисунке 20, указывает на пространственную его неоднородность и сложность, в отличие от тенденций термических показателей. Слабые отрицательные скорости изменения $ГТК$ показывают, что увлажнённость на территории Алтайского края, Омской и большей части Новосибирской областей за последние 36 лет уменьшилась незначительно. В отдельных районах Томской и Новосибирской

областей наблюдается положительный тренд увлажнения, который увеличивается со скоростью 0,03–0,08 ед./10 лет.

В таблице 13 приведены оценки достоверности средней скорости изменения (тренд) рассматриваемых характеристик увлажнения на территории юго-востока Западной Сибири за период 1976–2012 гг.

Таблица 13 – Скорости изменения (тренды) сумм атмосферных осадков за период с температурой воздуха выше 5 и 10 °С ($R_{5,10}$) и гидротермического коэффициента Т. Г. Селянинова ($ГТК$) на территории юго-востока Западной Сибири за период 1976–2012 гг.

Станции		R_5	(R^2/H)	R_{10}	(R^2/H)	$ГТК$	(R^2/H)
		% нормы/10 лет				ед./10 лет	
Барнаул	Алтайский край	0,3	0/0,3	0,7	1/0,4	-0,01	0/0,3
Бийск		-1,5	0/0,3	-0,2	1/0,3	-0,02	0/0,3
Камень-на-Оби		0,1	0/0,3	-2,2	0/0,3	-0,01	1/0,3
Славгород		-3,1	1/0,4	-5,6	3/0,4	-0,05	6/0,3
Рубцовск		-0,8	1/0,4	-1,2	0/0,3	-0,02	1/0,3
Ребриха		2,1	1/0,3	2,7	0/0,3	-0,01	0/0,3
Новосибирск	Новосибирская обл.	2,2	1/0,4	-3,9	1/0,3	0,02	3/0,3
Барабинск		0,2	0/0,4	-0,2	0/0,3	0,01	0/0,3
Татарск		1,2	0/0,3	4,7	2/0,3	0,02	0/0,3
Северное		9,3	11/0,3	11,0	15/0,4	0,08	7/0,3
Омск	Омская обл.	3,4	1/0,4	3,9	2/0,4	0,02	0/0,3
Русская Поляна		4,0	1/0,4	-0,2	1/0,4	-0,02	1/0,3
Тара		3,3	1/0,4	-1,8	0/0,4	0,02	1/0,3
Первомайское	Томская обл.	2,9	1/0,4	4,2	2/0,3	0,03	1/0,3
Томск		6,4	5/0,3	6,5	5/0,3	0,02	0/0,3
Бакчар		8,2	7/0,4	9,3	9/0,3	0,08	5/0,3
Кемерово		2,4	2/0,3	1,8	8/0,4	0,03	1/0,3
Регион		2,3	5/0,3	1,7	4/0,3	0,00	0/0,3

Примечание: «жирным» шрифтом выделены тенденции, которые имеют высокую степень достоверности при превосходстве 5%-го уровня значимости статистики Стьюдента; R^2 – доля дисперсии, объясняемая трендом (% от полной дисперсии), H – показатель персистентности временного ряда по Хёрсту.

В таблице 13 видно, что в преобладающем большинстве выявленные тенденции рассматриваемых показателей увлажнения не обладают высокой степенью достоверности, за исключением Бакчар–Северное, поскольку эмпирические значения статистики Стьюдента не превышают табличное значение при 5%-ном уровне значимости. Это объясняется тем, что представленные тенденции выявляются на фоне очень значительных флуктуаций и ни в коем

случае нельзя утверждать именно о наличии тренда, а не об определенной фазе таких колебаний. Показатели H за современную волну потепления имеют неустойчивые тенденции (антиперсистентны).

Основным фактором, определяющим успех возделывания сельскохозяйственных культур, является их удовлетворенность в осадках в течение вегетационного периода (R_5). Рассмотрим, как изменилось распределение R_5 , по аналогии с термическими ресурсами, сравнив средние многолетние за базовый период (1961–1990 гг.) и последние десять лет (2003–2012 гг.). Суммы атмосферных осадков, за период вегетации на территории земледельческой зоны юго-востока Западной Сибири представлены на рисунке 21, расчеты, которых приведены в таблице 3.2 из приложения 3.





б)

Рисунок 21 – Средние значения R_5 (мм) за базовый период 1961–1990 гг. (а) и 2003–2012 гг. (б) на юго-востоке Западной Сибири

Располагая знаниями о потребности возделываемых сортов яровой пшеницы в атмосферных осадках, становится возможным оценить её влагообеспеченность. Оптимальная потребность во влаге для яровой пшеницы за период вегетации составляет 300 мм [43]. По отношению к базовому периоду, где в среднем по территории исследования R_5 составляет 214,1 мм (рис. 21а), последнее десятилетие (2003–2012 гг.) является более влагообеспеченным, где R_5 составляет 231,9 мм (рис. 21б). Однако повышение увлажнения в среднем по региону исследования не затронуло районы Алтайского края, где влагообеспеченность яровой пшеницы удовлетворяется лишь наполовину. Здесь дальнейшее внедрение и разработка технологий накопления и сохранения почвенной влаги за счёт других периодов года на полях севооборота остаётся актуальным. Позитивные изменения за последнее десятилетие, наблюдаются на территории Новосибирской и Омской областях (200–250 мм), а также на юге

Томской области – 250–300 мм (б), где на фоне современного потепления, потребность яровой пшеницы в атмосферной влаге улучшились.

Таким образом, в современных тенденциях режима увлажнения на юго-востоке Западной Сибири можно отметить следующие основные моменты:

1. Вслед за термическими ресурсами, положительные аномалии показателей увлажнения за современную волну потепления также увеличиваются и превалируют над отрицательными отклонениями с начала 90-х XX века, где впервые стали отмечаться особо сильные положительные аномалии ($\geq 2\sigma$) атмосферных осадков.

2. Исследования текущих изменений климата с помощью EV-диаграмм и оценок обеспеченности, основанных на изменении центров распределения и разброса показателей увлажнения для скользящих 30-летних периодов с 1961 по 2012 гг., показывают их увеличение. Вместе с тем в июне–июле наблюдается повышение риска засушливых условий ($ГТК_{\leq 0,6}$) на территории исследования.

3. Наблюдаемые тенденции показателей увлажнения за период современного потепления (1976–2012 гг.) не столь однородны по территории, как изменения термических показателей. В земледельческой зоне Алтайского края отрицательны – аридность климата увеличивается, особенно в западных районах края. На остальной территории наблюдается обратный процесс – прирост температуры происходит менее интенсивно, чем увеличение осадков, что ведет к уменьшению испарения.

4. В сравнении с базовым периодом, удовлетворенность в осадках яровой пшеницей на большей территории исследования за последнее десятилетие (2003–2012 гг.) значительно возросло, за исключением территории Алтайского края.

Данные выводы хорошо согласуются с современными результатами работ по данной тематике, проводимых по территории России, а также непосредственно по Западной Сибири [1, 18, 26, 39, 67, 80, 87, 155]. Из полученных выводов в настоящем исследовании можно подчеркнуть, что современное потепление (с 1976 г.) сказалось на повышении агроклиматических ресурсов. Однако это потепление сопровождается ростом экстремальности режима увлажнения в

последние десятилетия, что, в общем, усложняет условия ведения сельского хозяйства.

С целью адаптации сельского хозяйства к изменениям климата на юго-востоке Западной Сибири, рекомендуется:

1. С повышением теплообеспеченности основные усилия должны быть направлены на максимальное использование дополнительных термических ресурсов в весенний и летний периоды для возделывания более теплолюбивых сортов и гибридов яровых культур.

2. Увеличение продолжительности вегетационного периода вносит корректировку в проведение агротехнических мероприятий: для наиболее рационального использования ресурсов влаги желательно сдвинуть сроки сева яровых на более ранние, а озимых – на более поздние сроки.

3. Для получения высоких и стабильных урожаев необходимо экономно расходовать водные ресурсы. Для этого на территории юга Томской области, где наблюдается максимальный рост количества осадков размещать влаголюбивые культуры и сорта, а на территории Алтайского края и юге Омской и Новосибирской областей – наиболее засухоустойчивые.

3 ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КЛАСТЕРНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ЦЕЛЕЙ АГРОКЛИМАТИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ ТЕРРИТОРИИ

Агроклиматическое районирование территории очень сложная и неоднозначная задача исследования, сущность которого является оценка агроклиматических ресурсов. Агроклиматические ресурсы территории – это совокупность агроклиматических факторов, определяющих продуктивность сельскохозяйственных культур при определенном технико–экономическом уровне сельскохозяйственного производства [155]. За предшествующий период накоплен огромный опыт общего и специального агроклиматического районирования, основанные на оценке благоприятности ведения сельского хозяйства. Так, например, агроклиматическое районирование проводилось Г. Т. Селяниновым [109], С. А. Сапожниковой [23] Д. И. Шашко [155], П. И. Колосковым [58] и т. д.

В работах П. И. Кузнецова [67], Т. Д. Модиной [80], А. П. Сляднева [124] и М. Г. Суховой [130] приводится более подробная информация об состоянии агроклиматических ресурсов Западной Сибири. Отметим, что большая часть данных исследований проводились в середине–конце XX века, а в условиях современного изменения климата подобные исследования могут быть уже неинформативны (смещение границ агроклиматических зон–подзон–провинций). Текущие изменения климата, а также увеличение частоты проявления его экстремальности привели к тому, что областные и краевые департаменты сельского хозяйства региона исследования стали нуждаться в постоянно обновляемой информации о состоянии климата и агроклиматических ресурсов [1, 5, 28].

Понимание подобной проблемы, в настоящем исследовании ставится задача провести современную классификацию агроклиматических ресурсов. Однако в отличие от ранее проведенных классификаций, основанных на качественном уровне, поставленная задача решается на математическом сходстве объектов исследования [11].

Кластерный анализ, принцип которого основан на математическом сходстве объектов исследования, можно разделить на два вида: иерархические и итеративные [7]. Один из наиболее гибких и информативных методов основанный на математическом сходстве объектов исследования является метод восходящей иерархической классификации [37]. Результаты иерархического кластерного анализа изображаются в виде дендрограмма – дерева объединения кластеров [44]. Возможность визуального представления структуры данных в виде дендрограмма, делает иерархические методы привлекательными [32]. Подробно об иерархической классификации излагается в [45].

В кластерном анализе предложено использовать итеративный метод k -средних. Иными словами, проводится поиск такого разбиения на классы, при котором дисперсия разбиения максимальна для заданного числа классов [36]. Применять этот метод на начальном этапе изучения не имеет смысла, поскольку приходится задавать число классов, а на данном этапе мы не знаем точного числа, выделяемых классов изначально [159]. Кроме того, с помощью подобного метода мы не можем получить признаковое пространство к менее общим особенностям [94]. Поэтому для анализа данных, первоначально использован метод иерархической классификации для нахождения оптимально значимых классов в визуальном (физическом) представлении, а метод k -средних был применен для математического обоснования правильности полученных классов [127].

Поэтому целесообразно, сначала провести классификацию по одному из иерархических методов, а только потом на основании экспертных оценок задать в качестве начального приближения k выбранных объектов, которые будут служить эталонами, т. е. центрами кластеров. [134]. Для количественной оценки сходства объектов, вводится метрика, используемая для вычисления расстояния (удаленности) между объектами – евклидово расстояние d_{ij} по формуле (8) из [159]:

$$d_{ij} = \sqrt{\sum_{k=i}^m (x_{ik} - x_{jk})^2}, \quad (8)$$

где d_{ij} – расстояние между i -ым и j -ым объектами (точками);

k – номер признака этих объектов ($k = 1, 2, \dots, m$).

Евклидово расстояние (и его квадрат) по формуле (7) вычисляются по исходным, а не по стандартизированным значениям. Это обычный способ его вычисления, который имеет определенные преимущества, такие как неизменность расстояния при введении в анализ нового объекта.

В настоящем исследовании приоритет объединения в кластер отдан методу Уорда (Варда), поскольку будут иметь большие значения пространственной корреляции, с образованием кластеров приблизительно равных размеров с минимальной внутриклассовой вариацией, т. е. получим сравнительно «заселённые классы» [54]. Так же основой выбора подобного метода послужило то, что имеется небольшое количество объектов и выражается структура признакового пространства [11, 36]. Не менее важным качеством данного метода является то, что он устойчив к «зашумлению» и имеет способность к восстановлению структуры данных. Для них определяются средние значения каждого признака, и рассчитывается сумма квадратов отклонений V_k по формуле (9) из [159]:

$$V_k = \sum_{i=1}^{m_k} \sum_{j=1}^p (x_{ij} - \bar{x}_{jk})^2, \quad (9)$$

где k – номер кластера;

i – номер объекта;

j – номер признака;

p – количество признаков, характеризующих каждый объект;

n_k – количество объектов в k -м кластере.

Данный метод предполагает, что на первом шаге объединяются два

ближайших кластера. Для них определяются средние значения каждого признака, и рассчитывается сумма квадратов отклонений [74].

3.1 Метод проводимого исследования

На основе представленных теоретических соображениях удалось получить пошаговое описание модифицированного алгоритма действий в данном исследовании, успешно апробированного ранее в работах [96, 97, 99–101]:

1. На начальном этапе в имеющейся многомерной пространственной выборке, состоящей из стандартизированных полей средних значений агроклиматических показателей: $\sum T_{10}$ (обеспеченных на 90 %), и *ГТК* за период 1961–2012 гг., отождествим каждую из них в отдельный класс. Такие классы, состоящие из единственного поля, называются начальными. Значения поля можно рассматривать как векторы в евклидовом пространстве. Общее число рассматриваемых векторов равно количеству полей в выборке N , т. е. количеству рассматриваемых гидрометеорологических станций (17 пунктов).

2. Идея кластерного анализа заключается в последовательном объединении близких по каким-либо признакам кластеров, при котором строится бинарное «перевернутое дерево» иерархии классов, т. е. дендрограммы. Объединения станций в однородные группы проводились методом Уорда.

3. На данном этапе получаем информацию о количестве полей, попавших в каждый класс по представленным методам. При спуске по ветвям дендрограммы будут выделяться все более тонкие и детальные структуры, свойственные географическим и климатическим особенностям. Однако, начиная с некоторого уровня данные структуры, уже не будут значимыми как физически, так и статистически.

4. Наибольшее расстояние между соседними уровнями указывает на предпочтительное число классов (соответствующее уровню, от которого осуществляется переход к последующему).

5. После завершения процедур классификации по иерархической классификации, оценим правильность разбиения с помощью метода k -средних. Основная операция алгоритма k -средних состоит в сопоставлении заданного числа наблюдений k кластерам, таким образом, необходимо заранее задать нужное количество кластеров.

6. Проверим адекватность результатов разбиения данных (функционал качества разбиения на классы) с помощью правила «заселенности и компактности» кластеров к расстоянию (d) между ними. Функционал качества основан на принципе: «Чем меньше расстояния (d) между объектом и центром класса, тем он более статистически устойчив».

3.2 Результаты исследования

Идея кластерного анализа заключается в последовательном объединении близких по каким-либо признакам кластеров, при котором строится дендрограмма. Представим такое объединение с помощью метода Уорда, результаты которого изображены на рисунке 22.

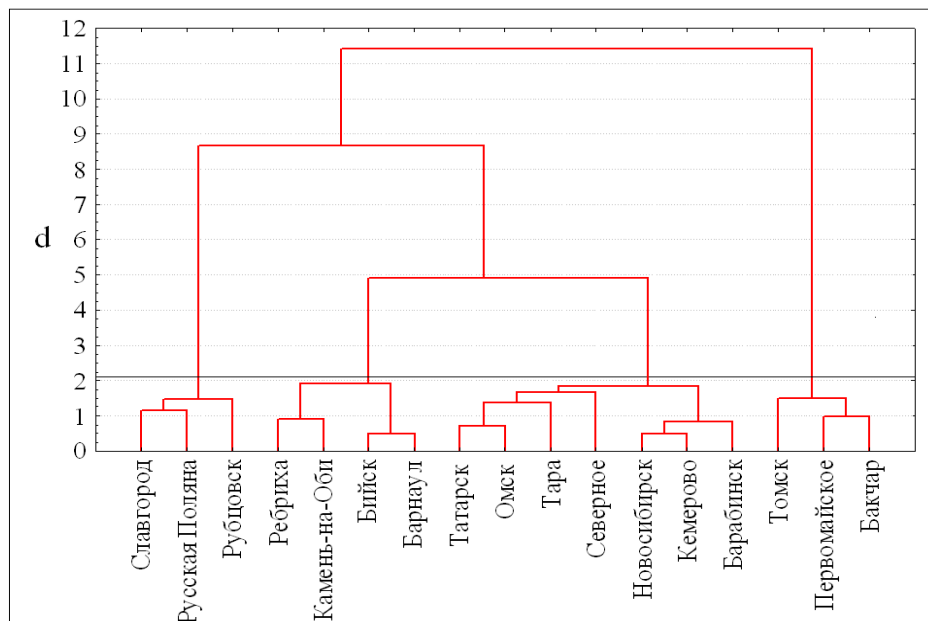


Рисунок 22 – Классификация признакового пространства ($ГТК, \Sigma T_{10}$) методом Уорда

Примечание: «чёрной линией» показано пороговое значение расстояния, d – евклидово расстояние.

Опираясь на правило, что прекращение образования групп в иерархических методах завершается в случае довольно резко увеличившемся расстоянию (d) по оси y . Таким образом, у бинарного дерева классов, представленного на рисунке 22, выделяются четыре ветви, где пороговое значение расстояния (d) составляет 2,1. Другими словами, при заданном пороговом расстоянии (d), признаковое пространство агроклиматических показателей разделилось на четыре класса: первый – Славгород–Русская Поляна–Рубцовск; второй – Ребриха–Камень-на-Оби–Бийск–Барнаул; третий – Татарск–Омск–Тара–Северное–Новосибирск–Кемерово–Барабинск и четвёртый – Томск–

Далее сравним полученную классификацию с итеративным методом k –средних. В таблице 14 представлены варианты классификаций для априорно заданных трёх случаев районирования (на 2, 3 и 4 класса) методом k –средних.

Таблица 14 – Сравнения результатов классификации методом k –средних и иерархической кластеризации методом Уорда (d – расстояние до центра класса в евклидовой метрике)

Пункт наблюдения	Варианты деления методом k –средних						Иерархический метод	
	2 класса		3 класса		4 класс			
	d	№	d	№	d	№		
Славгород	0,23	1	0,23	1	0,23	1	1	
Рубцовск	0,20		0,20		0,20			
Русская Поляна	0,25		0,25		0,25			
Ребриха	0,34		0,34		0,25	2		2
Камень-на-Оби	0,33		0,33	0,22				
Барнаул	0,65		0,84	0,19				
Бийск	0,28		0,28	0,12				
Омск	0,20		2	0,20	2	0,27	3	3
Татарск	0,27			0,27		0,29		
Барабинск	0,69			0,49		0,12		
Новосибирск	0,29			0,29		0,28		
Кемерово	0,68			0,39	0,30			
Северное	0,74			0,34	0,22			
Тара	0,38			0,38	0,23			
Первомайское	0,27	2		0,27	3	0,13	4	
Томск	0,13		0,13	0,18				
Бакчар	0,34		0,34	0,20				

Проверка адекватности результатов разбиения данных осуществляется с помощью функционала качества разбиения на классы – «заселенности и компактности» кластеров к расстоянию (d) между ними: чем меньше расстояния (d) между объектом и центром класса, тем он более статистически устойчив [32].

Придерживаясь данных критериев, можно сказать, что представленный в таблице 14, вариант деления на 2 класса методом k -средних не обладает статистической устойчивостью, поскольку наблюдаются объекты со значительным внутриклассовым расстоянием (d) до центра класса – Северное (0,74), Кемерово (0,68), Барабинск (0,69) и Барнаул (0,65). В случае деления на 3 класса, (d) улучшается, но все еще не достигается устойчивости одно из классов, где находится Барнаул ($d = 0,84$).

Предпочтительный результат разбиения агроклиматических показателей на однородные группы достигается в случае деления на 4 класса, где рассматриваемый функционал качества выполняется для всех классов. Отметим, что во всех вариантах кластеризации методом k -средних связка (Томск–Первомайское–Бакчар) не подвергается каким либо делениям, что подтверждается более компактной математической областью до центра класса, где d изменяется в интервале от 0,13 до 0,34. Разбиения данных на 4 класса иерархическим методом статистически устойчиво, что также подтверждается полным совпадением по методу k -средних, где составы всех групп имеют относительно тесные связи:

- 1) Славгород–Рубцовск–Русская Поляна, где $d = 0,20–0,25$;
- 2) Ребриха–Камень-на-Оби–Барнаул–Бийск где $d = 0,12–0,25$;
- 3) Омск–Татарск–Барабинск–Новосибирск–Кемерово–Северное–Тара, где $d = 0,12–0,30$;
- 4) Первомайское–Томск–Бакчар где $d = 0,13–0,20$.

Далее оценим физическую обоснованность предложенного деления на 4 класса иерархическим методом по территории исследования. Для этих целей сравним полученную классификацию признакового пространства с делением региона исследования по влагообеспеченности (по Г. Т. Селянинову) и

теплообеспеченности растений (по Д. И. Шашко и С. А. Сапожниковой) [154]. Данные результаты сравнений представлены в пространстве на рисунке 23, расчеты которых приводятся в таблице 5.1 приложения 5.



---	Границы провинций
....	Изолинии сумм температур, ΣT_{10}
■	Горная область

Критерии агроклиматических условий по классам	
I	Природная зона - <i>степь</i> Провинция - <i>сухостепная</i> (ГТК = 0.4 - 0.7) Приоритетные виды культур при (1800 - 2200°C): яровая пшеница (п), подсолнечник на зерно (р), сахарная свекла для переработки на сахар (р), кукуруза на зерно (р), фасоль (р), просо (п)
II	Природная зона - <i>степь</i> Провинция - <i>засушливая</i> (ГТК = 0.7 - 1.0) Приоритетные виды культур при (1600 - 1800°C): ячмень (п), яровая пшеница (п, р) озимая пшеница, кукуруза (с) в фазе вымётывания, сахарная свекла на корм или на сахар (р), подсолнечник на зерно (р)
III	Природная зона - <i>лесостепь</i> Провинция <i>оптимального увлажнения</i> (ГТК = 1.0 - 1.3) Приоритетные виды культур (1400-1600°C): овёс (р), ячмень (с, п), яровая пшеница (с), кукуруза (с) в фазе вымётывания, сахарная свекла на корм
IV	Природная зона - <i>южнотаежно-лесная</i> Провинция <i>избыточного увлажнения</i> (ГТК > 1.3) Приоритетные виды культур (1200 - 1400°C): ячмень (р), горох (р), лён на волокно (р), овес (р), ячмень (с)

Рисунок 23 – Агроклиматические особенности юго-востока Западной Сибири, полученные с помощью иерархического кластерного анализа
(р – ранние, с – средние, п – поздние сорта)

На рисунке 23 видно, что классификация, полученная объективным способом, имеет хорошую территориальную согласованность с делением региона по условиям влагообеспеченности в соответствии с зонированием Г. Т. Селянинова [155]. Выявленные особенности агроклиматических условий позволяют уточнить территорию исследования по внутривосточным подразделениям – провинциям. Так, I класс полностью относится к провинции, отражающей условия очень засушливых степей, II класс – засушливых степей, III класс – слабо засушливых лесостепей и IV класс – южнотаежно-лесных влажных зон. Отметим, что полученные классы в пространстве физически отражают увеличение условий засушливости с севера на юг.

Прослеживается идентичность границ классов с термическими подпоясами обеспечивающими созревание сельскохозяйственных культур в 90 % общего числа лет (по Д. И. Шашко и С. А. Сапожниковой). Все это позволяет определить специфику выделенных классов по приоритетным видам выращиваемых культур: I класс (> 1800 °С) – яровая пшеница (*n*), подсолнечник на зерно (*p*), сахарная свекла для переработки на сахар (*p*), кукуруза на зерно (*p*), фасоль (*p*), просо (*n*); II класс (1600–1800 °С) – ячмень (*n*), яровая пшеница (*c*), кукуруза в фазе выметывания (*c*), сахарна свекла на корм; III класс (1400–1600 °С) – овёс (*p*), ячмень (*c, n*), яровая пшеница (*c*), кукуруза (*c*) в фазе выметывания, сахарна свекла на корм; IV класс (1200–1400 °С) – ячмень (*p*), горох (*p*), лён на волокно (*p*), ячмень (*c*).

Хорошее пространственное сходство полученной классификации с проведенными ранее агроклиматическими классификациями, в условиях потепления климата, позволяет уточнить их современное положение, результаты сравнения приводятся на рисунке 24, расчеты к ним приводятся в таблице 5.2 из приложения 5.

Карты–схемы на рисунке 24 показывают, что относительно базового периода (1961–1990 гг.), за последнее десятилетие (2003–2012 гг.) границы агроклиматических классов претерпели существенные изменения. Резко сократилась зона IV класса, соответствующая агроклиматическим условиям

лесной влажной зоны. Условия характерные слабо засушливой лесостепной (III класс) провинции существенно продвинулась к северу. Условия степной засушливой провинции (II класс) также расширяются и распространяются к северу, вплоть до центральных районов Новосибирской и Омской областей. Засушливая степная провинция (I класс) получила распространение вплоть до южных районов Новосибирской области.

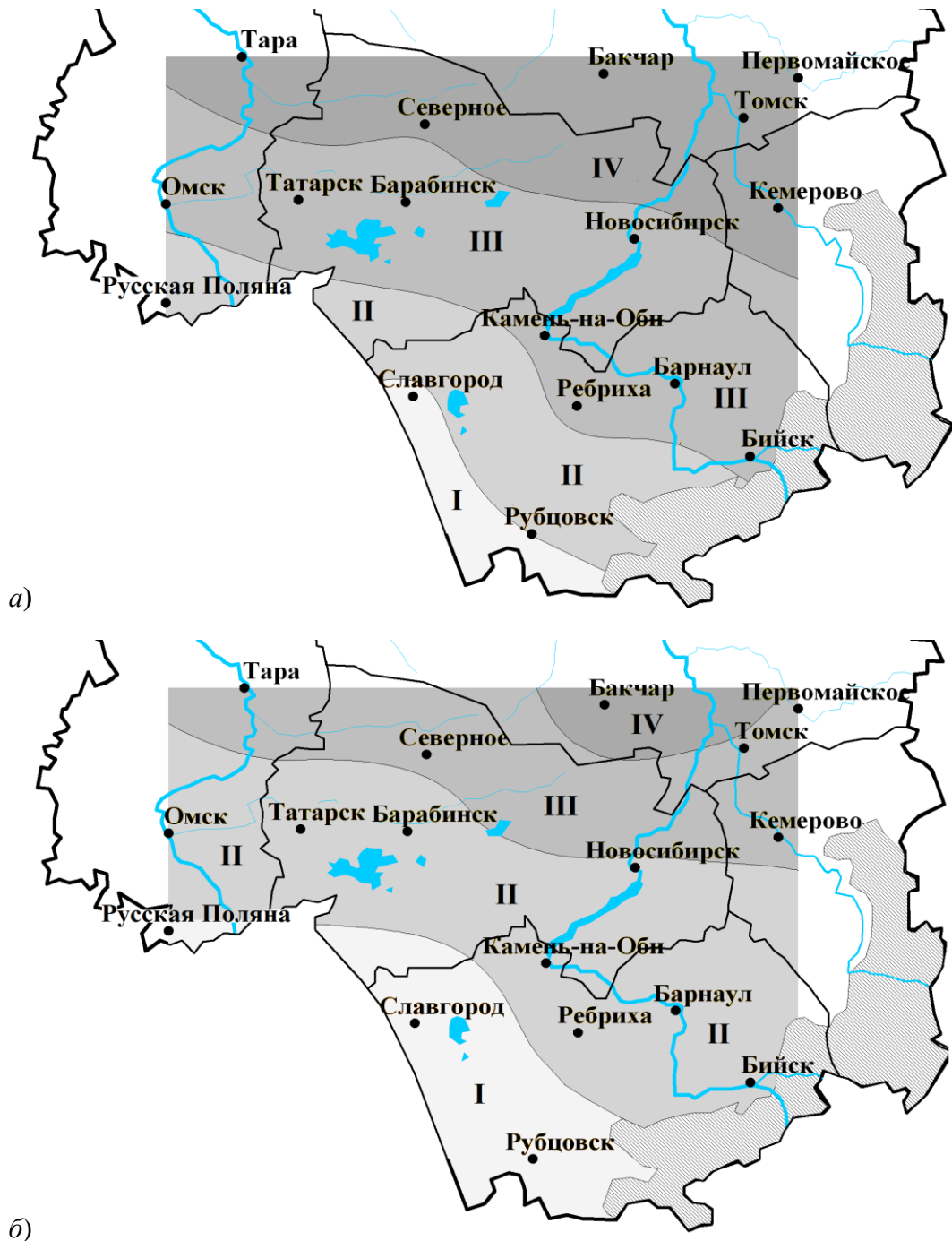


Рисунок 24 – Карта-схема положения границ классов, полученных за 1961–1990 гг. (а) и за период 2003-2012 гг. (б)

Таким образом, наблюдаемые изменения границ классов, в целом благоприятны для сельского хозяйства юго-востока Западной Сибири. Это следует из того, что максимальное приращение при потеплении получает провинция слабо засушливой лесостепи (III класс), а также степной засушливой (II класс), ассоциируемые с устойчивым и высокопродуктивным зерновым хозяйством.

При использовании кластерного анализа для целей агроклиматического районирования территории можно отметить следующие основные моменты:

1. Представление результатов анализа в виде дендрограммы более удобно для восприятия и понимания информации. Объективный способ анализа территории позволил получить статистически обоснованную классификацию сложившихся агроклиматических условий за последние 52 года (1961–2012 гг.);

2. В условиях унификации информации и оперативности расчета больших массивов метеорологических данных, итоги классификации имеют хорошую территориальную согласованность с полученными ранее агроклиматическими делениями (провинциями): по влагообеспеченности (Г. Т. Селянинов) и теплообеспеченности (Д. И. Шашко и С. А. Сапожниковой). Материалы карты и расширенная легенда к ней позволяют характеризовать отдельные районы территории по важнейшим агроклиматическим показателям, определяющим продуктивность сельскохозяйственных культур;

3. В сравнении с базовым периодом (1961–1990 гг.), за последнее десятилетие (2003–2012 гг.) складывающиеся агроклиматические условия могут существенно изменить территориальную специализацию ведения сельского хозяйства – расширить зоны эффективного зернового хозяйства.

4 ВОЗДЕЙСТВИЕ ВОЛН ТЕПЛА НА РАННЮЮ ЯРОВУЮ ПШЕНИЦУ В ПЕРИОД ЕЕ КРИТИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ

Проблема климатических изменений является одной из наиболее актуальных в современной науке, а изучение проявлений его экстремальности является стратегической задачей, поскольку с ними связаны ощутимые социально–экономические ущербы [155]. Более чем за 100-летнюю историю метеорологических наблюдений в последнее десятилетие в мире всё чаще фиксируются экстремальные значения в рядах приповерхностной температуры воздуха [26]. Согласно 5–му МГЭИК, опубликованному в 2013 году, средняя глобальная температура за период с 1951 по 2012 год повысилась на 0,72 °С. По данным МГЭИК, самым теплым для всего Земного шара оказался 1998 год, второе–третье место соответственно у 2005 и 2010 годов. Все следующие девять максимумов наблюдались в XXI веке. В среднем для Северного полушария первый ранг среди самых теплых лет занимает 2007, а за ним с минимальными различиями следуют 2010 и 1998 годы [161]. По последним совместным исследованиям ВМО в российских регионах на фоне происходящих глобальных климатических изменений самым теплым является 2007 год, второе–третье место – 1995 и 2008 годов. Для территории Западной Сибири в десятку самых теплых лет входят 2006 и 2012 годы [18].

Для лучшего понимания механизмов климатических изменений на региональном уровне необходимы более детальные оценки температурных волн (кратковременные периоды экстремально жарких или холодных погод) [6]. На основании материалов исследований С. В. Морозовой в [81, 84, 85], можно сказать, что изучение температурных волн является одним из современных направлений исследований в климатологии. Такие экстремальные значения приповерхностной температуры воздуха формируются за достаточно короткий временной интервал, изменения температуры в котором часто носят волновой характер по [57].

Термин «волны холода / тепла» возник в связи с проводившимися еще в конце XIX в. исследованиями областей холодного (теплого) воздуха, которые после своего зарождения в северо-западных районах континента (как Европы, так и Северной Америки) перемещаются в юго-восточном направлении, подобно волне [82]. Общепризнанного критерия выделения волн тепла или холода не существует [141]. Так, например Б. И. Срезневский за волну принимал понижение температуры воздуха на 10 °С за сутки. Сотрудниками Центрального института прогнозов (ЦИП), в лице Л. И. Блюмина, Е. И. Борисова и В. Г. Шишкова за критерий похолодания (потепления) принимали понижение (повышение) среднейточной температуры воздуха на 5 °С и более продолжительностью не менее двух дней [83]. И это вполне объяснимо, так как, в зависимости от задач научного исследования или практического обслуживания населения, интерес могут представлять волны определенной интенсивности или продолжительности [66, 107].

Одним из современных направлений исследований экстремальных погодноклиматических условий, является изучение температурных волн (на примере кратковременных периодов жарких и сухих погод), которые могут приводить к угнетению растительности [63, 152]. Большой интерес представляет рассмотреть волны тепла в критический (уязвимый) период жизни зерновых культур [69].

Критический (уязвимый) период жизни зерновых культур по отношению к атмосферной влаге является – выход в трубу и формирование репродуктивных органов [145]. В этот период растениями употребляется 50–60 % всей необходимой воды. Благодаря недостатку влаги в этот период увеличивается бесплодность колосков – снижается крупность зерна, что приводит к значительному снижению урожайности. Последующие обильные осадки уже не могут исправить положение [19]. В таких условиях растения ускорено переходят от одной фазы развития к другой, что в итоге сказывается на снижении урожайности [144].

Таким образом, представленные факты определили задачу нашего исследования – изучение волн тепла в уязвимый период жизни зерновых культур

на территории юга Западной Сибири как региона с неустойчивыми климатическими условиями.

4.1 Метод идентификации волн тепла и алгоритм исследования

На территории юго-востока Западной Сибири по данным ВНИИСХМ [123] критический период в жизни ранней яровой пшеницы (выход в трубу–колошение / выметывание) начинается в конце мая и продолжается вплоть до конца первой декады июля. Таким образом, условно за критический период в жизни растений и соответствующий расчёт волн проводился с 25 мая по 10 июля, кроме того, для сравнения использовались два временных интервала – 1961–2012 гг. и 2000–2012 гг. Последний представляет интерес как наиболее теплое десятилетие за весь период инструментальных наблюдений.

Идентификация волн тепла, которые, возможно, могут приводить к частичному снижению продуктивности сельскохозяйственных культур, производился в данном исследовании по следующим условиям:

– за один случай волнового потепления принимался непрерывный отрезок временного ряда длиной ≥ 5 дней, поскольку зерновые культуры без существенных повреждений переносят рассматриваемые условия до 5 дней по [143];

– отклонение среднесуточной температуры воздуха относительно своего среднего многолетнего значения за базовый период (1961–1990 гг.) составляло $\geq 1,25\sigma$ (σ – стандартное отклонение среднемесячной температуры воздуха для каждого месяца);

– отсутствие атмосферных осадков.

Средние многолетние значения для каждого дня года и стандартные отклонения рассчитывались за базовый период 1961–1990 гг.

Для выявленных волн тепла с помощью программного продукта Visual FoxPro 9.0 (Microsoft, USA) были рассчитаны следующие характеристики: дата возникновения волны, продолжительность (длина волны, дни); интенсивность

(превышение среднесуточной температуры воздуха относительно своего среднего многолетнего значения, выраженное в σ , °C) и максимальная температура воздуха в волне (T_{max} , °C), расчеты которых приводятся в таблице 6.1 из приложения 6.

4.2 Результаты исследования

Климатическая повторяемость волн тепла, наблюдаемые в критический период жизни зерновых культур, рассчитанная за базовый период и за период 2000–2012 годов, отражена на рисунке 25, расчеты которых представлены в таблице 6.2 из приложения 6. Изображённая карта–схема на рисунке 25 показывает, что общее количество волн за тёплый период колеблется в пределах от 6 случаев (Барабинск, Новосибирск, Русская Поляна и Ребриха) до 13 (Первомайское). Вклад волн тепла отмеченные в уязвимый период жизни ранней яровой пшеницы за последние 13 лет для большей части территории составляет 11–67 %.

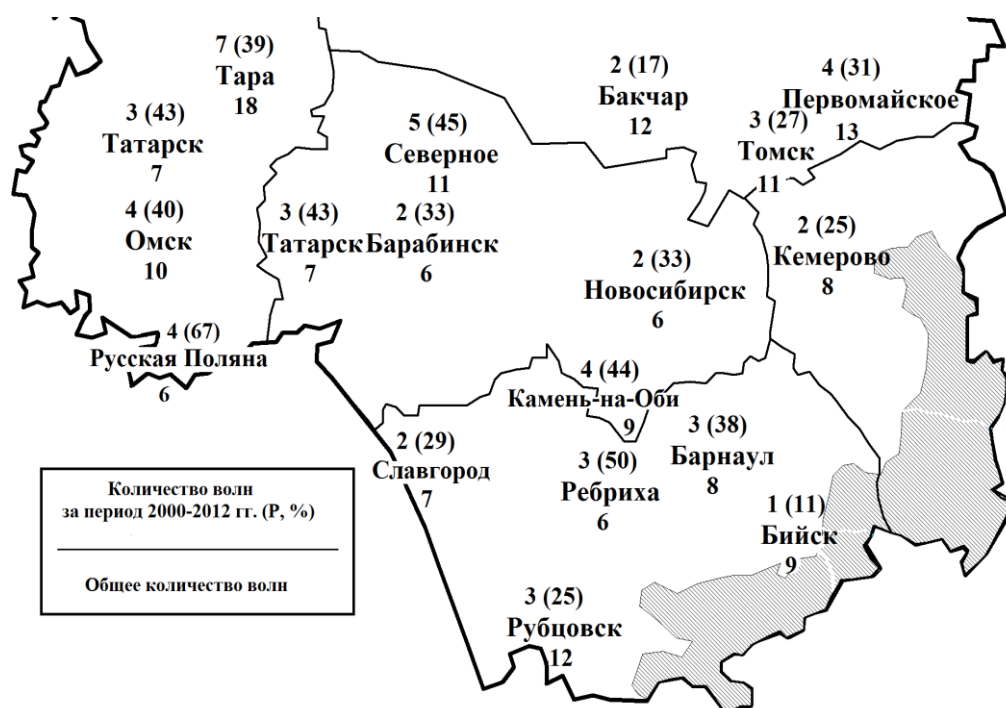


Рисунок 25 – Карта–схема распределения повторяемости волн тепла на территории юго-востока Западной Сибири в критический период жизни ранней яровой пшеницы

Примечание: P – повторяемость волн за период 2000–2012 гг. относительно общего числа на станции, %.

Далее рассмотрим распределение повторяемости волн тепла непосредственно внутри критического периода жизни зерновых культур (июнь-июль), результаты которых представлены в таблице 15.

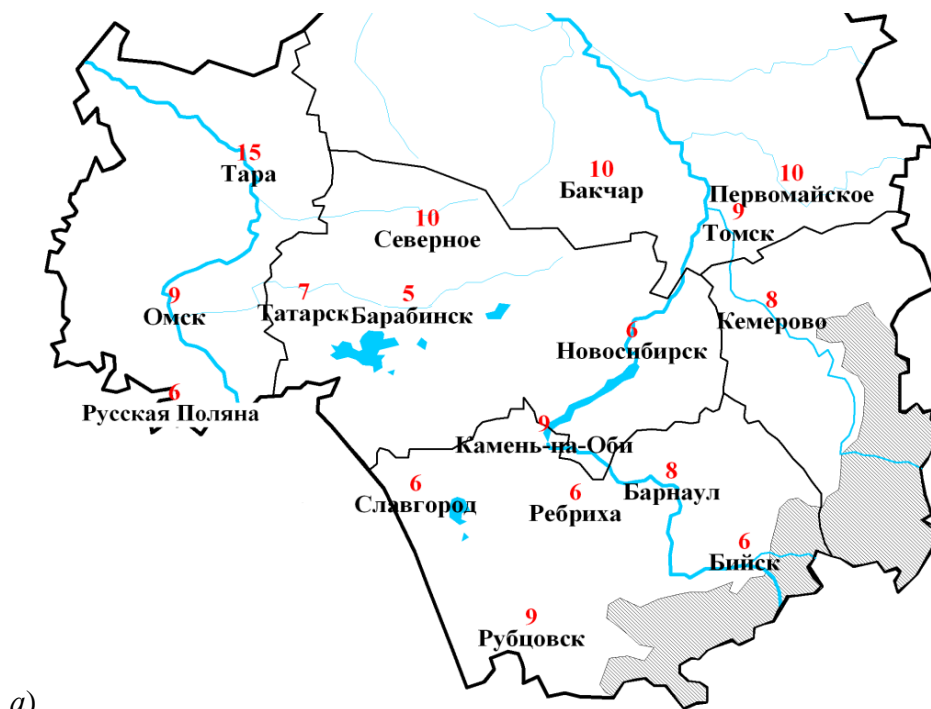
Таблица 15 – Распределение повторяемости волн тепла по декадам внутри уязвимого периода жизни ранней яровой пшеницы (июнь – июль)

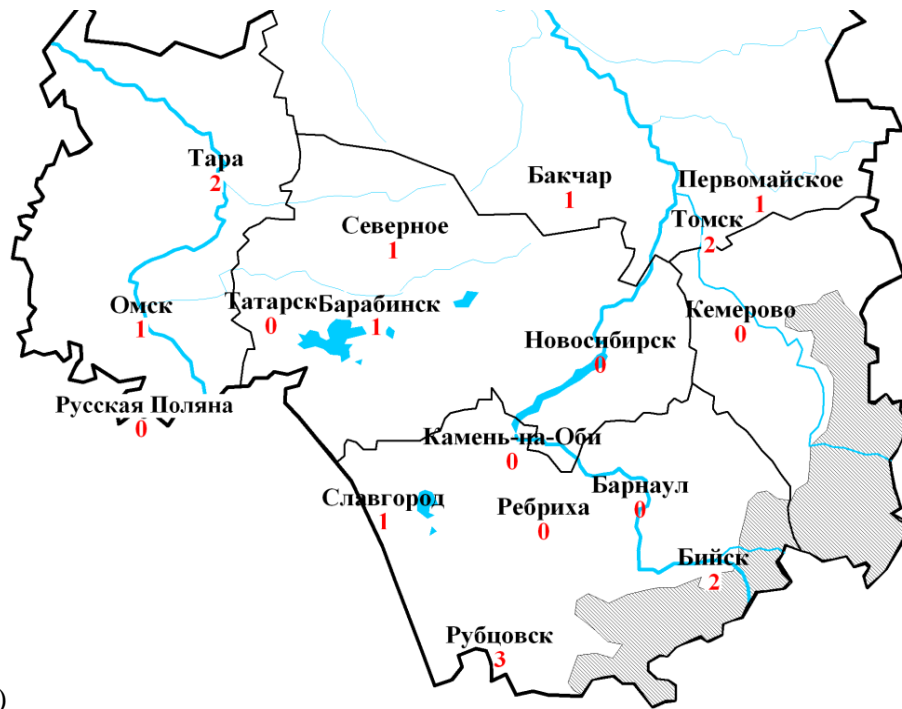
Станции	июнь				июль			
	1	2	3	N _{июнь}	1	2	3	N _{июль}
Бакчар	4 (50)	1 (13)	3 (37)	8	1 (50)	1 (50)	0	2
Барабинск	1 (25)	2(50)	1 (25)	4	0	1 (25)	3 (75)	4
Барнаул	1 (25)	1 (25)	2 (50)	4	1 (13)	2 (37)	3 (50)	6
Бийск	3 (75)	0	1 (25)	4	1 (16)	3 (42)	3 (42)	7
Камень-на-Оби	4 (80)	1 (20)	0	5	2 (25)	2 (25)	4 (50)	8
Кемерово	2 (40)	2 (40)	0	4	2 (40)	1 (20)	2 (40)	5
Новосибирск	2 (75)	0	1 (25)	3	2 (40)	1 (20)	2 (40)	5
Омск	2 (50)	2 (50)	0	4	3 (42)	2 (29)	2 (29)	7
Первомайское	5 (56)	2 (22)	2 (22)	9	2 (28)	1 (15)	4 (57)	7
Ребриха	1 (33)	1 (33)	1 (33)	3	1 (50)	1 (50)	0	2
Рубцовск	2 (29)	2 (29)	3 (42)	7	2 (33)	1 (17)	3 (50)	6
Русская Поляна	3 (75)	1 (25)	0	4	0	0	0	0
Северное	2 (50)	0	2 (50)	4	1 (10)	2 (40)	2 (40)	5
Славгород	1 (33)	0	2 (67)	3	0	1 (33)	2 (67)	3
Тара	3 (42)	1 (16)	3 (42)	7	3 (30)	4 (40)	3 (30)	10
Татарск	3 (67)	0	1 (33)	4	1 (25)	2 (50)	1 (25)	4
Томск	4 (57)	1 (15)	2 (28)	7	2 (67)	1 (33)	0	3
Регион	3 (60)	1 (10)	1 (40)	5	1 (17)	2 (33)	3 (50)	6
<i>Примечание: Общее количество волн тепла N, в скобках – повторяемость волн относительно общего числа волн, %.</i>								

Из анализа результатов таблицы 15 можно сказать, что преобладающее количество волн тепла приходится на первую декаду июня (от 1 до 4 случаев), во второй и третьей декадах июня – от 1 до 2 случаев, причем на некоторых станциях они вообще не встречаются. Опираясь на метод изменения сроков посева по [23], возможно минимизировать ущерб от засушливых явлений, благодаря смещению этих сроков на более поздний срок. Поскольку более поздний срок посева, позволяет перенести критический период в такие декады, в которых отмечается меньшее количество случаев погодных условий с волнами тепла, а именно со второй декады июня по первую декаду июля. Это может

обеспечить нормальное формирование глубокой и разветвлённой корневой системы высеваемых растений.

Степень неблагоприятного воздействия определяется интенсивностью и длительностью воздействия жарких периодов. В процессе исследования для каждой волны определялись её индивидуальные характеристики, таких как продолжительность и интенсивность. Интенсивность волны (I), опираясь на [57], представляется градациями: умеренная $I < 2,0 \sigma$; сильная – $2,0 \sigma \leq I < 2,5 \sigma$; очень сильная $I \geq 2,5 \sigma$. расчеты которой представлены в таблице 6.3 из приложения 6. Сильные и очень сильные превышения среднесуточной температуры воздуха относительно своего среднего многолетнего значения в интервале 5-10 дней являются очень редким событием (от полного отсутствия на станции до 3 волн). Волны продолжительностью от 11 до 17 дней были отмечены только в северной части региона исследования (Тара–Бакчар–Первомайское). Наибольшая повторяемость приходится на волны тепла продолжительностью от 5 до 10 дней с умеренной и сильной интенсивностью (97 % от общего числа волн), распределение числа случаев которых приведены на рисунке 26.





б)

Рисунок 26 – Распределение повторяемости волн тепла (число случаев) умеренной (а) и сильной (б) интенсивностей (I) продолжительностью 5-10 дней на территории юго-востока Западной Сибири

Из анализа рисунка 26 (а, б) можно отметить, что на территории юга Западной Сибири в период критического развития растительности преобладают волны тепла умеренной интенсивности. Отметим, что в западных и северных районах территории исследования (Тара–Северное–Томск–Первомайское) они встречаются чаще, чем в центральных районах.

При экстремально высоких дневных температурах начинается процесс повреждения зерновых культур [63]. Это выражается в ускорении процесса высыхания листьев, благодаря тому, что устьичный аппарат растений перестаёт регулировать испарение [19]. Таким образом, становится интересным рассмотреть данные о повторяемости волн тепла, в течение которых максимальная суточная температура воздуха превышала средние абсолютные максимальные температуры воздуха в июне по данным научно-прикладного справочников по климату СССР [86], результаты, которых приводятся в таблице 16.

Таблица 16 – Количество волн тепла ($N_{\bar{T}}$) с превышением среднего абсолютного максимума температуры воздуха ($\bar{T}_{\text{макс.}}$) в июне

Станция	Параметр		Станция	Параметр	
Бакчар	$\bar{T}_{\text{макс.}}$	31	Первомайское	$\bar{T}_{\text{макс.}}$	31
	$N_{\bar{T}}$	4		$N_{\bar{T}}$	6
	годы	1969, 1976, 1994, 1999		годы	1967, 1976, 1980, 1994, 1999, 2003
Барабинск	$\bar{T}_{\text{макс.}}$	32	Ребриха	$\bar{T}_{\text{макс.}}$	33
	$N_{\bar{T}}$	3		$N_{\bar{T}}$	1
	годы	1976, 1978, 2006		годы	1994
Барнаул	$\bar{T}_{\text{макс.}}$	32	Рубцовск	$\bar{T}_{\text{макс.}}$	34
	$N_{\bar{T}}$	1		$N_{\bar{T}}$	1
	годы	1994		годы	1988
Бийск	$\bar{T}_{\text{макс.}}$	32	Северное	$\bar{T}_{\text{макс.}}$	30
	$N_{\bar{T}}$	3		$N_{\bar{T}}$	4
	годы	1992, 1994, 1998		годы	1976, 1994, 1999, 2000
Камень-на-Оби	$\bar{T}_{\text{макс.}}$	33	Славгород	$\bar{T}_{\text{макс.}}$	35
	$N_{\bar{T}}$	3		$N_{\bar{T}}$	-
	годы	1999, 2005, 2012		годы	-
Кемерово	$\bar{T}_{\text{макс.}}$	31	Тара	$\bar{T}_{\text{макс.}}$	31
	$N_{\bar{T}}$	4		$N_{\bar{T}}$	4
	годы	1975, 1981, 1994, 2003		годы	1995, 1998, 2000, 2009
Новосибирск	$\bar{T}_{\text{макс.}}$	32	Татарск	$\bar{T}_{\text{макс.}}$	32
	$N_{\bar{T}}$	2		$N_{\bar{T}}$	3
	годы	1969, 1994		годы	1969, 1976, 1978
Омск	$\bar{T}_{\text{макс.}}$	33	Томск	$\bar{T}_{\text{макс.}}$	31
	$N_{\bar{T}}$	3		$N_{\bar{T}}$	3
	годы	1963, 1974, 1998		годы	1969, 1976, 1982

Анализ данных таблицы 16 показывает, что данные условия наблюдались по территории от 1 до 6 раз. Можно сказать, что большее их количество (4 и более случая) характерно для северных и восточных районов исследования. Отметим, что 82 % от общего числа волн с превышением рассматриваемого критерия на территории исследования приходится на период современной волны потепления (с 1976 г.) до настоящего времени.

Ущерб сельскому хозяйству от волн тепла, зависит от территории, охваченной ими, а также от интенсивности и их продолжительности. Таким образом, имеет интерес рассмотреть волны тепла, получившие развитие на $\geq 50\%$ территории исследования, результаты которых приведены в таблице 17.

Таблица 17 – Оценка повторяемости различных типов волн тепла и состояния посевов ранней яровой пшеницы в критический период развития

Годы	Состояние посевов		Характер повреждений		$W, мм$		I		$П, дни$		Тип ЭЦМ
	Удовлетворительное	Плохое	Ожоги и засыхание листьев	Потеря тургора в дневные часы	10–20	0–10	$1.25 \sigma \leq I < 2.0 \sigma$	$2.0 \sigma \leq I < 2.5 \sigma$	5–7	8–10	
1965	■		■		■		■		■		9a
1968	■		■		■		■		■		13л
1969		■		■		■		■		■	12a
1976		■		■		■		■		■	12a
1983	■		■		■		■		■		13л
1990	■		■		■		■		■		9a
1994	■		■			■		■	■		13л
1997	■		■		■			■	■		9a
1998		■	■	■		■		■		■	12a
1999		■	■	■		■		■		■	12a
2001	■		■	■	■		■		■		13л
2003	■		■	■	■		■		■		9a
2005	■		■	■	■		■		■		6
2006	■		■		■		■		■		6
2009	■		■		■		■		■		12a
2012		■	■	■		■		■		■	12a

Примечание: W – минимальные значения влагосодержания в пахотном слое почвы; I – интенсивность волны: умеренная ($1,25 \sigma \leq I < 2,0 \sigma$), сильная ($2,0 \sigma \leq I < 2,5 \sigma$); П – продолжительность волны, ЭЦМ – элементарный циркуляционный механизм, приводящий к возникновению волны тепла по Б. Л. Дзердзеевскому

Приведенные результаты в таблице 17 показывают, что характер повреждений носил одностипный характер: ожоги листьев и стеблей, их пожелтение и засыхание, а также потеря тургора. Отмечалось снижение влагосодержания в пахотном слое почвы (W) до критически малых значений (10–20 мм), а в ряде случаев до частичного иссушения почвы (0–10 мм). Наиболее

опасными являются волны тепла продолжительностью (*И*) 8–10 дней, с сильной интенсивностью волны (*I*) – плохое состояние посевов. В данных условиях формировались плохие всходы (недобор в росте), а недостаток водного питания приводил к уменьшению числа колосков.

Для подтверждения того, что при прохождении рассматриваемого типа волн действительно наблюдалось угнетение растительности, были привлечены данные о состоянии зерновых, полученные из ежегодных агрометеорологических справочников по территории исследования [3, 4]. Таким образом, приведенные результаты в таблице 17 показывают, что в годы с волнами тепла, имеющие большой охват по территории, общее состояние посевов ухудшалось до удовлетворительного, а в отдельных случаях и до плохого. Характер повреждений зерновых культур по территории носил однотипный характер: ожоги листьев и стеблей, их пожелтение и засыхание («закрашенные ячейки»). Во всех случаях с волной, отмечалось снижение влагосодержания в пахотном слое почвы до критически малых значений (10–20 мм), а в степных районах до полного их иссушения. От недостатка влаги в почве, неоднократно отмечалась потеря тургора в дневное время (гидростатическое давление внутри клетки) в тканях растительности. Также отмечались случаи, когда иссушение пахотного слоя в степных районах приводило к физиологической засухе у растений. Негативные воздействия рассматриваемого типа волн тепла также сказывалось на замедлении процессов развития культур, что нередко приводило к недобору их в росте.

Наиболее опасными являются волны тепла продолжительностью (*И*) 8–10 дней, с сильной интенсивностью волны (*I*) – плохое состояние посевов. В данных условиях формировались плохие всходы (недобор в росте), а недостаток водного питания приводил к уменьшению числа колосков

Привлечение элементарных циркуляционных режимов (ЭЦМ), которые были выявлены и типизированы Б. Л. Дзердзеевским по [62], позволяют уточнить макроциркуляционные процессы, связанные с приходом волн тепла, ведущих к угнетению растительности на территории юго-востока Западной Сибири.

Результаты повторяемости групп циркуляционных режимов и летних типов ЭЦМ за случаи с обширными волнами тепла приводятся в таблице 17.

Можно сказать, что волны тепла возникали при условиях (эталонах) нарушения зональности и меридиональной циркуляции. Летний тип ЭЦМ 6 (нарушение зональности), представленный на рисунке 27 характерен тем, что на территории юга Западной Сибири происходит ослабление циклонической деятельности, что приводит к формированию малоградиентной области пониженного давления (летняя депрессия).

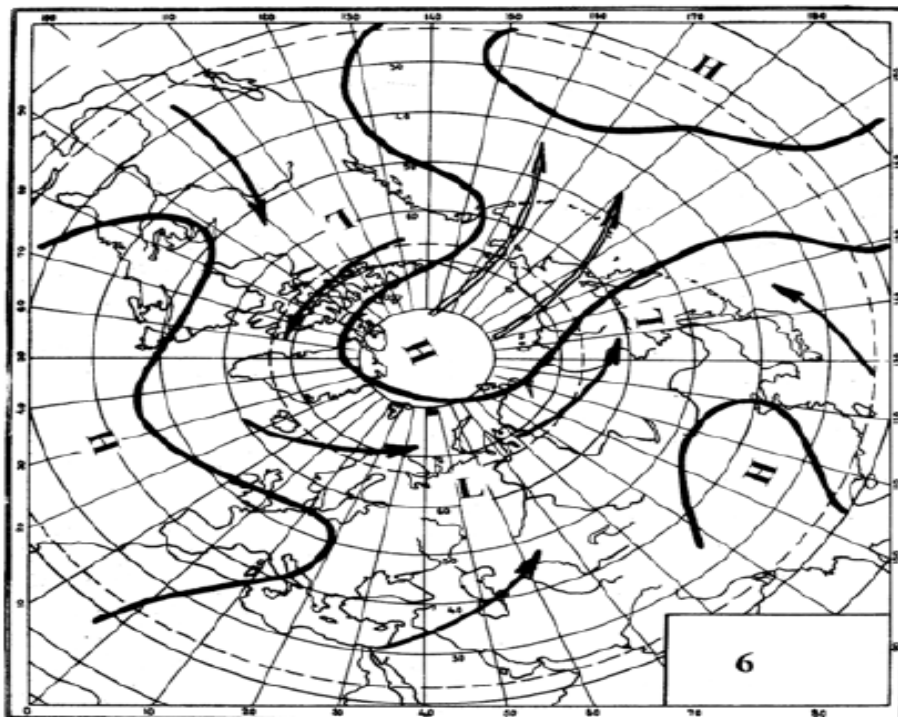


Рисунок 27 – Динамическая схема типа ЭЦМ 6 [62]

Примечание: стрелками показаны генерализованные траектории циклонов во внетропических широтах; пунктирная линия; Н и L – высокое и низкое давление соответственно; граница между областями высокого и низкого давления проведена по изолинии 1015 гПа.

Меридиональная северная группа циркуляции, представлена двумя типами ЭЦМ: 9a (a) и 12a (б), представленные на рисунке 28.

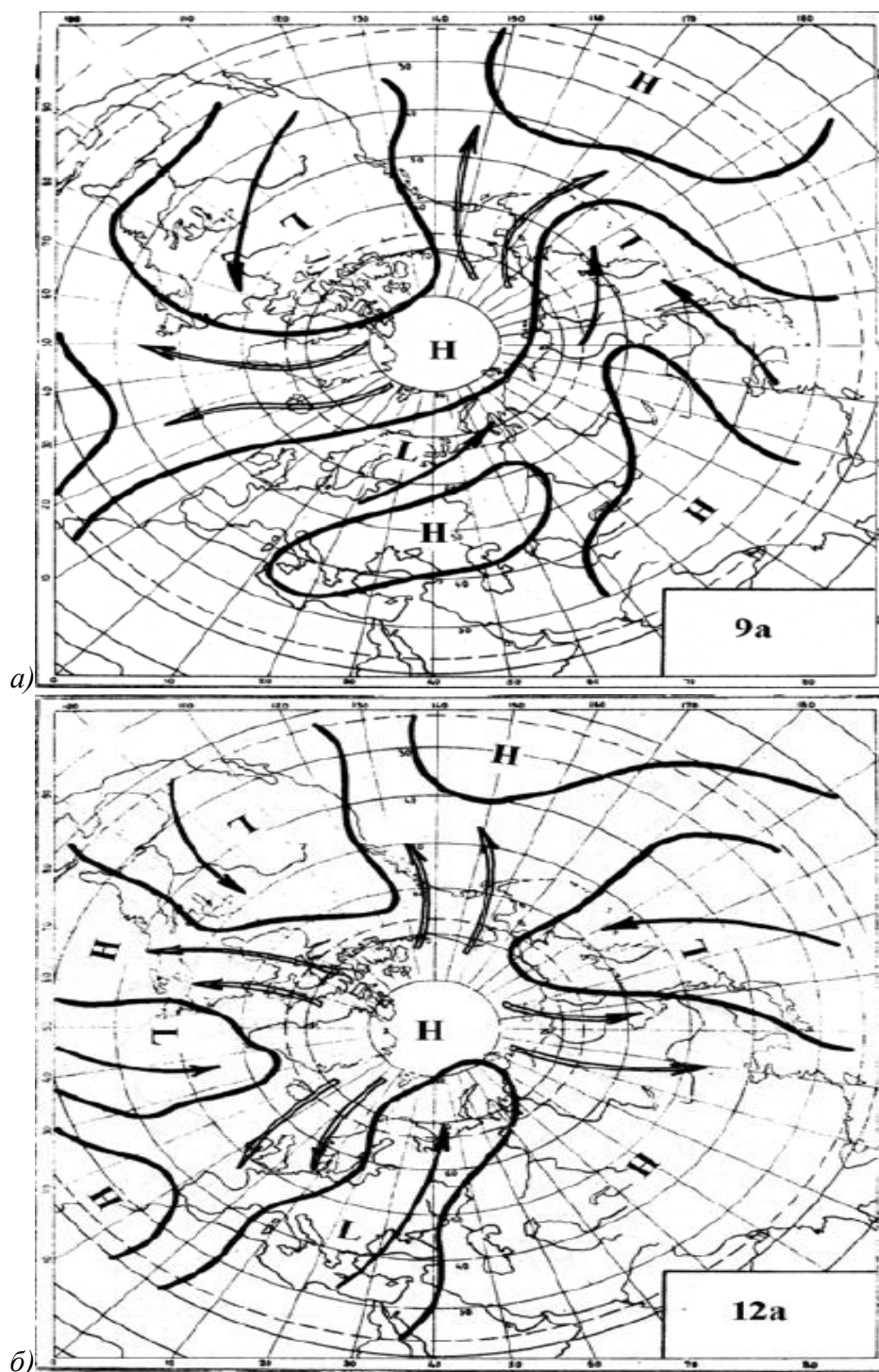


Рисунок 28 – Динамические схемы типов ЭЦМ: 9а (а) и 12а (б) [62]

Примечание: стрелками показаны генерализованные траектории циклонов во внетропических широтах; пунктирная линия; Н и L – высокое и низкое давление соответственно; граница между областями высокого и низкого давления проведена по изолинии 1015 гПа.

Процессы, связанные с типом 9а (рис. 28а), характеризуются над югом Западной Сибири появлением временных обширных антициклональных образований, при которых затухает циклональная деятельность, что приводит к образованию малоградиентного поля повышенного давления. При типе 12а (рис.

28б), характерна антициклональная деятельность (стационарный антициклон) в результате распространения на юг Западной Сибири гребней арктического антициклона. Подобные ситуации связаны с вторжениями сухого арктического воздуха на территорию исследования, с последующей его трансформацией, благодаря быстрому его прогреву.

Меридиональная южная группа циркуляции, связана с выходами южных циклонов на полушарии и представлена в летнее время одним ЭЦМ, таким как: 13л, динамическая схема которого приводится на рисунке 29.

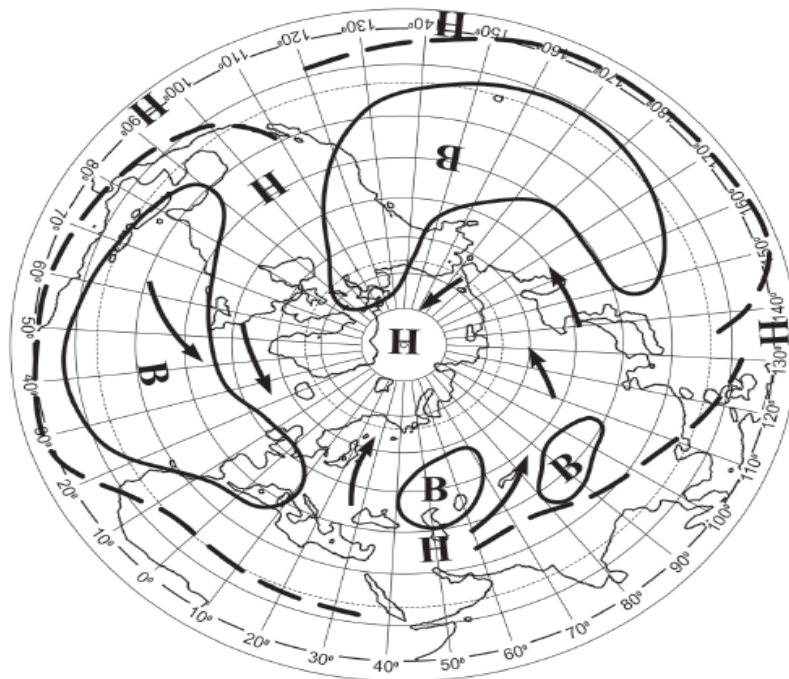


Рисунок 29 – Динамическая схема типа ЭЦМ 13л [62]

Примечание – стрелками показаны генерализованные траектории циклонов во внетропических широтах; пунктирная линия – внутритропическая зона конвергенции; Н и В – низкое и высокое давление; граница между областями высокого и низкого давления проведена по изолинии 1015 гПа.

При 13л, над югом Западной Сибири характерно самостоятельное ядро повышенного давления, которое способствует интенсивному прогреву. Высокая сухость воздуха поддерживается благодаря выносу воздушных масс из субтропических широт [102].

Представленные типы ЭЦМ показывают, что условия возникновения волн тепла, связаны с формированием малоградиентных полей повышенного давления,

либо самостоятельных ядер антициклона (ЭЦМ – 12а, 9а, 6 и 13л). Отметим, что наиболее тяжелые последствия для посевов связаны с преобладанием типа ЭЦМ 12а – формируется и стационарирует антициклон в средней тропосфере (H_{500}), как многоядерное барическое образование, с последующим преобразованием его в барический гребень [100]. Таким образом, жаркая и сухая погода на протяжении около 10 дней, связанная с данным макроциркуляционным процессом приводит к наибольшему замедлению развития растений и их повреждению, благодаря несоответствию фактического расхода влаги и физиологической потребности в ней растительности [21].

Таким образом, при анализе короткопериодных волн тепла можно отметить следующие основные моменты:

1. Вклад волн тепла отмеченные в уязвимый период жизни зерновых культур за последние 13 лет для большей части территории составляет колеблется от 11 до 67 %.

2. Превалирующее количество волн тепла приходится на первую декаду июня (от 1 до 4 случаев), а во второй и третьей декадах июня – от 1 до 2 случаев, причем на некоторых станциях они вообще не встречаются. Таким образом, становится возможным минимизировать ущерб от засушливых явлений, благодаря смещению этих сроков на более поздний срок.

3. Можно отметить, что в период критического развития растительности превалируют волны тепла умеренной интенсивности, причем в западных и северных районах территории исследования (Тара–Северное–Томск–Первомайское) они встречаются чаще, чем в центральных районах.

4. Выявлено, что волны тела в критический период жизни ранних яровых зерновых культур действительно подвергались угнетению – уменьшение продуктивной влаги в пахотном слое почвы, ожоги листьев и стеблей, их пожелтение и засыхание.

5. Отметим, что случаи с волнами тепла, получившие значительный охват по территории связаны с антициклональными процессами на территории Западной Сибири. Наиболее тяжелые последствия для посевов связаны с

преобладанием типа ЭЦМ $12a$ – стационарирование антициклона в средней тропосфере (H_{500}), как многоядерного барического образования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключении можно сказать, что при исследовании агроклиматических показателей за важные периоды в жизни растений (период вегетации и период активной вегетации) удалось впервые конкретизировать современные тенденции агроклиматических ресурсов по территории юго-востока Западной Сибири, на основании анализа которых можно сделать следующие выводы:

1. Рассчитаны и проанализированы ряды агроклиматических показателей (теплообеспеченность и увлажненность) на территории юго-востока Западной Сибири, оценены их аномалии и тренды.

2. Выявлено, что на фоне современной волны потепления, существенные положительные аномалии рассматриваемых характеристик теплообеспеченности и увлажнённости ($\geq 2\sigma$) концентрируются в последний двадцатилетний отрезок времени, что благоприятно сказалось на ведении сельского хозяйства – переход на более теплолюбивые сорта и гибриды: яровой пшеницы, ячменя, овса и др.

3. Расчёты линейных трендов рассматриваемых агроклиматических показателей за современную волну потепления (с 1976 г.) показывают, что статистически значимые положительные тенденции связаны с продолжительностью периода со среднесуточной температурой воздуха, превышающей $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (4 дня/10 лет), что приводит к росту теплообеспеченности данного периода.

4. Выявлено, что количество выпавших осадков за вегетационный период немного возрастает: $R_5 - 2,3\%$ нормы/10 лет, $R_{10} - 1,7\%$ нормы/10 лет, что нельзя сказать о балансе влаги по ГТК, который с 1976 г. не претерпел существенных изменений – $0,00$ ед./10 лет. Повышение межгодовой изменчивости режима осадков на фоне потепления климата следует отнести к негативным последствиям, что выражается в повышении риска засушливых условий ($\text{ГТК}_{\leq 0,6}$) на территории исследования в июне и июле.

5. Анализ динамики характеристик увлажнения за период с 1976 по 2012 гг. указывает на пространственную их неоднородность и сложность, в отличие от

тенденций термических показателей: возрастание аридности климата – Алтайский край, Омская и большая часть Новосибирской областей; рост увлажнения – в отдельных районах Томской и Новосибирской областей.

5. Тенденции термических ресурсов и режима увлажнения не обладают высокой степенью достоверности и устойчивости, за исключением показателя продолжительности вегетации, который на территории исследования обладает свойством персистентности, и как следствие в ближайшей перспективе будет возрастать.

6. Кластерный анализ, основанный на математическом сходстве объектов исследования, позволил провести простой путь агроклиматического районирования региона, который получил хорошую согласованность с полученными ранее агроклиматическим и природным делениями. Относительно базового периода (1961–1990 гг.) за последнее десятилетие границы II и III агроклиматических классов, ассоциируемые с устойчивым и высокопродуктивным земледелием, претерпели существенные расширения на юго-востоке Западной Сибири.

7. Оценены регионально–протяженные волны тепла, повторяемость которых начала увеличиваться. Выявлено, что условия возникновения такого рода волн, связано с формированием малоградиентных полей повышенного давления, либо самостоятельных ядер антициклона. Установлено, что наблюдаемые волны в период критического развития ранних яровых зерновых культур пагубно влияют на их состояние: сокращении продуктивной влаги в пахотном слое почвы и физиологические изменения растений.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

АЧР – Азиатская часть России

ВНИИСХМ – Всероссийский научно–исследовательский институт сельскохозяйственной метеорологии

ВНИИГМИ–МЦД – Всероссийский научно–исследовательский институт гидрометеорологической информации – мировой центр данных

МГЭИК – межправительственная группа экспертов по изменению климата

ЕТР – Европейская часть России

СИБНИИГМИ – Сибирский научно–исследовательский гидрометеорологический институт

$\Sigma T_{5,10}$ – сумма среднесуточных значений температуры воздуха за период календарного года со среднесуточной температурой воздуха, превышающей 5 и 10 °С

D_5 – даты перехода среднесуточной температуры воздуха через границы 5 °С весной и осенью

$P_{5,10}$ – продолжительность вегетационного периода, когда среднесуточная температура воздуха, превышает 5 и 10 °С

$R_{5,10}$ – сумма атмосферных осадков за период календарного года со среднесуточной температурой, превышающей 5 и 10 °С

ГТК – гидротермический коэффициент Г. Т. Селянинова, характеризующий соотношения изменений температуры воздуха и количества выпавших атмосферных осадков за период активной вегетации.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ И ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аблова, И. М. Агроклиматический потенциал урожайности зерновых культур Западной Сибири : дис. ... канд. биол. наук : 03.00.16 / Аблова Ирина Михайловна. – Омск, 2005. – 162 с.
2. Аграрный центр Томской области [Электронный ресурс] // Новости АПК Томской области и России. – Режим доступа: <http://old.agroconsul.tomsk.ru/>
3. Агrometeorологический ежегодник / Западно-Сибирское территориальное управление по гидрометеорологии и контролю природной среды. Гидрометеорологический центр. – Новосибирск, 1961–2012 гг., Вып. 20
4. Агrometeorологический ежегодник / Обь-Иртышское территориальное управление по гидрометеорологии и контролю природной среды. Гидрометеорологический центр. – Омск, 1961–2012 гг., Вып. 17
5. Администрации Алтайского края [Электронный ресурс] // Растениеводство Алтайского края. – Режим доступа: <http://www.altagro22.ru/apk/rastenievodstvo/>
6. Адрианова, Л. В. Особенности распределения волн холода и тепла в экстремально тёплых и экстремально холодных июнях в г. Саратове / Л. В. Адрианова // Вопросы климата и погоды Нижнего Поволжья. – Саратов : Изд-во Саратов. Ун-та, 1971, Вып. 7. – С. 78–82.
7. Айвазян, С. А. Классификация многомерных наблюдений / С. А. Айвазян, З. И. Бежаева, О. В. Староверов. – М. : Статистика, 1974. – 240 с.
8. Архипов, С. А. Четвертичный период в Западной Сибири / С. А. Архипов. – Новосибирск : Наука, 1971. – 308 с.
9. Божокин, С. В. Фракталы и мультифракталы / С. В. Божокин, Д. А. Паршин. – Ижевск : НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001. – 128 с.
10. Борисенко, Е. П. Изучение климата и его прикладные аспекты / Е. П. Борисенко // Метеорология и гидрология. – 1981. – № 6. – С. 32–47.

11. Боровиков, В. П. Статистический анализ данных на компьютере : для профессионалов / В. П. Боровиков. – СПб. : Питер, 2003. – 688 с.
12. Будыко, М. И. Климат в прошлом и будущем / М. И. Будыко. – Л. : Гидрометеиздат, 1980. – 147 с.
13. Будыко, М. И. Антропогенные изменения климата / М. И. Будыко. – Л. : Гидрометеиздат, 1987. – 406 с.
14. Будыко, М. И. Климат и жизнь / М. И. Будыко. – Л. : Гидрометеиздат, 1971. – 472 с.
15. Бусарова, О. Е. Использование результатов моделирования изменения климата для оценки изменений суммарного испарения на территории Европы / О. Е. Бусарова, Е. М. Гусев // Метеорология и гидрология. – 1995. – № 10. – С. 29–34.
16. Бучинский, И. Е. Засухи и суховеи / И. Е. Бучинский. – Л. : Гидрометеиздат, 1976. – 214 с.
17. Вавилова, П. П. Новосибирская область : природа и ресурсы / П. П. Вавилова. – Новосибирск : Западно-Сибирское книжное издательство, 1989. – 28 с.
18. Второй оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. – М. : Росгидромет, 2014. – 61 с.
19. Генкель, П. А. Физиология растений / П. А. Генкель. – М. : Наука, 1982. – 280 с.
20. Гордеев, А. В. Биоклиматический потенциал России / А. В. Гордеев, А. Д. Клещенко, Б. А. Черняков, О. Д. Сиротенко. – М. : Творчество научных изданий КМК, 2006. – 508 с.
21. Гридасов, В. Ф. Оценка влагообеспеченности сельского хозяйства с помощью агрогидрологических свойств почв / В. Ф. Гридасов, Т. В. Хомякова // Труды ВНИИСХМ. – 2006. – Вып. 35. – С. 178–184.
22. Грингоф, И. Г. Основы сельскохозяйственной метеорологии : Потребность сельскохозяйственных культур в агрометеорологических условиях и опасные

для сельского хозяйственного производства погодные условия / И. Г. Грингоф, А. Д. Клещенко. – Обнинск : ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2011. – 808 с.

23. Грингоф, И. Г. Основы сельскохозяйственной метеорологии : Влияние изменений климата на экосистемы, агросферу и сельскохозяйственное производство / И. Г. Грингоф, В. Н. Павлова. – Обнинск : ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2013. – 384 с.

24. Грингоф, И. Г. Толковый словарь по сельскохозяйственной метеорологии / И. Г. Грингоф, А. М. Шамен. – СПб. : Гидрометеиздат, 2002. – 470 с.

25. Грингоф, И. Г. Засухи и опустынивание – экологические проблемы современности / И. Г. Грингоф // Труды ВНИИСХМ. – 2000. – Вып. 33. – С. 14–40.

26. Груза, Г. В. Наблюдаемые и ожидаемые изменения климата России : температура воздуха / Г. В. Груза, Э. Я. Ранькова. – М. : ИГКЭ, 2012. – 193 с.

27. Гулинова, Н. В. Методы агроклиматической обработки наблюдений / Н. В. Гулинова. – Л. : Гидрометеиздат, 1974. – 151 с.

28. Департамент по социально-экономическому развитию села Томской области [Электронный ресурс] // Сельское хозяйство. – Режим доступа: <http://dep.agro.tomsk.ru/>

29. Дроздов, О. А. Засухи и динамика увлажнений / О. А. Дроздов. – Л. : Гидрометеиздат, 1980. – 92 с.

30. Дружинин, В. С. Методы статистической обработки гидрометеорологической информации / В. С. Дружинин, А. В. Сикан. – СПб. : Изд-во РГМУ, 2001. – 168 с.

31. Дубров, А. М. Многомерные статистические методы : учебник для вузов / А. М. Дубров, В. С. Мхитарян, Л. И. Трошин. – М. : Финансы и статистика, 1998. – 532 с.

32. Дубровская, Л. И. Компьютерная обработка естественнонаучных данных методами многомерной прикладной статистики / Л. И. Дубровская, Г. Б. Князев. – Томск : Изд-во Томский государственный университет, 2008. – 116 с.

33. Дюкарев, А. Г. Ландшафтно–динамические аспекты таежного почвообразования в Западной Сибири / А. Г. Дюкарев. – Томск : Изд-во НТЛ, 2005. – 284 с.
34. Евсеева, Н. С. География Томской области / Н. С. Евсеева. – Томск : Изд-во Томского государственного университета, 2001. – 222 с.
35. Евсеева, Н. С. Рельефообразование в лесоболотной зоне Западно-Сибирской равнины / Н. С. Евсеева, А. А. Земцов. – Томск : Изд-во Томского государственного университета, 1990. – 240 с.
36. Елисеева, И. И. Группировка, корреляция, распознавание образов / И. И. Елисеева, В. О. Руковишников. – М. : Статистика, 1977. – 143 с.
37. Еникова, И. С. Факторный, дискриминантный и кластерный анализ / И. С. Еникова. – М. : Статистика, 1972. – 486 с.
38. Енюков, И. С. Методы и алгоритмы многомерного статистического анализа / И. С. Енюков. – М. : Статистика, 1974. – 398 с.
39. Зоидзе, Е. К. Сравнительная оценка сельскохозяйственного потенциала климата территории РФ и степени использования её агрометеорологических ресурсов сельскохозяйственными культурами / Е. К. Зоидзе, Л. И. Овчаренко. – СПб. : Гидрометеоиздат, 2000. – 75 с.
40. Зоидзе, Е. К. Основы оперативной системы оценки развития засух и опыт ее экспериментальной эксплуатации / Е. К. Зоидзе, Т. В. Хомякова // Труды ВНИИСХМ. – 2002. – Вып. 34. – С. 48–66.
41. Зоидзе, Е. К. Моделирование формирования влагообеспеченности территории Европейской России в современных условиях и основы оценки агроклиматической безопасности / Е. К. Зоидзе, Г. В. Хомякова // Метеорология и гидрология. – 2006. – № 2. – С. 98–105.
42. Золотокрылин, А. Н. Климатическое опустынивание / А. Н. Золотокрылин. – М. : Наука, 2003. – 245 с.
43. Иванов, П. К. Яровая пшеница / П. К. Иванов. – М. : Колос, 1971. – 327 с.

44. Ивченко, Г. И. Математическая статистика / Г. И. Ивченко, Ю. И. Медведев. – М. : Высшая школа, 1992. – 304 с.
45. Иерархический кластерный анализ и соответствия. – М. : Финансы и статистика, 1988. – 344 с.
46. Ильина, Л. С. Растительность Западно-Сибирской равнины / Л. С. Ильина, Е. И. Лапшина, Н. Н. Лавренко. – Новосибирск : Наука, 1985. – 251 с.
47. Информационная база метеорологических данных ВНИИГМИ-МЦД [Электронный ресурс] // Атмосферные осадки и температура воздуха на высоте 2 м. – Режим доступа: <http://www.cliware.meteo.ru/>
48. Исаев, А. А. Атмосферные осадки. Изменчивость характеристик осадков на территории России и сопредельных стран / А. А. Исаев. – М. : Изд-во МГУ, 2002. – 191 с.
49. Исаев, А. А. Атмосферные осадки. Мезоструктура полей жидких осадков / А. А. Исаев. – М. : Изд-во МГУ, 2001. – 100 с.
50. Исаев, А. А. Экологическая климатология / А. А. Исаев. – М. : Научный мир, 2001. – 458 с.
51. Калуш, Ю. А. Показатель Хёрста и его скрытые свойства / Ю. А. Калуш, В. М. Логинов // Сибирский журнал индустриальной математики. – 2002. – № 12. – С. 29–37.
52. Караваяева, Н. А. Заболачивание и эволюция почв / Н. А. Караваяева. – М. : Наука, 1985. – 296 с.
53. Кельчевская, Л. С. Методы обработки наблюдений в агроклиматологии: методическое пособие / Л. С. Кельчевская. – Л. : Гидрометеоиздат, 1971. – 215 с.
54. Кендал, Дж. Многомерный статистический анализ и временные ряды / Дж. Кендал, А. Стьюарт. – М. : Наука, 1976. – 736 с.
55. Кислов, А. В. Прогноз климатической ресурсообеспеченности Восточно-европейской равнины в условиях потепления XXI века / А. В. Кислов, В. М. Евстигнеев, С. М. Малхазова и др. – М. : МАКС Пресс, 2008. – 292 с.

56. Кислов, А. В. Эколого-географические последствия глобального потепления климата XXI века на Восточно-европейской равнине и в Западной Сибири: монография / А. В. Кислов, А. В. Чернышев, В. Н. Семин и др.; под общ. ред. Н. С. Касимова. – М. : МАКС Пресс, 2011. – 496 с.
57. Клещенко, Л. К. Волны тепла и холода на территории России / Л. К. Клещенко // Сборник трудов ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». – 2010. – № 175. – С. 76–91.
58. Колосков, И. П. Климатический фактор сельского хозяйства и агроклиматическое районирование / И. П. Колосков. – Л. : Гидрометеиздат, 1971. – 327 с.
59. Колосков, П. И. Биоклиматический потенциал и его распределение на территории СССР / П. И. Колосков // Труды НИИАК. – 1962. – Вып. 15. – С. 90–111.
60. Кондратьев, К. Я. Глобальные изменения климата: факты, предложения и перспективы разработок / К. Я. Кондратьев // Оптика атмосферы и океана. – 2002. – № 10. – С. 1–16.
61. Кондратьев, К. Я. Изменения глобального климата: нерешенные проблемы / К. Я. Кондратьев // Метеорология и гидрология. – 2004. – № 6. – С. 118–126.
62. Кононова, Н. К. Классификация циркуляционных механизмов Северного полушария по Б.Л. Дзердзеевскому / Н. К. Кононова. – М. : Воентехиздат, 2009. – 372 с.
63. Константинов, Л. К. Погода и сад / Л. К. Константинов. – М. : Московский рабочий, 1974. – 95 с.
64. Коровин, А. И. Растения и экстремальные температуры / А. И. Коровин. – Л. : Гидрометеиздат, 1978. – 253 с.
65. Коровин, А. И. Осеннее–весенние условия погоды и урожай озимых / А. И. Коровин, Е. В. Мамаев, В. М. Мокиевский. – Л. : Гидрометеиздат, 1977. – 160 с.

66. Кужевская, И. В. Температурные волны тепла как отражение изменчивости современных климатических условий жизнедеятельности на территории Томской области / И. В. Кужевская, Д. В. Поляков, М. А. Волкова, и др. // Экология человека. – 2015. – № 2. – С. 3–9.

67. Кузнецов, П. И. Агроклиматические ресурсы Зауралья и их использование для получения высокого урожая зерновых культур : учебное пособие ЛХИ / П. И. Кузнецов. – Омск : Изд-во ОмСХИ, 1994. – 72 с.

68. Кроновер, Р. М. Фракталы и хаос в динамических системах / Р. М. Кроновер. – М. : Постмаркет, 2000. – 352 с.

69. Лебедев, С. И. Физиология растений. Учебник для сельскохозяйственных вузов / С. И. Лебедев. – М. : Колос, 1982. – 463 с.

70. Лемешко Н. А. Оценки изменения температуры воздуха и количества атмосферных осадков на влагосодержание почвы / Н. А. Лемешко // Труды ГГИ. – 1988. – Вып. 330. – С. 132–138.

71. Лемешко Н. А. Региональные изменения влагосодержания почвы и суммарного стока при современных изменениях глобального климата / Н. А. Лемешко // Труды ГГИ. – 1988. – Вып. 330. – С. 126–131.

72. Лис, О. Л. Болота Западно-Сибирской равнины / О. Л. Лис, Н. А. Березина. – М. : Изд-во МГУ, 1981. – 208 с.

73. Логинов, В. Ф. Засухи, их возможная причина, предпосылки, предсказания / В. Ф. Логинов, А. И. Неушкин. – Обнинск : ВНИИГМИ-МЦД, 1976. – 72 с.

74. Мальдель, И. Д. Кластерный анализ / И. Д. Мандель. – М. : Финансы и статистика, 1988. – 176 с.

75. Мещерская, А. В. Каталоги площадей комплекса осадки – температура воздуха для основных сельскохозяйственных районов юга ЕТС, Северного Кавказа и Западной Сибири / А. В. Мещерская, В. Г. Блажевич // Метеорология и гидрология. – 1977. – № 9. – С. 76–84.

76. Мещерская, А. В. Мониторинг засушливости на территории основных зернопроизводящих районов СНГ за последнее столетие / А. В. Мещерская, В. Г. Блажевич, М. П. Голод // Труды ВНИИСХМ. – 2000. – Вып. 33. – С. 41–63.
77. Мищенко, З. А. Биоклимат дня и ночи / З. А. Мищенко. – Л. : Гидрометеиздат, 1984. – 280 с.
78. Мищенко, З. А. Агроклиматология : учебник для вузов / З. А. Мищенко. – Киев : Изд-во КНТ, 2009. – 511 с.
79. Мищенко, З. А. Учёт микроклимата при размещении виноградников и садов / З. А. Мищенко. – Кишинёв : Изд-во Штица, 1986. – 103 с.
80. Модина, Т. Д., Некоторые особенности агроклиматических ресурсов котловин Алтае–Саянской горной страны / Т. Д. Модина, М. Г. Сухова // Вестн. Том. гос. ун-та. – 2003. – № 277. – С. 195–198.
81. Морозова, С. В. Исследование волн тепла и холода для долгосрочного прогнозирования резких изменений температуры воздуха течение месяца : дис. ... канд. геогр. наук : 25.00.30 / Морозова Светлана Владимировна. – Саратов, 2000. – 179 с.
82. Морозова, С. В. Исследование синоптических процессов методом эталонов / С. В. Морозова. – Саратов : Изд-во Сарат. Ун-та, 2013. – 164 с.
83. Морозова, С. В. Исследование характера изменения барического поля в последние двадцатилетие / С. В. Морозова // Общепланетарные проблемы исследования Земли : тез. Докл. На Междунар. Конф., посвящ. 200-летию со дня рождения И. М. Симонова. – Казань : Изд-во Казан. Ун-та, 1994. – С. 105–106.
84. Морозова, С. В. Эталонные поля давления интенсивных волн тепла и холода в Саратовской области весной / С. В. Морозова, Г. А. Пулякова // Современная география и окружающая среда : тез. Докл. Всерос. Науч. конф. – Казань : Изд-во Казан. Ун-та, 1996. – С. 88–89.
85. Морозова, С. В. Эталонные поля давления интенсивных волн тепла и холода летом и зимой в Саратовской области / С. В. Морозова // Вопросы прогноза погоды, климата, циркуляции и охраны атмосферы. – Пермь : Изд-во Перм. Ун-та, 1997. – С. 25–29.

86. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Многолетние данные. Выпуск 20 СПб. : Гидрометеиздат, 1993. 720 с.
87. Носырева, О. В. Климатические показатели термического режима теплого периода года и их современные тенденции для юга Западной Сибири : дис. ... канд. геогр. наук : 25.00.30 / Носырева Ольга Владимировна. – Томск, 2012. – 180 с.
88. Оценка макроэкономических последствий изменений климата на территории Российской Федерации на период до 2030 года и дальнейшую перспективу – М. : Росгидромет, 2011. – 450 с.
89. Оценочный доклад об изменениях климата на территории Российской Федерации. Том I. – М. : Росгидромет, 2008. – 227 с.
90. Оценочный доклад об изменениях климата на территории Российской Федерации. Том II. – М. : Росгидромет, 2008. – 288 с.
91. Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской федерации. Техническое резюме. – М. : Росгидромет, 2008. – 89 с.
92. Переведенцев, Ю. П. Пространственно-временные изменения основных показателей температурно-влажностного режима в приволжском федеральном округе/ Ю. П. Переведенцев, К. М. Шанталинский, Н. А. Важнова // Метеорология и гидрология. – 2014. – №4. – С. 32–48.
93. Переведенцев, Ю. П. Неоднородность изменения температурного режима земли в XIX-XXI столетиях / Ю. П. Переведенцев, К. М. Шанталинский // ПГУ, Географический вестник. – 2011. – №3 (18) – С. 46–58.
94. Петерс, Э. Э. Фрактальный анализ финансовых рынков / Петерс Э. Э. – М. : Интернет-трейдинг, 2004. – 304 с.
95. Попов, А. А. Агропромышленный комплекс России : проблемы и решения / А. А. Попов, М. А. Яхъев. – М. : ЗАО Изд-во Экономика, 2003. – 409 с.
96. Поляков Д. В. Применение кластерного анализа для оценки температурно-влажностных условий в период активной вегетации на территории юга Западной Сибири и его связь с гидротермическим коэффициентом Т.Г.

Сеянинова / Д. В. Поляков, И. В. Кужевская // Вестник Томского гос. ун-та. – 2012. – № 360. – С. 188–192.

97. Поляков, Д. В. Использование иерархического кластерного анализа для целей исследования режим тепло-влажностности / Д. В. Поляков, И. В. Кужевская // Региональные эффекты глобальных климатических изменений в XXI веке (причины, последствия, прогнозы): Материалы международной научной конференции. – Воронеж: Изд-во Научная книга, 2012. – С.528–532.

98. Поляков, Д. В. Особенности гидротермического режима в период активной вегетации на территории юга Западной Сибири / Д. В. Поляков // Климатология и гляциология Сибири: Материалы международной научно-практической конференции. – Томск: Изд-во ТГУ, 2012. – С. 214–216.

99. Поляков, Д. В. Использование кластерного анализа для целей исследования гидротермического режима юга Западной Сибири / Д. В. Поляков, И. В. Кужевская // Климатология и гляциология Сибири: Материалы международной научно-практической конференции. – Томск: Изд-во ТГУ, 2012. – С. 216–219.

100. Поляков Д. В., Кужевская И.В. Циркуляционные особенности формирования гидротермического режима юга Западной Сибири / Д. В. Поляков, И. В. Кужевская // Климатология и гляциология Сибири: Материалы международной научно-практической конференции. – Томск: Изд-во ТГУ, 2012. – С. 219–220.

101. Поляков, Д. В., Применение кластерного анализа для оценки температурно-влажностных условий в период активной вегетации на территории юга Западной Сибири / Д. В. Поляков, И. В. Кужевская // Состав атмосферы. Атмосферное электричество. Климатические эффекты: Сборник материалов 16-й международной научной конференции. – М.: Изд-во РАН, 2012. – С. 102–104.

102. Поляков, Д. В. Связь опасных атмосферных засух и гидротермического режима на юге Западной Сибири в XX веке с макроциркуляционными процессами / Д. В. Поляков // Региональные проблемы гидрометеорологии и мониторинг окружающей среды: Материалы

международной научной конференции. – Казань: Изд-во Казанского (Приволжского) федерального университета, 2012. – С. 185–186.

103. Поляков, Д. В. Аномальный погодный режим лета 2012 года на территории Томской области / Д. В. Поляков, И. В. Кужевская, Н. К. Барашкова // X Сибирское совещание по климато-экологическому мониторингу: Материалы Российской конференции / Под. Ред. М.В. Кабанова. – Томск: Аграф-Пресс, 2013. – С. 120–122.

104. Поляков, Д. В. Экстремальный режим погоды летом 2012 г. на территории Томской области как отражение современных глобальных климатических тенденций / Д. В. Поляков, И. В. Кужевская, Н. К. Барашкова // Вестник Томского гос. ун-та. – 2013. – № 372. – С. 173–179.

105. Поляков, Д. В. Погодно-климатическая характеристика аномального лета 2012 г. на территории Томской области / Д. В. Поляков, И. В. Кужевская, Н. К. Барашкова // Метеорология и гидрология. – 2014. – № 1. – С. 38–47.

106. Проблема адаптации. Ключевые проблемы влияния климатических изменений на производство сельскохозяйственных культур и благосостояние сельскохозяйственных работников Российской Федерации. – М. : ОКСФАМ, 2013. – 43 с.

107. Ревич, Б. А. Изменение климата, волны жары и холода как факторы риска повышенной смертности населения в некоторых регионах России / Б. А. Ревич, Д. А. Шапошников // Терапевтический архив. – 2012. – № 1. – С. 122–139.

108. Селянинов, Г. Т. Агроклиматическая карта мира / Г. Т. Селянинов. – Л. : Гидрометеиздат, 1966. – 12 с.

109. Селянинов, Г. Т. О сельскохозяйственной оценке климата / Г. Т. Селянинов // Труд по сельскохозяйственной метеорологии. – 1968. – Вып. 20. – С. 165–177.

110. Синицина, Н. И. Агроклиматология : Уч. Пособие для студентов гидрометеорологических специальностей вузов / Н. И. Синицина, И. А. Гольцберг и Э. А. Струнников. – Л. : Гидрометеиздат, 1973. – 344 с.

111. Сиротенко, О. Д. Адаптация сельского хозяйства России к меняющимся погодно-климатическим условиям / О. Д. Сиротенко, А. Д. Клещенко, Б. А. Черняков, В. Н. Павлова // Сборник докладов научно-практической конференции ТСХА. – 2010. – С. 39–46.

112. Сиротенко, О. Д. Влияние глобального потепления на агроклиматические ресурсы и продуктивность сельского хозяйства России / О. Д. Сиротенко, Е. В. Абашина // Метеорология и гидрология. – 1994. – № 4. – С. 101–112.

113. Сиротенко, О. Д. Динамика климатообусловленных изменений теплообеспеченности, увлажненности и продуктивности земледельческой зоны России / О. Д. Сиротенко, Е. В. Абашина, В. Н. Павлова // Труды ВНИИСХМ. – 2013. – Вып. 38. – С. 41–53.

114. Сиротенко, О. Д. Имитационная система «климат-урожай» СССР / О. Д. Сиротенко // Метеорология и гидрология. – 1991. – № 4. – С. 67–73.

115. Сиротенко, О. Д. Математическое моделирование водно-теплого режима и продуктивности агроэкосистем / О. Д. Сиротенко. – Л. : Гидрометеиздат, 1981. – 167 с.

116. Сиротенко, О. Д. Методы оценки изменений климата для сельского хозяйства и землепользования: методическое пособие / О. Д. Сиротенко. – М. : Росгидромет, 2007. – 77 с.

117. Сиротенко, О. Д. Моделирование влияния изменений климата на продуктивность сельского хозяйства России / О. Д. Сиротенко, Ю. А. Израэль // Метеорология и гидрология. – 2003. – № 6. – С. 5–17.

118. Сиротенко, О. Д. Мониторинг изменений климата и оценка последствий глобального потепления для сельского хозяйства / О. Д. Сиротенко, А. Д. Клещенко, В. Н. Павлова // Агрофизика. – 2011. – № 3. – С. 31–39.

119. Сиротенко, О. Д. Оценка влияния изменений климата на сельское хозяйство методом пространственно-временных аналогов / О. Д. Сиротенко, В. Н. Павлова // Метеорология и гидрология. – 2003. – № 8 – С. 89–99.

120. Сиротенко, О. Д. Оценка влияния ожидаемых изменений климата на сельское хозяйство Российской Федерации / О. Д. Сиротенко, И. Г. Грингоф // Метеорология и гидрология. – 2006. – № 8. – С. 92–101.

121. Сиротенко, О. Д. Современные климатические изменения теплообеспеченности, увлажненности и продуктивности агросферы России / О. Д. Сиротенко, Г. В. Груза, Э. Я. Ранькова // Метеорология и гидрология. – 2007. – № 8. – С. 90–130.

122. Сиротенко, О. Д. Чувствительность сельского хозяйства России к изменениям климата, химического состава атмосферного и плодородия почв / О. Д. Сиротенко, Е. В. Абашина // Метеорология и гидрология. – 1995. – № 4. – С. 107–114.

123. Система информационной поддержки производителя сельскохозяйственной продукции ВНИИСХМ [Электронный ресурс] // Условия возделывания яровых зерновых культур. – Режим доступа: <http://www.agromet.ru/System/Plants/Conditions/>

124. Сляднев, А. П. Циклические изменения агроклиматических условий в южных широтах Западной Сибири и продуктивность зерновых культур / А. П. Сляднев // Природные ресурсы Сибири. – 1976. – № 5 – С. 153–168.

125. Смологонов, Е. П. Эколого-географическая дифференциация и динамика кедровых лесов Урала и Западно-Сибирской равнины / Е. П. Смологонов. – Свердловск : Изд-во УНЦ АН СССР, 1996. – 286 с.

126. Сотникова, А. Т. Повторяемость засух в Зауралье / А. Т. Сотникова // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 1996. – № 1. – С. 9–13.

127. Сошникова, Л. А. Многомерный статистический анализ / Л. А. Сошникова, В. Н. Тамашевич, Уебе Г. и др. – М. : ЮНИТИ, 1999. – 482 с.

128. Старостина, Т. В. Методы агрометеорологического прогноза средней областной (краевой) урожайности ярового ячменя в земледельческой зоне Западной Сибири / Т. В. Старостина // Вопросы агрометеорологии. – 1983. – № 58. – С. 24–34.

129. Стратегический прогноз изменений климата Российской Федерации на период до 2010–2015 гг. и их влияния на отрасли экономики России. – М. : Росгидромет, 2005. – 90 с.
130. Страшная, А. И. Агрометеорологические особенности засухи 2010 в России по сравнению с засухами прошлых лет / А. И. Страшная // Метеорология и гидрология. – 2011. – № 4. – С. 5–11.
131. Страшная, А. И. Исследование засух и их влияния на урожайность зерновых культур в Российской Федерации / А. И. Страшная. – М. : ГМЦ РФ, 2000. – 19 с.
132. Страшная, А. И. О прогнозировании урожайности зерновых и зернобобовых культур с большой заблаговременностью / А. И. Страшная, Х. Х. Тебуев // Метеорология и гидрология. – 1994. – № 3. – С. 91–95.
133. Сухова, М. Г. Оценка теплообеспеченности агороландшафтов котловин Алтае-Саянской горной страны / М. Г. Сухова // Вопросы современной науки и практики. Университет им. Вернадского. – 2009. – № 3 (17). – С. 167–171.
134. Тюрин, Ю. Н. Статический анализ данных на компьютере / Ю. Н. Тюрин, А. А. Макарова; под ред. В. Э. Фигурнова. – М. : ИНФРА-М, 1998. – 528 с.
135. Уланова, Е. С. Агрометеорологические условия и урожайность озимой пшеницы / Е. С. Уланова. – Л. : Гидрометеоиздат, 1975. – 302 с.
136. Уланова, Е. С. Засухи в России и их влияние на урожайность зерновых культур / Е. С. Уланова, А. И. Страшная // Труды ВНИИСХМ. – 2000. – Вып. 33. – С. 64–83.
137. Уланова, Е. С. Методы статистического анализа в агрометеорологии / Е. С. Уланова, О. Д. Сиротенко. – Л. : Гидрометеоиздат, 1968. – 198 с.
138. Устинова, Н. В. Агроклиматические условия возделывания овса в Западной Сибири / Н. В. Устинова // Труды СИБНИГМИ. 1990. – Вып. 91. – С. 64–68.

139. Утешев, А. С. Атмосферные засухи и их влияние на природные явления / А. С. Утешев. – Алма-Ата : Изд-во Наука, 1972. – 175 с.
140. Фролов, И. Е. Изменения климата Земли – результат действия естественных причин / И. Е. Фролов, З. М. Гудкович, В. П. Карклин // Экологический вестник России. – 2010. – № 1. – С. 49–54.
141. Храбров, Ю. Б. Прогноз волн холода в Средней Азии на естественный синоптический период / Ю. Б. Храбров // Труды ЦИП. – 1963. – № 19 (46). – С. 117–133.
142. Хромых, В. В. Природное районирование / В. В. Хромых // География Томской области. – 1988. – С. 137–140.
143. Цубербиллер, Е. А. Агроклиматическая характеристика суховея / Е. А. Цубербиллер. – Л. : Гидрометеиздат, 1959. – 119 с.
144. Чирков, Ю. И. Агрометеорология / Ю. И. Чирков. – Л. : Гидрометеиздат, 1986. – 296 с.
145. Черемисинов, А. Ю. Сельскохозяйственные мелиорации / А. Ю. Черемисинов, С. П. Бурлакин. — Воронеж : ФГОУ ВПО ВГАУ, 2004. – 247 с.
146. Черенкова, Е. А. Динамика опасной атмосферной засухи в Европейской России / Е. А. Черенкова // Метеорология и гидрология. – 2007. – № 11. – С. 30–41.
147. Черенкова, Е. А. Связь опасных атмосферных засух в Европейской России в XX веке с макроциркуляционными процессами / Е. А. Черенкова, Н. К. Кононова // Известия РАН. – 2009. – № 1. – С. 73–82.
148. Черникова, М. И. Агроклиматические ресурсы возделывания и продуктивность ярового ячменя в Западной Сибири / М. И. Черникова // Труды СИБНИГМИ. – 1983. – Вып. 58. – С. 9–15.
149. Черникова, М. И. Использование методов агроклиматической оценки и прогнозирования продуктивности сельскохозяйственных культур для программирования урожаев в Сибири / М. И. Черникова // Труды СИБНИГМИ. – 1988. – Вып. 82. – С. 11–17.

150. Чирков, Ю. И. Агрометеорология : учебник для вузов / Ю. И. Чирков. – Л. : Гидрометеоиздат, 1977. – 320 с.
151. Шатилов, И. С. Агрофизические, агрометеорологические и агротехнические основы программирования урожая / И. С. Шатилов, А. Ф. Чудинов. – Л. : Гидрометеоиздат, 1980. – 318 с.
152. Шахов, А. Л. Фотоэнергетика растений и урожай / А. Л. Шахов. – М. : Наука, 1993. – 415 с.
153. Шашко, Д. И. Агроклиматические ресурсы СССР / Д. И. Шашко. – Л. : Гидрометеоиздат, 1985. – 247 с.
154. Шашко, Д. И. Агроклиматическое районирование СССР / Д. И. Шашко. – М. : Колос, 1967. – 355 с.
155. Школьник, И. М. Изменения экстремальности климата на территории Сибири к середине XXI века / И. М. Школьник // Метеорология и гидрология. – 2012. – № 2. – С. 5–24.
156. Шкляев, В. А. Оценка изменений температуры воздуха и осадков среднего и южного Урала в XX веке / В. А. Шкляев, Л. С. Шкляева // Вестн. Челяб. гос. ун-та. Сер. Экология. Природопользование. – 2011. – Вып. 5. С. 61–69.
157. Шкляев, В. А. Климатические характеристики некоторых опасных явлений погоды на территории Пермского края / В. А. Шкляев, Л. С. Шкляева // Географический вестник. Перм. ун-т. – 2010. – № 2 (13). – С. 38–52.
158. Шкляев, В. А. Особенности долговременных изменений характеристик 15 вегетационных периодов в Пермском крае / В. А. Шкляев, Л. Н. Ермакова, Л. С. Шкляева // Географический вестник. Перм. ун-т. – 2012. – № 2 (21). – С. 68–73.
159. Эзау, И. Н. Кластерный анализ данных наблюдений и результатов численных экспериментов с моделью ОЦА / И. Н. Эзау // Метеорология и гидрология. – 1995. – № 12. – С. 40–53.
160. Электронный справочник баз данных Федеральной службы государственной статистики (Росстат) // Валовой сбор зерновых культур на

территории Сибирского Федерального округа. – Режим доступа:
http://www.gks.ru/bgd/regl/b14_14p/

161. Climate Change 2013 : Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / Eds. M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikov, P.J. Van der Linden, C.E. Hanson. Cambridge, UK : Cambridge University Press. – 976 p.

162. D. V. Polyakov, N. K. Barashkova, I. V. Kuzhevskaya. Weather and climate description of anomalous summer 2012 in Tomsk region // Russian Meteorology and Hydrology, Springer, 2014, No. 1 pp. 22–28.

163. Dai A., Trenberth K. E., and Qian T. A global dataset of Palmer Drought Severity Index for 1870–2002: Relationship with soil moisture and effects of surface warming, J. Hydrometeorology, 2004. vol. 5, pp. 1117–1130.

164. Hurst H. E. Long-term storage capacity of reservoirs // Trans. Amer. Soc. Civ. Engrs. 1951.V. 116. pp. 770–808.

Таблица 1.1 – Пространственно–осредненных аномалий (Δ) средней годовой температуры ($T_{\text{ср}}$) воздуха на территории юго-востока Западной Сибири

годы	$T_{\text{ср.}}, ^\circ\text{C}$	$\Delta, ^\circ\text{C}$	r
1961	1,3	0,4	25
1962	2,2	1,3	43
1963	2,1	1,2	41
1964	0,9	0,0	16
1965	1,7	0,8	31
1966	-0,9	-1,8	2
1967	1,2	0,3	22
1968	-0,3	-1,2	6
1969	-2,0	-2,9	1
1970	0,1	-0,8	10
1971	1,1	0,2	20
1972	-0,4	-1,3	5
1973	1,5	0,6	28
1974	-0,6	-1,5	4
1975	1,2	0,3	24
1976	-0,1	-1,0	8
1977	1,2	0,3	23
1978	1,5	0,6	30
1979	0,7	-0,2	15
1980	0,9	0,0	17
1981	2,0	1,1	37
1982	2,3	1,4	45
1983	3,1	2,2	52
1984	-0,8	-1,7	3
1985	0,3	-0,6	11
1986	0,7	-0,2	13
1987	0,7	-0,2	14
1988	1,7	0,8	33
1989	2,2	1,3	44
1990	2,5	1,6	46
1991	1,9	1,0	36
1992	1,7	0,8	34
1993	0,9	0,0	18
1994	1,7	0,8	32
1995	3,1	2,2	51
1996	0,0	-0,9	9
1997	2,6	1,7	48
1998	1,1	0,2	21
1999	2,1	1,2	42
2000	1,4	0,5	27
2001	1,9	1,0	35
2002	3,1	2,2	49
2003	2,1	1,2	39
2004	2,1	1,2	40

Продолжение таблицы 1.1

годы	$T_{\text{ср.}}, \text{ }^{\circ}\text{C}$	$\Delta, \text{ }^{\circ}\text{C}$	r
2005	2,0	1,1	38
2006	1,4	0,5	26
2007	3,1	2,2	50
2008	2,5	1,6	47
2009	0,6	-0,3	12
2010	-0,2	-1,1	7
2011	1,5	0,6	29
2012	1,1	0,2	19
$X_{\text{ср}}$	0,9		
$1,25\sigma$	1,2		
<i>Примечание: $X_{\text{ср}}$ – среднее за базовый период 1961–1990 гг.; σ – среднеквадратическое отклонение за соответствующий период; Аномалии рассчитаны как отклонения от базовой нормы (1961–1990 гг.); r – ранговая статистика по возрастанию.</i>			

Таблица 1.2 – Пространственно–средненных аномалий (Δ) характеристик теплообеспеченности на территории юго-востока Западной Сибири

годы	Сумма температур, °С						Продолжительность, сутки					
	$\sum T_5$	Δ	r	$\sum T_{10}$	Δ	r	Π_5	Δ	r	Π_{10}	Δ	r
1961	2020	-93	44	1729	-71	40	154	-4	42	118	1	34
1962	2210	97	25	2043	243	6	156	-2	36	131	14	8
1963	2014	-99	45	1540	-260	51	158	0	28	98	-19	50
1964	2111	-2	34	1857	57	29	153	-5	43	120	3	30
1965	2292	179	17	2037	237	8	157	-1	32	127	10	17
1966	2167	54	28	1964	164	17	154	-4	41	125	8	20
1967	2223	110	21	1696	-104	45	183	25	4	112	-5	42
1968	1944	-169	49	1631	-169	47	154	-4	40	107	-10	47
1969	1917	-196	50	1762	-38	36	135	-23	52	113	-4	39
1970	1914	-199	51	1734	-66	37	145	-13	51	121	4	29
1971	2076	-37	37	1570	-230	50	171	13	14	104	-13	49
1972	1777	-336	52	1358	-442	52	152	-6	46	95	-22	52
1973	2098	-15	36	1828	28	30	155	-3	38	118	1	31
1974	2214	101	23	1790	-10	34	167	9	20	113	-4	40
1975	1992	-121	46	1701	-99	44	155	-3	39	114	-3	38
1976	2161	48	30	1885	85	28	157	-1	30	122	5	27
1977	2273	160	18	1948	148	20	167	9	19	125	8	22
1978	2061	-52	39	1733	-67	38	160	2	25	116	-1	37
1979	2162	49	29	1802	2	32	158	0	27	118	1	33
1980	2133	20	33	1946	146	21	156	-2	37	131	14	7
1981	2308	195	15	2016	216	13	162	4	24	125	8	20
1982	2376	263	7	2084	284	4	173	15	12	130	13	11
1983	2051	-62	40	1600	-200	48	157	-1	34	96	-21	51
1984	2021	-92	43	1719	-81	41	152	-6	45	110	-7	44
1985	1959	-154	48	1586	-214	49	152	-6	48	107	-10	46
1986	2041	-72	41	1715	-85	42	158	0	29	117	0	36
1987	2140	27	32	1819	19	31	159	1	26	117	0	35
1988	2217	104	22	1902	102	27	168	10	18	126	9	19
1989	2109	-4	35	1962	162	18	148	-10	50	128	11	15
1990	2413	300	5	2033	233	10	176	18	8	128	11	14
1991	2379	266	6	2039	239	7	174	16	10	133	16	5
1992	1969	-144	47	1771	-29	35	151	-7	49	118	1	32
1993	2074	-39	38	1713	-87	43	156	-2	35	105	-12	48
1994	2300	187	16	1926	126	25	169	11	17	122	5	28
1995	2353	240	10	1937	137	23	185	27	3	128	11	15
1996	2036	-77	42	1659	-141	46	157	-1	30	108	-9	45
1997	2473	360	2	2031	231	11	193	35	1	136	19	1
1998	2240	127	20	1945	145	22	152	-6	47	111	-6	43
1999	2369	256	8	2063	263	5	169	11	16	129	12	13
2000	2249	136	19	1996	196	15	157	-1	32	124	7	24
2001	2321	208	12	2028	228	12	169	11	15	129	12	12
2002	2212	99	24	1925	125	26	166	8	21	130	13	10
2003	2361	248	9	2150	350	2	164	6	23	135	18	3

Продолжение таблицы 1.2

годы	Сумма температур, °С						Продолжительность, сутки					
	$\sum T_5$	Δ	r	$\sum T_{10}$	Δ	r	P_5	Δ	r	P_{10}	Δ	r
2004	2326	213	11	2096	296	3	165	7	22	133	16	4
2005	2420	307	4	2034	234	9	178	20	6	126	9	18
2006	2156	43	31	2001	201	14	153	-5	44	131	14	8
2007	2320	207	13	1931	131	24	173	15	11	124	7	25
2008	2311	198	14	1983	183	16	176	18	7	125	8	23
2009	2182	69	27	1800	0	33	174	16	9	124	7	26
2010	2199	86	26	1730	-70	39	172	14	13	112	-5	41
2011	2429	316	3	1953	153	19	190	32	2	136	19	2
2012	2584	471	1	2228	428	1	182	24	5	132	15	6
X_{cp}	2113			1800			158			117		
2σ	288			352			18			20		

Примечание: X_{cp} – среднее за базовый период 1961–1990 гг. и σ – среднеквадратическое отклонение за соответствующий период; Аномалии рассчитаны как отклонения от базовой нормы (1961–1990 гг.); $\sum T_{5,10}$ – сумма среднесуточных значений температуры воздуха за период календарного года со среднесуточной температурой воздуха, превышающей 5 и 10 °С; $P_{5,10}$ – продолжительность вегетационного периода (период календарного года, когда среднесуточная температура воздуха, превышает 5 и 10 °С; r – ранговая статистика по возрастанию.

Таблица 1.3 – Пространственно–средненных аномалий Δ (мм, % нормы) годовых сумм атмосферных осадков ($R_{год}$) на территории юго-востока Западной Сибири

годы	$R_{год}$	Δ		r
	мм	мм	%	
1961	404,2	-9,9	98	21
1962	340,8	-73,3	82	5
1963	378,2	-35,9	91	14
1964	399,9	-14,2	97	20
1965	349,7	-64,4	84	7
1966	415,2	1,1	100	24
1967	326,6	-87,5	79	1
1968	415,9	1,8	100	25
1969	448,9	34,8	108	35
1970	486,1	72,0	117	45
1971	416,1	2,0	100	26
1972	506,5	92,4	122	51
1973	399,3	-14,8	96	19
1974	376,4	-37,7	91	13
1975	420,3	6,2	101	30
1976	416,6	2,5	101	27
1977	393,4	-20,7	95	18
1978	419,6	5,5	101	29
1979	502,0	87,9	121	49
1980	366,1	-48,0	88	9
1981	331,9	-82,2	80	3
1982	429,2	15,1	104	32
1983	434,4	20,3	105	33
1984	481,1	67,0	116	41
1985	478,7	64,6	116	40
1986	426,0	11,9	103	31
1987	503,4	89,3	122	50
1988	329,7	-84,4	80	2
1989	367,8	-46,3	89	10
1990	458,9	44,8	111	38
1991	381,5	-32,6	92	15
1992	457,5	43,4	110	37
1993	484,1	70,0	117	44
1994	453,1	39,0	109	36
1995	418,5	4,4	101	28
1996	483,9	69,8	117	43
1997	356,4	-57,7	86	8
1998	405,0	-9,1	98	23
1999	341,1	-73,0	82	6
2000	482,5	68,4	117	42
2001	496,6	82,5	120	47
2002	549,4	135,3	133	52
2003	372,6	-41,5	90	11

Продолжение таблицы 1.3

годы	$R_{год}$	Δ		r
	мм	мм	%	
2004	493,7	79,6	119	46
2005	386,3	-27,8	93	16
2006	438,7	24,6	106	34
2007	472,3	58,2	114	39
2008	404,9	-9,2	98	22
2009	497,3	83,2	120	48
2010	389,9	-24,2	94	17
2011	375,6	-38,5	91	12
2012	338,0	-76,1	82	4
X_{cp}	414,1			
$1,25\sigma$	53			

Примечание: X_{cp} – среднее за базовый период 1961–1990 гг.; σ – среднеквадратическое отклонение за соответствующий период; Аномалии рассчитаны как отклонения от базовой нормы (1961–1990 гг.); r – ранговая статистика по убыванию.

Таблица 1.4 – Пространственно–осредненных аномалий Δ (мм, % нормы) характеристик увлажнённости на территории юго-востока Западной Сибири

годы	R_5	Δ		r	R_{10}	Δ		r	ГТК	Δ	r
	мм	мм	%		мм	мм	%				
1961	209,8	-4,2	98	21	169,9	2,9	102	22	1,0	-0,01	27
1962	182,2	-31,8	85	8	166,1	-0,9	99	18	0,8	-0,16	16
1963	183,1	-30,9	85	9	122,3	-44,7	73	4	0,8	-0,18	13
1964	204,1	-9,9	95	18	176,9	9,9	106	25	1,0	-0,04	23
1965	189,4	-24,6	88	12	147,7	-19,3	88	13	0,7	-0,26	7
1966	170,7	-43,3	80	3	124,1	-42,9	74	5	0,6	-0,37	5
1967	230,8	16,8	108	29	168,3	1,3	101	20	1,0	0,03	31
1968	201,1	-12,9	94	15	150,7	-16,3	90	15	0,9	-0,06	22
1969	231,5	17,5	108	31	195,7	28,7	117	38	1,1	0,14	40
1970	246,8	32,8	115	39	223,7	56,7	134	49	1,3	0,33	49
1971	231,4	17,4	108	30	150,5	-16,5	90	14	1,0	-0,03	26
1972	244,3	30,3	114	36	193,3	26,3	116	35	1,5	0,46	52
1973	213,1	-0,9	100	22	178,7	11,7	107	27	1,0	0,00	28
1974	205,3	-8,7	96	19	140,1	-26,9	84	10	0,8	-0,17	14
1975	196,1	-17,9	92	14	129,7	-37,3	78	7	0,8	-0,22	11
1976	217,5	3,5	102	23	190,8	23,8	114	32	1,0	0,04	34
1977	222,5	8,5	104	25	178,0	11,0	107	26	0,9	-0,08	21
1978	226,9	12,9	106	27	180,8	13,8	108	28	1,1	0,08	38
1979	246,0	32,0	115	38	205,7	38,7	123	42	1,2	0,16	44
1980	223,1	9,1	104	26	206,8	39,8	124	44	1,1	0,06	37
1981	171,1	-42,9	80	4	134,8	-32,2	81	9	0,7	-0,30	6
1982	204,0	-10,0	95	17	161,5	-5,5	97	17	0,8	-0,22	10
1983	218,7	4,7	102	24	119,7	-47,3	72	3	0,8	-0,24	8
1984	233,6	19,6	109	32	168,8	1,8	101	21	1,0	0,00	29
1985	245,9	31,9	115	37	192,5	25,5	115	34	1,2	0,23	46
1986	247,4	33,4	116	40	189,6	22,6	114	31	1,1	0,15	41
1987	271,0	57,0	127	47	186,4	19,4	112	30	1,1	0,06	35
1988	178,3	-35,7	83	6	145,7	-21,3	87	12	0,8	-0,20	12
1989	137,1	-76,9	64	1	117,9	-49,1	71	1	0,6	-0,39	2
1990	239,2	25,2	112	34	194,5	27,5	116	36	1,0	-0,03	25
1991	206,4	-7,6	96	20	183,0	16,0	110	29	0,9	-0,08	20
1992	257,1	43,1	120	45	206,8	39,8	124	43	1,2	0,18	45
1993	283,8	69,8	133	50	218,5	51,5	131	48	1,3	0,28	47
1994	250,3	36,3	117	42	203,6	36,6	122	40	1,1	0,06	36
1995	250,5	36,5	117	43	197,7	30,7	118	39	1,0	0,03	33
1996	298,3	84,3	139	51	205,5	38,5	123	41	1,3	0,29	48
1997	188,3	-25,7	88	10	156,1	-10,9	93	16	0,8	-0,17	15
1998	177,1	-36,9	83	5	119,6	-47,4	72	2	0,6	-0,38	4
1999	161,4	-52,6	75	2	124,3	-42,7	74	6	0,6	-0,40	1
2000	240,1	26,1	112	35	191,6	24,6	115	33	1,0	-0,04	24
2001	269,0	55,0	126	46	231,1	64,1	138	50	1,2	0,15	42
2002	283,2	69,2	132	49	256,0	89,0	153	52	1,4	0,36	50

Продолжение таблицы 1.4

годы	R_5	Δ		r	R_{10}	Δ		r	ГТК	Δ	r
	мм	мм	%		мм	мм	%				
2003	202,8	-11,2	95	16	167,0	0,0	100	19	0,8	-0,22	9
2004	250,9	36,9	117	44	209,9	42,9	126	45	1,0	0,02	30
2005	247,6	33,6	116	41	217,7	50,7	130	47	1,1	0,09	39
2006	190,2	-23,8	89	13	171,1	4,1	102	23	0,9	-0,14	18
2007	282,9	68,9	132	48	217,2	50,2	130	46	1,2	0,16	43
2008	228,0	14,0	107	28	174,3	7,3	104	24	0,9	-0,10	19
2009	303,6	89,6	142	52	249,3	82,3	149	51	1,4	0,40	51
2010	189,2	-24,8	88	11	141,1	-25,9	84	11	0,8	-0,15	17
2011	237,3	23,3	111	33	195,6	28,6	117	37	1,0	0,03	32
2012	179,4	-34,6	84	7	134,7	-32,3	81	8	0,6	-0,39	3
X_{cp}	167,0				214,1				0,96		
σ	28,9				29,3				0,20		

Примечание: X_{cp} – среднее за базовый период 1961–1990 гг.; σ – среднеквадратическое отклонение за соответствующий период; Аномалии рассчитаны как отклонения от базовой нормы (1961–1990 гг.).

$R_{5,10}$ – сумма атмосферных осадков за период календарного года со среднесуточной температурой, превышающей 5 и 10 °С; ГТК – гидротермический коэффициент Г. Т. Селянинова, характеризующий соотношения изменений температуры воздуха и количества выпавших атмосферных осадков за период активной вегетации; r – ранговая статистика по убыванию

Таблица 2.1 – Оценка динамики линейных трендов пространственно-осредненных характеристик теплообеспеченности на территории юго-востока Западной Сибири

ΣT_5					
период	$b, ^\circ\text{C}/10 \text{ лет}$	$D, \%$	период	$b, ^\circ\text{C}/10 \text{ лет}$	$D, \%$
1976–1995	36	2	1976–2010	49	8
1976–2000	59	8	1976–2012	61	8
1976–2005	73	9			
ΣT_{10}					
1976–1995	17	1	1976–2010	43	5
1976–2000	45	5	1976–2012	49	7
1976–2005	75	8			
Π_5					
период	$b, \text{сутки}/10 \text{ лет}$	$D, \%$	период	$b, \text{сутки}/10 \text{ лет}$	$D, \%$
1976–1995	2	9	1976–2010	4	14
1976–2000	3	6	1976–2012	4	23
1976–2005	5	11			
Π_{10}					
1976–1995	1	0	1976–2010	2	7
1976–2000	2	0	1976–2012	2	7
1976–2005	3	10			

Примечание: b – коэффициент линейного тренда ($^\circ\text{C}/10\text{лет}$); D – доля дисперсии, объясняемая трендом, %.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Таблица 3.1 – Средние многолетние суммы среднесуточных значений температуры воздуха за период календарного года со среднесуточной температурой воздуха, превышающей 10 °С, обеспечивающие созревание растений в 90 % общего числа лет за базовый период (1961–1990 гг.) и последнее десятилетие (2003–2012 гг.) на территории юго-востока Западной Сибири

Гидрометеорологическая станция	Средние многолетние за 1961–1990 гг.		Средние значения за 2003–2012 гг.	
	$\sum T_{10}(90\%)$	σ	$\sum T_{10}(90\%)$	σ
Бакчар	1110	221	1273	182
Барабинск	1410	212	1560	201
Барнаул	1569	201	1748	216
Бийск	1581	239	1742	207
Кемерово	1317	201	1563	169
Камень-на-Оби	1572	209	1729	174
Новосибирск	1477	208	1628	218
Омск	1548	220	1735	177
Первомайское	1202	184	1476	190
Рубцовск	1800	217	1955	199
Русская Поляна	1740	215	1869	205
Ребриха	1548	281	1681	188
Славгород	1838	240	2059	268
Северное	1397	211	1598	160
Тара	1320	200	1518	205
Татарск	1456	245	1646	147
Томск	1242	217	1414	249
Регион	1480	176	1671	151

Примечание: σ – среднеквадратическое отклонение; $\sum T_{10}(90\%)$ – сумма среднесуточных значений температуры воздуха за период календарного года со среднесуточной температурой воздуха, превышающей 10 °С, обеспечивающие созревание растений в 90 % общего числа лет.

Продолжение приложения 3

Таблица 3.2 – Средние многолетние суммы атмосферных осадков (R , мм) за период вегетации (1961–1990 гг.) и их средние значения за 2003–2012 гг. на территории юго-востока Западной Сибири

Гидрометеорологическая станция	Средние многолетние за 1961–1990 гг.	Средние значения за 2003–2012 гг.
Бакчар	231,0	291,3
Барабинск	200,9	210,2
Барнаул	200,6	208,3
Бийск	249,5	250,2
Кемерово	224,7	259,5
Камень-на-Оби	172,6	180,0
Новосибирск	222,6	221,6
Омск	219,2	263,7
Первомайское	227,8	255,4
Рубцовск	175,6	178,6
Русская Поляна	188,5	178,3
Ребриха	195,6	191,2
Славгород	165,6	165,7
Северное	261,6	320,3
Тара	232,2	251,1
Татарск	213,9	239,4
Томск	249,2	278,5
Регион	214,1	231,9

Таблица 4.1 – Ряды скользящих оценок средних величин (E) и средних квадратических отклонений (V) характеристик теплообеспеченности для 30-летних периодов осреднения на территории юго-востока Западной Сибири

Период осреднения	Сумма температур воздуха, °С				Продолжительность, сутки				Бакчар				Славгород			
	ΣT_5		ΣT_{10}		P_5		P_{10}		D_5 весна		D_5 осень		D_5 весна		D_5 осень	
	E	V	E	V	E	V	E	V	E	V	E	V	E	V	E	V
1961–1990	2113	144	1800	176	158	9	117	10	6 май	11	25 сен	12	21 апр	7	5 окт	7
1962–1991	2125	151	1810	180	159	10	118	11	5 май	12	25 сен	13	21 апр	7	5 окт	7
1963–1992	2117	153	1801	175	159	10	117	10	5 май	12	25 сен	13	21 апр	7	6 окт	7
1964–1993	2119	152	1807	169	159	10	117	10	5 май	12	25 сен	12	20 апр	7	6 окт	7
1965–1994	2125	155	1809	170	159	10	117	10	5 май	12	25 сен	13	20 апр	7	7 окт	7
1966–1995	2127	158	1806	166	160	11	117	10	4 май	12	26 сен	13	19 апр	8	7 окт	7
1967–1996	2123	159	1795	166	160	11	117	10	4 май	12	25 сен	13	19 апр	8	7 окт	7
1968–1997	2131	170	1807	170	161	12	118	11	3 май	12	26 сен	13	19 апр	8	7 окт	7
1969–1998	2141	168	1817	168	161	12	118	10	3 май	12	25 сен	13	20 апр	9	8 окт	7
1970–1999	2156	167	1827	174	162	11	118	11	3 май	12	26 сен	13	19 апр	8	8 окт	8
1971–2000	2167	161	1836	176	162	10	118	11	3 май	12	25 сен	13	19 апр	8	8 окт	8
1972–2001	2176	163	1851	172	162	10	119	10	3 май	12	27 сен	8	19 апр	8	8 окт	8
1973–2002	2190	144	1870	145	163	10	121	10	3 май	12	27 сен	8	19 апр	9	8 окт	8
1974–2003	2199	147	1881	153	163	10	121	10	2 май	12	28 сен	8	19 апр	8	8 окт	8
1975–2004	2203	148	1891	157	163	10	122	10	2 май	12	27 сен	8	20 апр	9	8 окт	8
1976–2005	2217	148	1902	155	164	10	122	10	1 май	11	27 сен	8	19 апр	8	8 окт	8
1977–2006	2217	148	1906	156	163	11	122	10	2 май	11	27 сен	8	19 апр	8	9 окт	7
1978–2007	2218	149	1905	156	164	11	122	10	2 май	11	28 сен	8	19 апр	8	9 окт	7
1979–2008	2227	147	1914	153	164	11	123	10	1 май	12	28 сен	8	19 апр	8	9 окт	7
1980–2009	2227	147	1914	153	165	11	123	10	1 май	12	28 сен	9	18 апр	9	10 окт	8
1981–2010	2230	146	1906	156	165	11	122	10	1 май	12	29 сен	8	18 апр	9	10 окт	8
1982–2011	2234	149	1904	155	166	12	123	10	1 май	12	29 сен	9	18 апр	9	11 окт	7
1983–2012	2240	161	1909	163	166	12	123	10	1 май	12	30 сен	9	18 апр	9	12 окт	7

Примечание: $\Sigma T_{5,10}$ – сумма среднесуточных значений температуры воздуха за период календарного года со среднесуточной температурой воздуха, превышающей 5 и 10 °С; $P_{5,10}$ – продолжительность вегетационного периода (период календарного года, когда среднесуточная температура воздуха, превышает 5 и 10 °С; D_5 – даты перехода среднесуточной температуры воздуха через границы 5 °С весной и осенью.

Продолжение приложения 4

Таблица 4.2 – Ряды скользящих оценок средних величин (E) и средних квадратических отклонений (V) характеристик увлажнения для 30-летних периодов осреднения на территории юго-востока Западной Сибири

Период осреднения	R_5		R_{10}		$ГТК_{общ.}$		$ГТК_{июнь}$		$ГТК_{июль}$		$ГТК_{август}$	
	E	V	E	V	E	V	E	V	E	V	E	V
1961–1990	214,1	29,3	167,0	28,9	0,96	0,35	1,07	0,37	1,07	0,37	1,06	0,32
1962–1991	214,0	29,3	167,5	29,1	0,96	0,35	1,07	0,37	1,09	0,37	1,05	0,32
1963–1992	216,4	29,7	168,8	29,9	0,97	0,35	1,06	0,37	1,08	0,37	1,04	0,32
1964–1993	219,8	31,5	172,0	29,9	0,98	0,35	1,08	0,37	1,10	0,37	1,05	0,31
1965–1994	221,3	31,8	172,9	30,5	0,99	0,35	1,07	0,37	1,08	0,37	1,05	0,31
1966–1995	223,4	31,6	174,6	30,4	1,00	0,35	1,06	0,37	1,09	0,36	1,07	0,32
1967–1996	227,6	32,9	177,3	29,4	1,02	0,35	1,02	0,37	1,07	0,34	1,10	0,34
1968–1997	226,2	33,6	176,9	29,6	1,01	0,35	1,03	0,38	1,09	0,34	1,08	0,34
1969–1998	225,4	34,5	175,9	31,0	1,00	0,36	1,01	0,37	1,08	0,35	1,08	0,34
1970–1999	223,1	36,4	173,5	32,2	0,98	0,36	1,01	0,37	1,05	0,37	1,08	0,34
1971–2000	222,9	36,3	172,4	31,0	0,97	0,36	1,03	0,36	1,04	0,38	1,08	0,34
1972–2001	224,1	37,2	175,1	32,5	0,98	0,36	1,02	0,38	1,05	0,38	1,09	0,34
1973–2002	225,4	38,6	177,2	35,5	0,97	0,37	1,01	0,39	1,04	0,38	1,11	0,35
1974–2003	225,1	38,8	176,8	35,6	0,97	0,38	1,02	0,39	1,06	0,38	1,13	0,37
1975–2004	226,6	38,9	179,1	35,4	0,97	0,39	1,00	0,39	1,07	0,35	1,18	0,42
1976–2005	228,3	38,6	182,1	34,8	0,98	0,38	1,00	0,38	1,11	0,34	1,17	0,42
1977–2006	227,4	39,2	181,4	34,8	0,98	0,38	1,00	0,39	1,13	0,32	1,17	0,42
1978–2007	229,4	40,5	182,7	35,4	0,99	0,38	1,00	0,40	1,10	0,32	1,18	0,43
1979–2008	229,4	40,5	182,5	35,4	0,98	0,39	0,97	0,40	1,07	0,32	1,19	0,44
1980–2009	231,4	42,6	184,0	37,3	0,99	0,40	1,00	0,41	1,05	0,35	1,20	0,44
1981–2010	230,2	43,2	181,8	37,8	0,98	0,40	0,96	0,41	1,03	0,34	1,21	0,45
1982–2011	232,4	41,8	183,8	36,8	0,99	0,39	0,94	0,39	1,01	0,34	1,24	0,45
1983–2012	231,6	42,6	182,9	37,7	0,99	0,40	0,96	0,39	0,99	0,37	1,25	0,45

Примечание: $\sum T_{10}$ – сумма среднесуточных значений температуры воздуха за период календарного года со среднесуточной температурой воздуха, превышающей 10 °С; P_{10} – продолжительность вегетационного периода (период календарного года, когда среднесуточная температура воздуха, превышает 10 °С; ГТК – гидротермический коэффициент Г. Т. Селянинова, характеризующий соотношения изменений температуры воздуха и количества выпавших атмосферных осадков за период активной вегетации

ПРИЛОЖЕНИЕ 5

Таблица 5.1 – Пространственное сравнение результатов иерархической классификации (метод Уорда) с делением по влагообеспеченности (по Г. Т. Селянинову) и теплообеспеченности растений (по Д. И. Шашко и С. А. Сапожниковой) на территории юго-востока Западной Сибири, выполненное для периода с 1961 до 2012 гг.

Станции	Иерархическая классификация			Агроклиматическое зонирование				
	Агроклиматические показатели		класс	Влагообеспеченность		Теплообеспеченность		
	ГТК	$\sum T_{10} (90 \%),$ °С		Природная зона	Провинция	под пояс	Провинция	Типы возделываемых культур
Славгород Рубцовск Русская Поляна	0,6 0,6 0,6	1906 1847 1801	1 1 1	Степь	Сухостепная	Прохладный	≥ 1800	Кукуруза на зерно (р), фасоль (р), просо (п)
Ребриха Камень-на-Оби Барнаул Бийск	0,8 0,8 0,9 0,9	1635 1626 1660 1648	2 2 2 2					
Омск Татарск Барабинск Новосибирск Кемерово Северное Тара	1,0 1,0 1,0 1,0 1,0 1,2 1,1	1597 1529 1470 1521 1396 1522 1384	3 3 3 3 3 3 3	Лесостепь	Оптимальное увлажнение	Умеренно-тёплый	1400–1599	Ячмень (п), яровая пшеница (с), кукуруза (с) и свекла на корм
Первомайское Томск Бакчар	1,3 1,3 1,3	1295 1299 1204	4 4 4	Южнотаежно-лесная	Избыточное увлажнение			

Примечание: $\sum T_{10} (90 \%)$ – сумма среднесуточных значений температуры воздуха за период календарного года со среднесуточной температурой воздуха, превышающей 10 °С, обеспечивающие созревание растений в 90 % общего числа лет; ГТК – гидротермический коэффициент Г. Т. Селянинова; Каждая последующая $\sum T_{10} (90 \%)$ обеспечивает созревание всех указанных выше культур: (р) – ранние, (с) – средние, (п) – поздние сорта

Продолжение приложения 5

Таблица 5.2 – Агроклиматические условия по классам, полученным с помощью иерархического кластерного анализа за базовый период (1961–1990 гг.) и последнее десятилетие (2003–2012 гг.) на территории юго-востока Западной Сибири

Станция	Средние многолетние за 1961–1990 гг.				Станция	Средние значения за 2003–2012 гг.			
	$\Sigma T_{10}(90\%)$, °C	ГТК	класс	Культура		$\Sigma T_{10}(90\%)$, °C	ГТК	класс	Культура
Рубцовск Славгород	1800 1838	0,7 0,7	1 1	Кукуруза на зерно (р), фасоль (р), просо (п)	Рубцовск Славгород Русская Поляна	1955 2059 1869	0,6 0,6 0,6	1 1 1	Кукуруза на зерно (р), фасоль (р), просо (п)
Русская Поляна	1740	0,8	2						
Барабинск Барнаул Бийск Камень-на-Оби Новосибирск Омск Ребриха Татарск	1410 1569 1581 1572 1477 1548 1548 1456	1,0 1,0 1,0 1,0 1,0 1,0 1,0 1,1	3 3 3 3 3 3 3 3	Ячмень (п), яровая пшеница (с), кукуруза (с) и свекла на корм	Барабинск Барнаул Бийск Камень-на-Оби Новосибирск Омск Ребриха Татарск	1610 1748 1742 1729 1628 1735 1681 1646	0,9 0,9 0,9 0,9 0,9 0,9 0,8 1,0	2 2 2 2 2 2 2 2	Яровая пшеница (п), подсолнечник на зерно (р), сахарная свекла на сахар (р)
Кемерово Первомайское Северное Тара Томск Бакчар	1317 1202 1397 1320 1242 1110	1,4 1,3 1,3 1,3 1,3 1,3	4 4 4 4 4 4						

Примечание: $\Sigma T_{10}(90\%)$ – сумма среднесуточных значений температуры воздуха за период календарного года со среднесуточной температурой воздуха, превышающей 10 °C, обеспечивающие созревание растений в 90 % общего числа лет; ГТК – гидротермический коэффициент Г. Т. Селянинова; Каждая последующая $\Sigma T_{10}(90\%)$ обеспечивает созревание всех указанных выше культур: (р) – ранние, (с) – средние, (п) – поздние сорта.
Критерии классов: 1 класс – $\Sigma T_{10}(90\%) \geq 1800$ °C, ГТК 0,7–0,4; 2 класс – $\Sigma T_{10}(90\%) \geq 1600$ –1799 °C, ГТК 1,0–0,7; 3 класс – $\Sigma T_{10}(90\%) \geq 1400$ –1599 °C, ГТК 1,0–1,3; 4 класс – $\Sigma T_{10}(90\%) \geq 1400$ –1599 °C, ГТК 1,3–1,6.

Таблица 6.1 – Характеристики волн тепла, наблюдаемые в уязвимый период жизни яровой пшеницы по станциям юго-востока Западной Сибири с учётом макроциркуляционного фактора (P – продолжительность волны; T_{cp} – средняя температура воздуха за период волны; σ – стандартное отклонение среднемесячной температуры воздуха для каждого месяца; T_{max} – максимальная температура воздуха за период волны; T_{min} – минимальная температура воздуха за период волны) и типы элементарных циркуляционных механизмов (ЭЦМ) по Б. Л. Дзержевскому во время начала и завершения волны тепла)

Станция	год	Начало волны		P	T_{cp}	σ	T_{max}	T_{min}	ЭЦМ	
		месяц	число						начало	конец
Бакчар	1967	6	6	6	22,2	1,7	30,9	13,9	6	4в
	1969	6	24	5	25,2	1,8	32,4	16,8	10а	4а
	1976	6	6	5	24,1	2,1	32,3	14,6	2б	4в
	1980	6	15	5	22,8	1,4	30,2	12,4	13л	2а
	1983	6	22	10	23,4	1,5	30,9	13,8	11г	4в
	1983	6	8	5	21,4	1,7	29,5	10,7	10а	4в
	1993	5	28	6	19,4	1,6	27,0	9,0	8а	13л
	1994	6	28	5	24,1	1,9	31,6	15,2	2а	12бл
	1999	6	22	5	20,5	1,9	28,2	13,2	8а	12 вл
	1999	7	8	11	23,9	1,7	31,9	15,7	8а	12 вл
	2006	6	5	5	19,9	1,4	28,9	10,6	6	8бл
2012	5	30	9	20,7	1,7	29,1	9,7	12а	2а	
Барабинск	1976	6	5	6	24,5	1,9	33,3	15,0	2б	4в
	1978	6	18	6	25,1	1,5	32,6	17,7	6	4в
	1994	6	28	5	24,8	1,8	31,6	16,8	2а	12бл
	1999	6	22	5	22,6	2,0	30,3	15,2	8а	12 вл
	2006	6	19	6	25,3	1,5	32,1	19,3	6	10б
	2012	5	30	8	22,2	1,7	29,8	12,7	12а	2а
Барнаул	1968	5	25	7	21,5	1,7	28,3	14,4	13л	12вл
	1968	6	30	6	24,7	1,4	31,4	18,2	12а	8а
	1969	7	2	9	25,9	1,8	32,0	20,0	12а	8гл
	1992	6	26	5	24,8	1,8	31,2	18,0	2в	4б
	1994	6	6	5	23,8	1,6	32,8	14,9	13л	10б
	2001	5	26	8	22,3	1,7	30,1	15,1	9б	13л
	2012	5	31	7	22,3	1,5	29,7	12,9	12а	2а
	2012	6	10	5	23,4	1,6	31,6	15,5	9а	3
Бийск	1968	5	25	7	20,5	1,6	29,2	11,4	13л	12вл
	1976	6	6	6	22,9	1,5	30,9	14,7	2б	4в
	1990	6	8	5	23,4	1,6	29,7	16,3	9б	13л
	1992	6	26	5	25,7	2,4	33,1	17,4	2в	4б
	1994	6	6	5	24,4	1,9	34,0	15,8	13л	10б

Продолжение таблицы 6.1

Станция	год	Начало волны		П	Т _{ср}	σ	Т _{макс.}	Т _{мин.}	ЭЦМ	
		месяц	число						начало	конец
Бийск	1997	5	27	6	23,0	2,1	30,6	14,6	9а	10б
	1998	5	25	5	20,9	1,6	28,1	12,9	12а	12бл
	1998	7	6	6	26,9	2,6	34,3	19,9	13л	12вл
	2012	5	31	7	22,0	1,6	29,6	12,2	12а	2а
Камень-на-Оби	1976	6	5	6	23,4	1,5	31,1	15,7	2б	4в
	1990	6	8	5	23,4	1,6	29,9	16,2	9б	13л
	1997	5	26	6	21,4	1,5	30,2	11,4	9а	10б
	1998	5	30	5	23,4	1,8	31,6	14,9	12а	12бл
	1999	7	7	8	26,2	1,8	34,3	17,7	8а	12 вл
	2005	7	5	5	25,4	1,7	33,4	17,0	13л	4б
	2011	6	8	6	22,9	1,5	30,1	14,7	12а	2а
	2012	6	2	5	23,0	1,5	31,7	10,8	12а	2а
Кемерово	1975	7	7	5	24,0	1,6	33,8	13,2	13л	2а
	1980	6	18	5	23,9	1,5	31,0	17,1	13л	2а
	1981	6	20	5	24,0	1,4	31,1	15,0	6	12бл
	1983	6	8	5	22,0	1,7	30,5	10,7	10 а	4в
	1983	6	26	6	23,3	1,6	30,6	14,3	11г	4в
	1994	6	5	7	22,5	1,8	31,7	13,2	13л	10б
	2003	7	6	5	24,4	1,9	32,5	14,7	9а	8бл
	2012	5	31	8	21,1	1,6	29,5	10,8	12а	10б
Новосибирск	1969	7	2	9	25,5	1,9	32,6	18,1	12а	8гл
	1976	6	6	5	23,6	1,8	31,5	14,0	2б	4в
	1983	6	25	7	23,8	1,6	30,6	15,8	11г	4в
	1994	6	6	5	23,7	1,8	32,1	15,0	13л	10б
	2003	7	6	5	24,5	1,7	31,8	15,9	9а	8бл
	2012	5	31	7	22,4	1,7	30,0	12,3	12а	10б
Омск	1963	6	18	9	26,5	1,6	34,1	15,7	2б	7 ал
	1965	7	7	6	26,2	1,7	33,0	15,6	2б	3
	1968	5	25	6	20,9	1,5	28,2	12,6	13л	12вл
	1974	7	5	5	26,6	1,6	33,8	17,6	6	12бл
	1990	6	17	5	26,0	1,4	32,6	18,6	8бл	2в
	1998	7	5	5	27,5	1,8	35,3	19,0	13л	12вл
	2001	5	25	7	22,8	1,8	30,9	14,2	9б	13л
	2006	6	8	5	25,2	2,1	32,0	18,5	6	8бл
	2009	6	6	5	24,5	1,7	31,9	15,2	12а	10б
2012	5	29	8	22,6	1,5	29,5	14,1	12а	10б	
Первомайское	1961	6	26	10	23,9	1,6	31,0	14,5	8а	12бл
	1965	6	2	6	20,6	1,5	28,1	13,4	2б	4в
	1967	6	6	5	22,6	1,7	31,3	14,5	2б	12а
	1976	6	6	5	23,9	2,0	31,8	14,4	2б	4в
	1977	5	30	6	19,8	1,5	27,5	10,9	12а	12бл
	1980	6	16	5	25,0	1,8	32,4	15,5	13л	2а
	1983	6	8	5	22,2	1,8	29,5	12,7	10 а	4в
	1994	6	26	7	24,3	1,8	31,7	16,9	2а	12бл
1999	7	8	12	25,7	2,0	32,4	18,3	8а	12 вл	

Продолжение таблицы 6.1

Станция	год	Начало волны		П	Тер	σ	Т _{макс.}	Т _{мин.}	ЭЦМ	
		месяц	число						начало	конец
Первомайское	2003	7	6	5	24,9	1,8	32,1	15,8	9а	8бл
	2005	6	11	5	22,2	1,9	29,8	13,3	6	10б
	2006	6	4	6	22,0	1,7	29,7	13,2	6	8бл
	2011	5	31	15	21,7	1,8	29,6	14,4	2а	12бл
Ребриха	1994	6	6	5	24,1	1,6	33,3	14,0	13л	10б
	1994	6	28	7	25,1	1,8	31,9	16,8	2а	12бл
	1997	5	27	6	22,7	1,8	30,8	11,9	9а	10б
	2005	7	5	5	24,7	1,3	32,4	16,2	13л	4б
	2012	5	31	7	22,3	1,5	30,5	10,9	12а	10б
	2012	6	10	5	24,2	1,6	32,0	15,2	12а	10б
Рубцовск	1968	6	30	7	25,9	1,7	33,3	18,4	12а	8а
	1974	6	27	5	25,6	1,8	33,6	17,6	2а	9а
	1974	7	4	5	26,5	1,7	33,0	19,0	6	12бл
	1988	6	15	5	26,2	1,8	34,7	16,1	13л	13л
	1990	6	7	5	24,7	1,6	33,2	16,2	9б	13л
	1991	6	13	5	24,6	1,5	33,4	15,4	2б	13л
	1992	6	25	6	26,3	2,0	34,6	17,3	2в	4б
	1994	6	28	6	25,5	1,8	33,3	17,6	2а	12бл
	1997	5	27	6	24,0	2,0	32,8	15,2	9а	10б
	2005	7	5	5	26,8	2,1	35,9	18,2	13л	4б
	2012	6	1	6	23,7	1,6	32,2	14,7	12а	10б
2012	6	23	7	24,7	1,4	33,0	16,3	12а	10б	
Русская Поляна	1978	6	19	6	27,9	1,4	34,6	19,3	6	4в
	1997	5	25	7	24,6	1,8	31,5	16,3	9а	10б
	2005	6	4	7	25,2	1,5	32,5	16,8	6	10б
	2006	6	8	5	25,9	1,8	32,6	18,3	6	8бл
	2009	6	6	5	24,3	1,3	31,3	14,9	12а	10б
	2012	5	29	8	23,8	1,5	31,1	14,3	12а	10б
Северное	1976	6	5	6	22,8	1,8	31,5	12,5	2б	4в
	1994	6	28	5	24,6	2,0	31,4	17,1	2а	12бл
	1997	5	25	7	20,5	1,8	28,6	12,0	9а	10б
	1998	5	25	6	19,1	1,7	26,8	10,4	12а	12бл
	1999	6	22	5	21,1	1,9	29,6	13,0	8а	12 вл
	1999	7	7	5	23,2	1,5	30,6	14,8	8а	12 вл
	2000	6	20	5	23,7	1,5	30,1	15,7	13л	3
	2001	5	25	7	20,7	1,9	29,4	10,6	9б	13л
	2004	5	26	5	18,6	1,4	26,7	7,6	12а	3
	2012	5	30	8	21,4	1,7	29,7	11,0	12а	10б
2012	6	9	5	21,8	1,9	29,1	13,8	12а	10б	
Славгород	1968	5	25	6	22,3	1,6	30,3	12,6	13л	12вл
	1976	6	6	5	25,8	1,5	33,6	16,4	2б	4в
	1994	6	28	5	26,7	1,7	33,0	19,0	2а	12бл
	1997	5	26	6	25,4	2,0	32,5	17,4	9а	10б
	1998	5	25	5	22,6	1,6	29,9	14,6	12а	12бл
	2012	5	30	7	24,9	1,7	32,1	15,1	12а	10б
	2012	6	24	7	26,9	1,6	33,6	18,9	12а	10б

Продолжение таблицы 6.1

Станция	год	Начало волны		П	Тер	σ	Т _{макс.}	Т _{мин.}	ЭЦМ	
		месяц	число						начало	конец
Тара	1963	6	20	6	24,2	1,5	30,5	15,9	2б	7 ал
	1965	5	30	5	20,9	1,7	28,7	11,7	12бл	12а
	1966	5	31	5	21,3	1,6	27,8	14,0	13л	7ал
	1983	6	6	6	22,5	1,7	29,5	13,6	10 а	4в
	1991	5	30	17	22,3	1,8	30,2	12,6	3	13л
	1993	5	29	5	20,1	1,6	26,7	12,2	8а	13л
	1994	6	28	5	25,6	2,0	30,8	18,4	2а	12бл
	1995	7	1	5	25,8	1,9	31,8	18,0	13л	10б
	1998	7	6	5	25,7	1,7	31,5	18,3	13л	12вл
	1999	6	22	5	21,5	1,9	28,7	14,0	8а	12 вл
	1999	7	6	5	25,0	1,5	30,9	17,9	8а	12 вл
	2000	6	19	6	25,0	1,6	31,5	17,8	13л	3
	2001	5	25	7	22,0	2,0	29,6	13,3	9б	13л
	2003	6	27	5	23,7	1,4	29,7	16,0	13л	3
	2004	5	26	5	19,3	1,4	27,6	7,8	12а	3
	2005	6	6	8	22,6	1,9	28,4	14,7	6	10б
2009	6	6	5	23,5	1,9	31,5	12,1	12а	10б	
2012	5	29	8	22,1	1,8	30,0	11,5	12а	10б	
Татарск	1969	7	1	9	26,8	1,7	34,2	18,9	12а	8гл
	1976	6	5	6	24,9	1,8	33,9	14,0	2б	4в
	1978	6	17	8	26,1	1,6	33,6	17,3	6	4в
	1997	5	25	7	22,8	1,9	30,0	16,2	9а	10б
	2005	6	8	6	22,8	1,7	30,0	14,7	6	10б
	2009	6	6	5	23,0	1,4	31,4	13,9	12а	10б
2012	5	30	7	22,7	1,6	30,8	12,3	12а	10б	
Томск	1965	6	2	6	20,6	1,5	27,7	12,8	2б	4в
	1969	7	2	10	24,5	1,8	31,9	17,0	12а	8гл
	1976	6	6	5	23,2	2,0	31,6	15,5	2б	4в
	1977	5	30	6	19,8	1,5	28,0	11,4	12а	12бл
	1982	6	20	5	24,0	1,4	32,0	15,7	2а	13л
	1983	6	8	5	22,5	1,9	30,2	13,7	10 а	4в
	1993	5	29	5	19,9	1,7	27,2	12,2	8а	13л
	1994	6	27	6	24,6	2,0	31,0	17,9	2а	12бл
	2005	6	11	5	21,3	1,7	28,9	13,3	6	10б
	2005	7	5	5	23,4	1,5	29,3	18,0	13л	4б
	2006	6	5	5	21,3	1,6	28,7	13,6	6	8бл
2012	5	30	7	22,7	1,6	30,8	12,3	12а	10б	

Таблица 6.2 – Повторяемости волн тепла, наблюдаемые в уязвимый период жизни ранней яровой пшеницы по станциям юго-востока Западной Сибири

Станции	Параметры		
	$N_{крит.}$	N_{00-12}	P
Бакчар	12	2	17
Барабинск	6	2	33
Барнаул	8	3	38
Бийск	9	1	11
Камень-на-Оби	9	4	44
Кемерово	8	2	25
Новосибирск	6	2	33
Омск	10	4	40
Первомайское	13	4	31
Ребриха	6	3	50
Рубцовск	12	3	25
Русская Поляна	6	4	67
Северное	11	5	45
Славгород	7	2	29
Тара	18	7	39
Татарск	7	3	43
Томск	11	3	27

Примечание: $N_{крит.}$ – общее количество волн за критический период жизни растений; N_{00-12} – количество волн за период 2000–2012 гг.; P – повторяемость волн за период 2000–2012 гг. относительно общего числа волн ($N_{крит.}$) на станции, %.

Продолжение приложения 6

Таблица 6.3 – Повторяемости волн тепла по градациям интенсивности и продолжительности (количество случаев), наблюдаемые в уязвимый период жизни яровой пшеницы по станциям юго-востока Западной Сибири

Станция	Интенсивность	Продолжительность (дни)	
		от 5 до 10	более 10
Бакчар	умеренная	10	1 (11 дней)
	сильная	1	
	очень сильная		
Барабинск	умеренная	5	
	сильная	1	
	очень сильная		
Барнаул	умеренная	8	
	сильная		
	очень сильная		
Бийск	умеренная	6	
	сильная	2	
	очень сильная	1	
Камень-на-Оби	умеренная	9	
	сильная		
	очень сильная		
Кемерово	умеренная	8	
	сильная		
	очень сильная		
Новосибирск	умеренная	6	
	сильная		
	очень сильная		
Омск	умеренная	9	
	сильная	1	
	очень сильная		
Первомайское	умеренная	10	1 (12 дней)
	сильная	1	1 (15 дней)
	очень сильная		
Ребриха	умеренная	6	
	сильная		
	очень сильная		
Рубцовск	умеренная	9	
	сильная	3	
	очень сильная		
Русская Поляна	умеренная	6	
	сильная		
	очень сильная		
Северное	умеренная	10	
	сильная	1	
	очень сильная		

Продолжение таблицы 6.3

Станция	Интенсивность	Продолжительность (дни)	
		от 5 до 10	более 10
Славгород	умеренная	6	
	сильная	1	
	очень сильная		
Тара	умеренная	15	1 (17 дней)
	сильная	2	
	очень сильная		
Татарск	умеренная	7	
	сильная		
	очень сильная		
Томск	умеренная	9	
	сильная	2	
	очень сильная		

Примечание: Интенсивность волны (I): умеренная ($1,25 \sigma \leq I < 2,0 \sigma$), сильная ($2,0 \sigma \leq I < 2,5 \sigma$) и очень сильная ($I \geq 2,5 \sigma$)