

На правах рукописи



Поляков Денис Викторович

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

Специальность 25.00.30 – Метеорология, климатология,
агрометеорология

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Томск – 2015

Работа выполнена на кафедре метеорологии и климатологии Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет».

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

**Официальные
оппоненты:** **Сухова Мария Геннадьевна,**
доктор географических наук, профессор;
ФГБОУ ВПО «Горно-Алтайский государственный
Университет»; доцент кафедры геоэкологии и
Природопользования (г. Горно-Алтайск)

Шкляев Владимир Александрович
кандидат географических наук, доцент;
ФГБОУ ВПО «Пермский государственный
национальный исследовательский университет»,
доцент кафедры метеорологии и охраны
атмосферы (г. Пермь)

Ведущая организация: ФГБУ «Сибирский региональный научно-исследо-
вательский гидрометеорологический институт»
(г. Новосибирск)

Защита состоится «19» февраля 2015 г. в 15 часов на заседании диссертационного совета Д 212.189.10 на базе ФГБОУ ВПО «Пермский государственный национальный исследовательский университет» по адресу: 614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15, корп. 8, ауд. 215; e-mail: seg@psu.ru, факс (342) 239-63-54.

С диссертацией можно ознакомиться в читальном зале научной библиотеки ФГБОУ ВПО «Пермский государственный национальный исследовательский университет», автореферат размещен на сайте ПГНИУ www.psu.ru и на официальном сайте ВАК.

Автореферат разослан « » декабря 2015 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,
кандидат географических наук, доцент



Т.А. Балина

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Решение вопросов современного устойчивого развития территорий приобрели актуальность именно в последние десятилетия, когда климат начал испытывать существенные изменения. Анализ локальных проявлений глобального изменения климата, а также исследование потенциальных последствий этих трансформаций с целью приспособления к ним агросферы, в последнее время приняли злободневный характер. 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.

Наибольший вклад в комплексный анализ характеристик климата, в особенности его изменчивости, экстремальности и воздействия на ведение сельского хозяйства, на территории Западной Сибири проводились исследователями: ВНИИСХМ (О. Д. Сиротенко, И. Г. Грингоф, Е. С. Уланова, А. И. Страшная и др.) и СИБНИГМИ (В. В. Костюков, С. В. Устинова, Т. В. Старостина, М. И. Черникова и др.). Однако из-за всеобщего внимания, разброс оценок и мнений экспертов о климатическом потенциале продолжает оставаться 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. Следовательно, выявление и анализ локальных проявлений глобального изменения климата и воздействие этих изменений на сельское хозяйство, должны проводиться в оперативном режиме для регулярного обновления справочных материалов.

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. Использовались пакеты программ (Microsoft Office, Statistica, Visual FoxPro, WinSurfer) включающие в себя стандартные методы обработки рядов наблюдений на основе математической статистики, с использованием EV-диаграмм, оценке достоверности результатов и R/S анализа.

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.

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». Материалы исследования подготовлены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России № 2282 по теме «Оценка вероятностного взаимодействия эндогенных и экзогенных геологических процессов с климатическими изменениями».

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); Международная научно-практическая конференция «Климатология и гляциология Сибири» (Томск, 2012); XVI международная конференция молодых ученых «Состав атмосферы. Атмосферное электричество. Климатические эффекты» (Звенигород, 2012); Международная научная конференция по региональным проблемам гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Казань, 2012); X Сибирское совещание по климато–экологическому мониторингу (Томск, 2013).

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.

ОСНОВНЫЕ ЗАЩИЩАЕМЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1. 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.

В настоящей работе использовались агроклиматические показатели (как характеристики комплексной оценки влияния изменений климата на сельское хозяйство), разработанные для государственной системы мониторинга климата:

– Термические ресурсы (показатели теплообеспеченности):

- $\sum T_{5,10}$ – 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);

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

По характеру поведения положительных аномалий среднегодовой температуры воздуха, как показателя изменения климата, активное потепление на территории юго-востока Западной Сибири началось с конца 80-х XX века. 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 уже 5 (рис. 1).

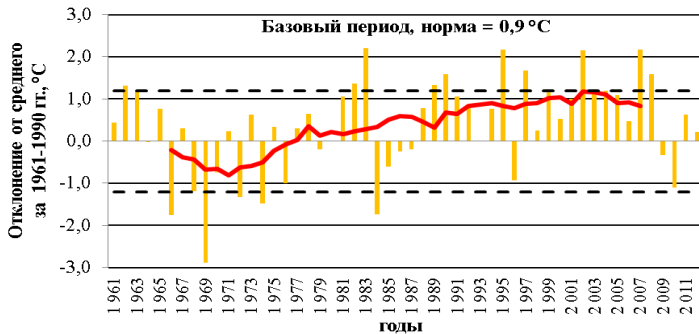


Рис. 1. Временной ход аномалий средней годовой температуры воздуха на территории юго-востока Западной Сибири за период 1961–2012 гг.

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.

Проанализирована временная изменчивость аномалий $\Pi_{5,10}$ за период с 1961 по 2012 гг. (рис. 2).



а)



б)

Рис. 2. 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.

Если за период 1961–1989 гг. количество лет с положительными отклонениями P_5 ($\geq 2\sigma$) было всего – 1, то в девяностые – 3, а в первом десятилетии XXI века их стало – 4 (рис. 2а). Положительные аномалии P_{10} преобладают над отрицательной составляющей с конца 80-х годов XX века по настоящее время, но сильные положительные аномалии ($\geq 2\sigma$) не отмечались (рис. 2б).

В свою очередь это привело к формированию положительных отклонений $\sum T_{5,10}$, которые получили распространение в последние десятилетия (рис. 3). Если до 1989 гг. количество лет с положительными отклонениями $\sum T_5$ ($\geq 2\sigma$) не отмечалось, то в девяностые – 2, а в первом десятилетии XXI века уже 3 (рис. 3а). Случай с положительным отклонением ($\geq 2\sigma$) для $\sum T_{10}$ отмечилось впервые в 2012 году (рис. 3б).



а)



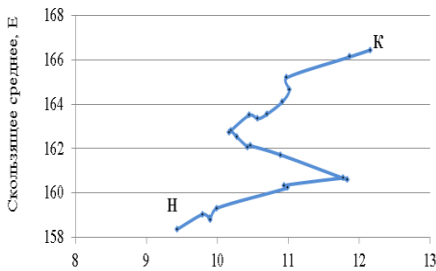
б)

Рис. 3. Временной ход аномалий $\Sigma T_{5,10}$ (а, б) на территории юго-востока Западной Сибири за период 1961–2012 гг.

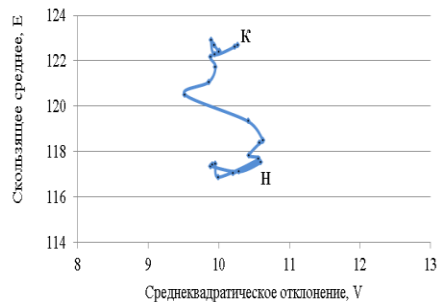
Примечание: Аномалии рассчитаны как отклонения от базовой нормы (1961–1990 гг.). Сглаженная кривая получена 11-летним скользящим осреднением. Пунктирными линиями показано положение $\pm 2\sigma$ – отклонение величин от базовой нормы.

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.

Анализ текущих изменений агроклиматических условий с помощью метода EV-диаграмм, позволяет заключить, что рассматриваемые термические показатели обладают региональным откликом на процессы глобального потепления (рис. 4).



а)



б)

Продолжение рис. 4

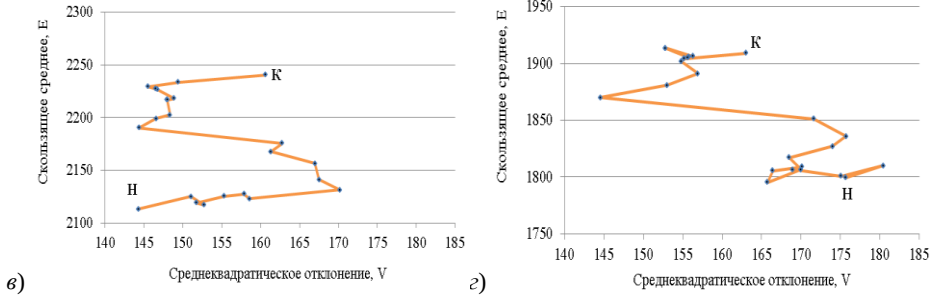


Рис. 4 – EV-диаграммы изменений центров распределения и разброса $P_{5,10}$ (а, б) и $\Sigma T_{5,10}$ (в, з) для скользящих 30-летних периодов с 1990 по 2012 гг. на территории юго-востока Западной Сибири (точка H – соответствует состоянию климата за 1961–1990 гг., а точка K – состояние климата за 1983–2012 гг.)

Так, 30-летние средние значения P_5 возросли с 158 до 166 дней (рис. 4а), P_{10} – с 117 до 123 дней (рис. 4б). При этом ΣT_5 также возросла с 2113 до 2240 °C (рис. 4в), ΣT_{10} – с 1800 до 1909 °C (рис. 4з). В связи с потеплением изменяется и форма функции распределения. Особенно значителен рост (на 25 %) среднеквадратического отклонения (σ) P_5 с 9 до 12 дней (рис. 4а) и ΣT_5 – с 144 до 161 °C (рис. 4б), что следует отнести к негативным последствиям наблюдаемых изменений климата. Обратные условия наблюдаются за период активной вегетации, где $\sigma \Sigma T_{10}$ сократилось от 176 до 163 °C, а P_{10} – не изменился.

Исследование современных тенденций изменения D_5 позволяют оценить не стационарность климатических изменений важного сельскохозяйственного сезона, на примере станций Бакчар и Славгород, которые отражают особенности прохладного пояса и умеренно-теплого соответственно (Шашко Д. И., 1985) (рис. 5).



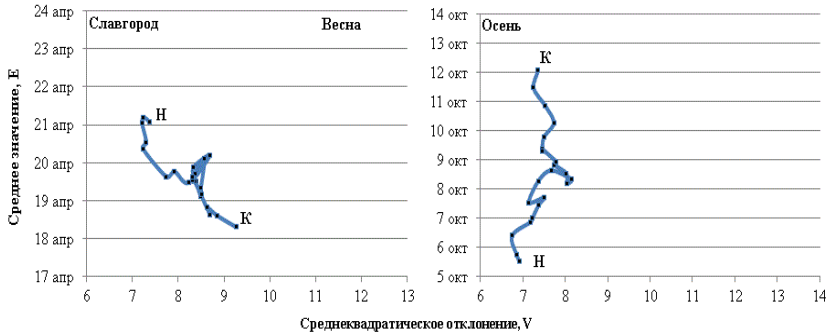


Рис. 5 – EV-диаграммы изменений центров распределения и разброса D_5 весной и осенью для скользящих 30-летних периодов с 1990 по 2012 гг. на примере станций Бакчар (а) и Славгород (б) на территории юго-востока Западной Сибири (точка Н – соответствует состоянию климата за 1961–1990 гг., а точка К – состояние климата за 1983–2012 гг.)

Анализ EV-диаграмм показывает тенденцию смещения D_5 весной на более ранние сроки: в Бакчаре с 6 на 1 мая (рис. 5а) и Славгороде – с 21 на 18 апреля соответственно (рис. 5б). 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 сроков вегетации. Это следует отнести к положительным последствиям наблюдаемых изменений климата, поскольку создаются условия для внедрения культур с более длительным периодом вегетации.

Наблюдаемая тенденция изменения обеспеченностей термических ресурсов также подтверждает вывод о росте рассматриваемых термических показателей (табл. 1).

Таблица 1

Скользящие 30-летние оценки обеспеченности (%)
заданных значений современного (1983–2012 гг.) состояния $\Sigma T_{5,10}$, $P_{5,10}$ и D_5

Период осреднения	Обеспеченность, %							
	ΣT_5	ΣT_{10}	P_5	P_{10}	Бакчар		Славгород	
					D_5	D_5		
1961–1990	17,9	31,5	21,4	34,0	7,8	25,1	35,1	24,8
1966–1995	23,9	34,1	32,6	34,1	9,4	32,0	42,0	29,2
1971–2000	35,0	44,1	35,6	40,0	12,7	29,7	42,0	37,7
1976–2005	48,0	60,1	38,0	53,5	18,1	31,7	42,0	42,4
1982–2011	52,1	63,8	48,0	63,0	19,3	42,8	44,8	52,6
1983–2012	2240 °C	1909 °C	166 дня	123 дня	01.05	30.09	18.04	12.10

Действительно, если современная (на 2012 г.) ΣT_5 , равная в среднем 2240 °C в 1990–1995 гг. наблюдалась около двух раз за 10 лет, то к 2011 г. этот показатель повысился в три раза – с 17,9 до 52,1 %. Аналогичным образом повторяемость ΣT_{10} равная 1909 °C, возросла к 2010 г. в два раза с 31,5 до 63,8 %. Вероятность современных $P_{5,10}$ и D_5 так же возросли (табл. 1).

Особое внимание в настоящем исследовании уделяется анализу трендов за период с 1976 года, в большей мере характеризующих антропогенное влияние на современный климат. Летом существенных положительных изменений температуры воздуха не наблюдается, в отличие от весны, для которой скорость изменения составляет 0,2–0,8 °C/10 лет и осени – 0,3–0,7 °C/10 лет. 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.

Таблица 2

Средние скорости изменения (тренды) характеристик термического режима
на территории юго-востока Западной Сибири за 1976–2012 гг.

Станции		зима	весна	лето	осень	ΣT_5	ΣT_{10}	P_5	P_{10}
		°C/10 лет							сутки/10 лет
Барнаул	Алтайский край	-0,7*	0,2*	0,2	0,5	71	59	4*	0
Бийск		-0,8*	0,6	0,2	0,3	79	44	3	0
Камень-на-Оби		-0,7*	0,7*	0,2	0,5	67	35	4*	0
Славгород		-0,4	0,6*	0,1	0,6*	67	56	5*	3
Рубцовск		-0,7*	0,7*	0,2	0,4	60	57	4*	3
Ребриха		-0,5	0,8*	0,0	0,7	61	27	4*	0
Новосибирск	Новосибирская обл.	-0,5	0,8*	0,2	0,5	60	20	4*	0
Барабинск		-0,4	0,8*	0,1	0,6*	69	41	4*	3
Татарск		-0,4	0,7*	0,1	0,4	43	47	4*	3
Северное		-0,4	0,8*	0,1	0,5	62	57	4*	4
Омск	Омская обл.	-0,3	0,7*	0,1	0,7*	63	59	6*	3
Русская Поляна		-0,3	0,9*	0,1	0,7*	55	48	6*	3
Тара		-0,4	0,6*	0,0	0,6	71	39	6*	4
Первомайское	Томская обл.	-0,7*	0,7*	0,2	0,4	62	92	5*	4
Томск		-0,5	0,7*	0,1	0,5	54	76	5*	3
Бакчар		-0,5	0,7*	0,0	0,5	34	39	5*	4
Кемерово		-0,5	0,8*	0,2	0,4	66	75	4*	0
Регион		-0,5	0,7*	0,1	0,5*	61	49	4*	2

Примечание: «жирным» шрифтом выделены тенденции, которые имеют высокую степень достоверности при превосходстве 5%-го уровня значимости статистики Стьюдента; * – персистентные временные ряд по Хёрсту ($H > 0,5$)

Отмеченное активное потепление в весенне-осенний период сказывается на увеличении теплообеспеченности. Как показывают расчеты, оценки трендов P_{10} положительны на большей территории исследования и составляют 3–4 дня/10 лет, при этом за последние 36 лет в юго-восточном районе не претерпела изменений. Ещё с большей скоростью увеличивается P_5 – от 3 до 6 дней/10лет и в среднем по региону составляет 4 дня/10 лет (более недели за период с 1976 г.), что позволяет отдавать предпочтение к выращиванию более позднеспелых сортов кукурузы, яровой пшеницы и подсолнечника. На территории исследования ΣT_5 увеличивается со скоростью – от 34 до 79 °C/10 лет. Оценки скорости изменения (трендов) ΣT_{10} , как основной характеристики теплообеспеченности сельскохозяйственных культур показывают рост на

территории исследования от 27 до 92 °C/10 лет (табл. 2). Рост теплообеспеченности сельскохозяйственных культур в течение вегетации в целом являются благоприятными факторами, который может способствовать повышению продуктивности сельского хозяйства в регионе исследования (табл. 2).

2. 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.

Рассматриваемые показатели увлажнения: $R_{5,10}$ – сумма атмосферных осадков за период календарного года со среднесуточной температурой, превышающей 5 и 10 °C; $ГТК$ – гидротермический коэффициент Г. Т. Селянинова, характеризующий соотношения изменений температуры воздуха и количества выпавших атмосферных осадков за период активной вегетации.

Проанализирована 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 (рис. 6).

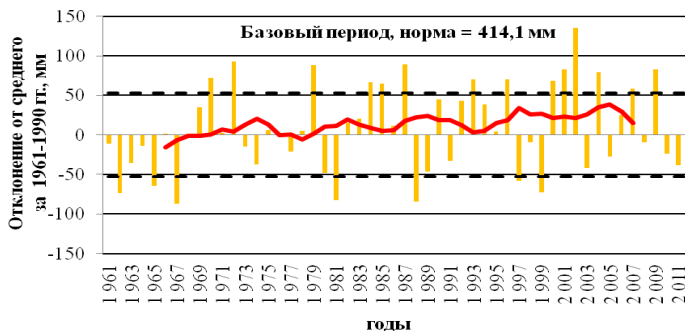


Рис. 6. Временной ход аномалий сумм атмосферных осадков на территории юго-востока Западной Сибири за период 1961–2012 гг.

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.

Анализ временной изменчивость аномалий $R_{5,10}$ за период с 1961 по 2012 гг., показывает их большую межгодовую вариабельность и заметный рост количества случаев с положительными отклонениями в девяностые годы и первом десятилетии XXI века (рис. 7).

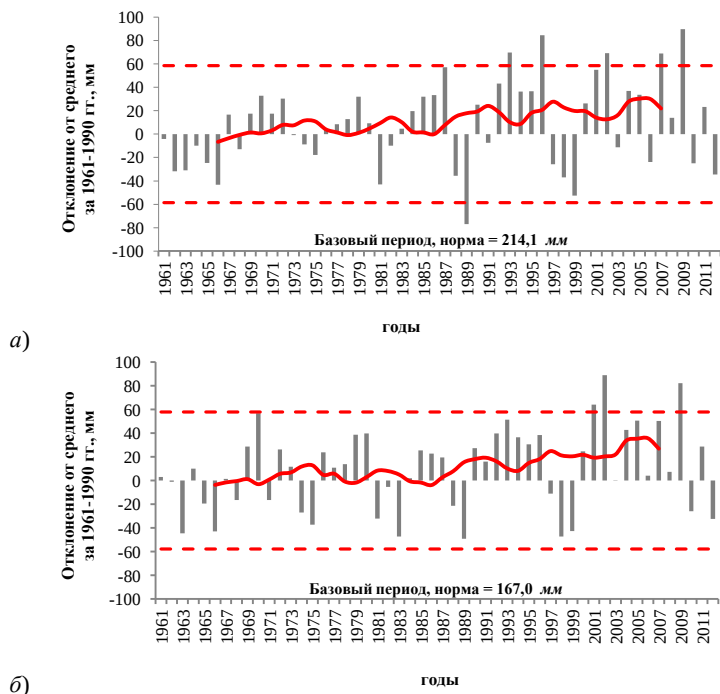


Рис. 7. Временной ход аномалий $R_{5,10}$ (а, б) на территории юго-востока Западной Сибири

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.

Если за период 1961–1990 гг. количество лет с положительными отклонениями ($\geq 2\sigma$) R_5 не наблюдалось, то в девяностые – 2, а в первом десятилетии XXI века – 3 (рис. 7а). Положительные аномалии ($\geq 2\sigma$) R_{10} стали отмечаться в XXI веке (рис. 7б).

Анализ текущих изменений показателей увлажнения с помощью метода EV-диаграмм, показывают увеличение увлажнения на юго-востоке Западной Сибири, где R_5 с 1990 по 2012 возросли от 214,1 до 231,6 мм (рис. 8а), R_{10} – с 167,0 до 182,9 мм (рис. 8б). Средние 30-летние значения $ГТК$, как характеристика, определяющая увлажнение сельскохозяйственной продукции также повысились, хотя это повышение нельзя оценить как значительное.

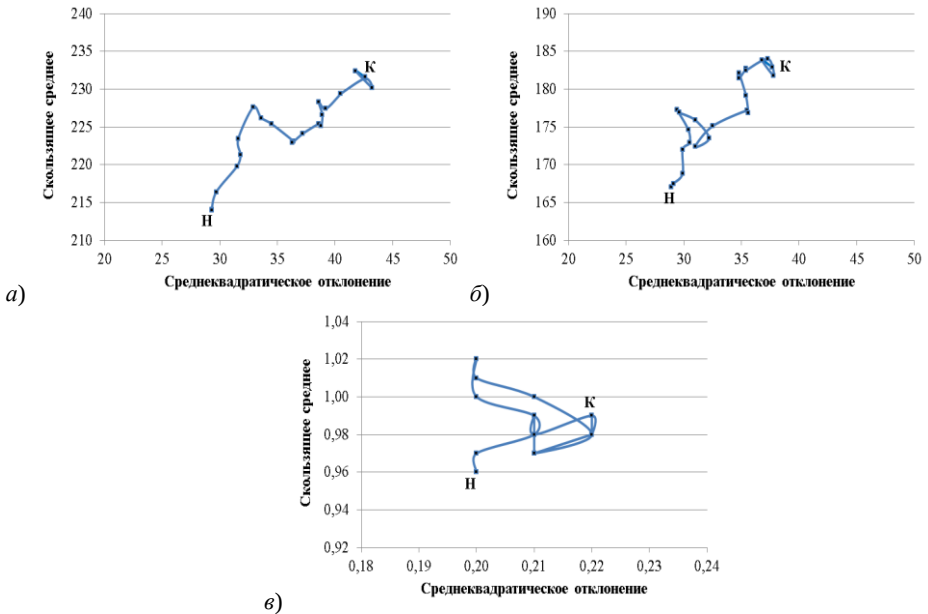


Рис. 8 – EV-диаграмма изменений центров распределения и разброса $R_{5,10}$ (а, б) и GTK (в) для скользящих 30-летних периодов с 1990 по 2012 гг. на территории юго-востока Западной Сибири (точка Н – состояние климата за 1961–1990 гг., а точка К – современное состояние климата за 1983–2012 гг.)

Отметим изменение формы функции распределения, где межгодовая изменчивость рассматриваемых показателей возросло. Особенно значителен рост σR_5 с 29,3 до 42,6 мм (на 45 %), R_{10} – с 28,9 до 37,7 мм (на 31 %).

Наблюдаемая тенденция изменения обеспеченностей характеристик увлажнения подтверждают вывод об их росте. Действительно, если современная (на 2012 г.) R_5 , равная в среднем 231,6 мм в 1990–1995 гг. наблюдалась около трех раз за 10 лет, то к 2011 г. этот показатель повысился в два раза – с 28,5 до 68,7 %. Аналогичным образом повторяемость R_{10} равная 182,9 мм, возросла к 2010 г. в два раза с 32,7 до 68,3 %, а GTK – с 45,2 до 52,1 % (табл. 3).

Таблица 3

Скользящие 30-летние оценки обеспеченности (%)
заданных значений современного (1983–2012 гг.) состояния $R_{5,10}$, GTK
и риски засухливых условий летом ($GTK_{\leq 0,6}$)

Период осреднения	Обеспеченность, %					
	R_5	R_{10}	GTK	$GTK_{\leq 0,6}$		
	231,6 мм	182,9 мм	0,99	июнь	июль	август
1961–1990	28,5	32,7	45,2	9,0	8,6	1,3
1966–1995	41,5	58,3	55,1	12,0	10,3	1,8
1971–2000	44,3	55,5	48,1	16,0	11,6	2,4
1976–2005	52,8	54,6	55,2	16,2	12,1	2,1
1982–2011	68,7	68,3	52,1	19,1	15,7	1,9

Снижение аридности климата в условиях современной волны потепления оказывает положительное воздействие на сельское хозяйство. Вместе с тем наблюдаемое увеличение климатической изменчивости режима осадков следует отнести к негативным последствиям наблюдаемых изменений климата. Это выражается в повышении риска засушливых условий на территории исследования в июне и июле. 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.

Анализ динамики характеристик увлажнения за период с 1976 по 2012 гг. указывает на пространственную их неоднородность и сложность, в отличие от тенденций термических показателей. Слабые отрицательные скорости изменения для $ГТК$ показывают, что аридность климата на территории Алтайского края, и юге Омской за последние 36 лет увеличивается. На остальной территории наблюдается положительные тренды увеличения увлажнения со скоростью 0,01–0,08 ед./10 лет. На большей территории отмечается отрицательная тенденция количества выпадающих зимних и осенних осадков. В то же время количество осадков в весенний период практически повсеместно увеличивается. Отмечается положительная тенденция летних осадков, за исключением лесостепных и степных районов Новосибирской области и Алтайского края (табл. 4).

Таблица 4

Скорости изменения (тренды) характеристик увлажнения
на территории юга Западной Сибири за 1976–2012 гг.

Станции		зима	весна	лето	осень	R_5	R_{10}	$ГТК$
		% нормы/10 лет						ед./10 лет
Барнаул	Алтайский край	0,7	1,9	0,7	3,2	0,3	0,7	-0,01
Бийск		-5,2	9,9*	-0,3	-1,4	-1,5	-0,2	-0,02
Камень-на-Оби		-2,8	4,2	-2,2	2,0	0,1	-2,2	-0,01
Славгород		-16,3*	-1,0	-4,6	-6,6	-3,1	-5,6	-0,05
Рубцовск		-13,3*	0,4	-1,3	-3,1	-0,8	-1,2	-0,02
Ребриха	Новосибирская обл.	-11,6*	4,1	2,7	-4,4	2,1	2,7	-0,01
Новосибирск		4,9	4,4	-4,1	0,0	2,2	-3,9	0,02
Барабинск		-2,3	0,8	-1,6	-3,2	0,2	-0,2	0,01
Татарск		4,3	2,1	4,5	-5,8	1,2	4,7	0,02
Северное		-5,8	7,9	11,1	-2,3	9,3	11,0	0,08
Омск	Омская обл.	-0,6	0,3	4,0	-5,2	3,4	3,9	0,02
Русская Поляна		2,9	12,5	0,0	-2,2	4,0	-0,2	-0,02
Тара		0,6	6,3	-4,5	2,6	3,3	-1,8	0,02
Первомайское	Томская обл.	1,0	4,8	1,3	3,6	2,9	4,2	0,03
Томск		3,4	9,7	2,2	1,7	6,4	6,5	0,02
Бакчар		-2,8	2,2	9,5	-2,5	8,2	9,3	0,08
Кемерово		3,3	6,8	1,1	3,6	2,4	1,8	0,03
Регион		-2,3	4,5	1,1	-1,2	2,3	1,7	0,00

Примечание: «**жирным**» выделены тенденции, которые имеют высокую степень достоверности при преобладании 5%-го уровня значимости статистики Стьюдента; * – персистентные временные ряды по Хёрсту ($H > 0,5$)

Тенденцию увеличения увлажнения в период вегетации на рассматриваемой территории подтверждают данные по $R_{5,10}$. Это выражается ростом R_5 на значительной части региона и составляет 2,3 % *нормы*/10 лет в среднем по территории. С меньшей скоростью снижается аридность за период активной вегетации, где тренд R_{10} в среднем по территории исследования составляет 1,7 % *нормы*/10 лет. Отмечается слабое увеличение аридности климата в центральных районах лесостепной и степной природной зоны со средней скоростью от -0,2 до -5,6 % *нормы*/10 лет. В преобладающем большинстве выявленные тенденции не подтверждаются статистической значимостью, поскольку данные тренды выявляются на фоне очень значительных флуктуаций с периодом несколько лет или десятилетий (табл. 4).

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

Выбор агроклиматических характеристик ($ГТК$, $\sum T_{10}$ – выборка 1961–2012 гг.) основан на классическом районировании Г. Т. Селянинова, Д. И. Шашко и С. А. Сапожниковой. Физический смысл районирования основан на математическом сходстве объектов исследования (кластерный анализ). Иерархическая классификация признакового пространства $ГТК$, и $\sum T_{10}$ методом Уорда визуально идентифицирует деление региона исследования на четыре класса, при пороговом значении d равным 2,1 (рис. 9).

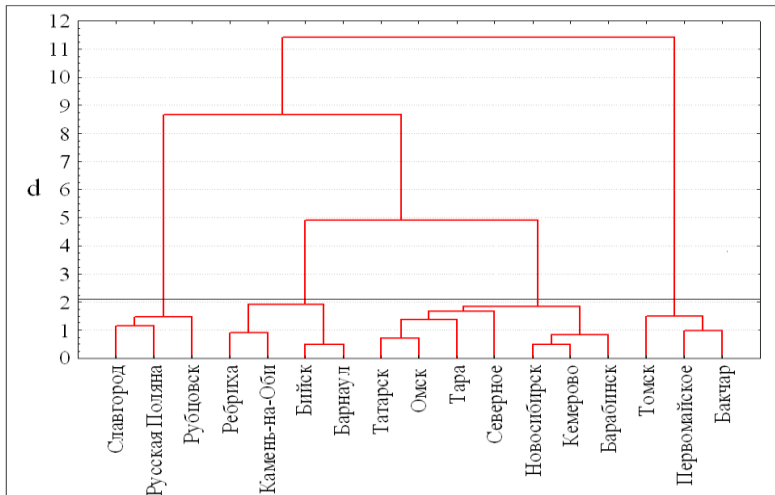


Рис. 9 – Классификация признакового пространства ($ГТК$, $\sum T_{10}$) методом Уорда

Сравнивая полученную иерархию с вариантами деления территории методом k -средних, подтверждается правильность деления региона на 4 класса, поскольку в данном делении выполняется условие, основанное на тесноте математических связей между объектами внутри классов (функционал качества) (табл. 5).

Таблица 5

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	N_k	d	N_k	d	N_k	
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	0,35		0,35		0,19		
Бийск	0,28		0,28	0,12	3	3	
Омск	0,20		0,20	0,27			
Татарск	0,27		0,27	0,29			
Барабинск	0,49		0,49	0,12			
Новосибирск	0,29		0,29	0,28			
Кемерово	0,58		0,58	0,30			
Северное	0,74		0,74	0,22			
Тара	0,38		0,38	0,23			
Первомайское	0,27	2	0,27	3	0,13	4	4
Томск	0,13		0,13		0,18		
Бакчар	0,34		0,34		0,20		

Полученные классы агроклиматических условий с помощью кластерного анализа, согласуются с внутрипоясным делением (провинции) по Т. Г. Селянинову. Так, I класс полностью относится к зоне очень засушливых степей, II – засушливая степь, III – слабо засушливая лесостепь и IV – таёжная и лесная влажная зона. Полученные классы в пространстве физически отражают увеличение условий засушливости с севера на юг (рис. 10).

На рис. 10 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 ($> 1800^\circ\text{C}$) – яровая пшеница (n), подсолнечник на зерно (p), сахарная свекла для переработки на сахар (p), кукуруза на зерно (p), фасоль (p), просо (n); II класс ($1600\text{--}1800^\circ\text{C}$) – ячмень (n), яровая пшеница (c), кукуруза в фазе вымётывания (c), сахарна свекла на корм; III класс ($1400\text{--}1600^\circ\text{C}$) – овёс (p), ячмень (c, n), яровая пшеница (c), кукуруза (c) в фазе

вымётывания, сахарна свекла на корм; IV класс (1200–1400 °C) – ячмень (*р*), горох (*р*), лён на волокно (*р*), ячмень (*с*).



Рис. 10 – Агроклиматические особенности юго-востока Западной Сибири, полученное с помощью иерархического кластерного анализа (*р* – ранние, *с* – средние, *п* – поздние сорта)

Карты-схемы на рис. 11 показывают, что относительно базового периода (1961–1990 гг.), за последнее десятилетие границы агроклиматических классов претерпели существенные изменения. Резко сократилась зона IV класса, соответствующая лесной влажной зоне. Слабо засушливая лесостепная (III класс) зона существенно продвинулась к северу. Условия степной засушливой зоны (II класс) также расширяются и распространяются к северу, вплоть до центральных районов Новосибирской и Омской областей. Очень

засушливые степи (I класс) Казахстана получили распространение вплоть до южных районов Новосибирской области.

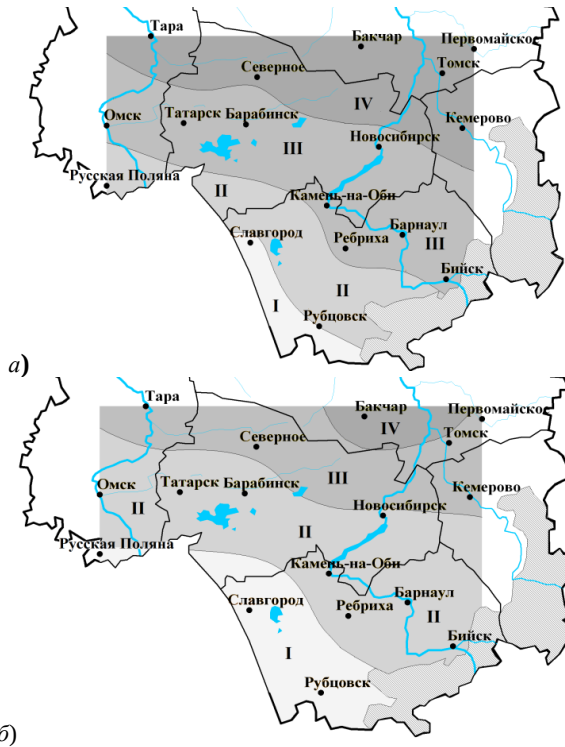


Рис. 11 – Схема сравнения границ классов, полученных за 1961–1990 гг. (а) и за период 2003–2012 гг. (б)

Таким образом, наблюдаемые изменения границ агроклиматических классов, в целом благоприятны для сельского хозяйства юго-востока Западной Сибири. В большей степени это связано с расширением II и III классов, которые ассоциируются устойчивым и высокопродуктивным земледелием, где возможно эффективное зерновое хозяйство.

4. 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.

Случай волнового потепления отвечал следующим условиям: непрерывный отрезок временного ряда длиной ≥ 5 дней; отсутствие атмосферных осадков; 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). По данным ВНИИСХМ, уязвимый (критический) период развития «выход в трубку – колошение» на территории исследования приходится на 25 мая – 10 июля.

Анализ результатов показал, что климатическая повторяемость общего количества волн за критический период жизни растений колеблется в пределах от 6 (Барабинск, Новосибирск, Русская Поляна и Ребриха) до 18 случаев (Тара). Вклад волн тепла, за последние 13 лет составляет 11–67 % (рис. 12).

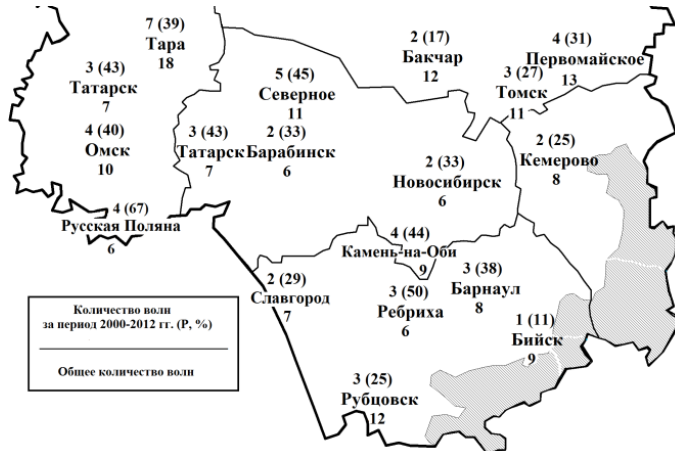


Рис. 12 – Карта-схема распределения повторяемости волн тепла на территории юго-востока Западной Сибири в критический период жизни ранних яровых зерновых культур (Р – повторяемость волн за период 2000–2012 гг., %)

Данные табл. 6 показывают, что в исследуемый период (1961–2012 гг.) волны тепла, имеющие большой региональный охват ($\geq 50\%$ территории) наблюдаются с периодичностью раз в три года. С помощью агроклиматических ежегодников, удалось провести качественный анализ состояния посевов ранних яровых зерновых культур (закрашенные ячейки).

В период действия волны состояние посевов ухудшалось до удовлетворительного, а в отдельные годы и до плохого. Характер повреждений носил однотипный 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 ($П$) 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 (табл. 6). Представленные типы ЭЦМ в табл. 6 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.

Таблица 6

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 волн: умеренная ($1.25 \sigma \leq I < 2.0 \sigma$), сильная ($2.0 \sigma \leq I < 2.5 \sigma$); П – продолжительность волн, ЭЦМ – элементарный циркуляционный механизм, приводящий к возникновению волны тепла по Б. Л. Дзердзеевскому

Заключение

1. Выявлено, что на фоне современной волны потепления, существенные положительные аномалии рассматриваемых характеристик теплообеспеченности и увлажнённости ($\geq 2\sigma$) концентрируются в последний двадцатилетний отрезок времени.

2. Расчёты линейных трендов рассматриваемых агроклиматических показателей за современную волну потепления (с 1976 г.) показывают, что статистически значимые положительные тенденции связаны только с температурой воздуха весны, осени и продолжительности периода со среднесуточной температурой воздуха, превышающей 5°C .

3. Исследование текущих изменений с помощью EV-диаграмм, показал, что продолжительность периода со среднесуточной температуры воздуха выше 5°C возрастает: даты перехода показывают смещение на 5-13 дней в сторону более поздних сроков осенью и на 4-6 дней раньше обычных сроков весной, что приводит к росту теплообеспеченности данного периода.

4. Выявлено, что количество выпавших осадков за вегетационный период возрастает, что нельзя сказать о балансе влаги по ГТК, который с 1976 г. не претерпел существенных изменений. Повышение межгодовой изменчивости режима осадков следует отнести к негативным последствиям, что выражается в повышении риска засушливых условий 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.

6. Подбор признаков при проведении кластерного анализа, 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.

Основные результаты исследования отражены в публикациях автора:

Статьи в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК:

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

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

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

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

Публикации в научных изданиях:

5. **Поляков Д.В.,** Кужевская И.В. Использование иерархического кластерного анализа для целей исследования режим тепло-влагообеспеченности // Региональные эффекты глобальных климатических изменений в XXI веке (причины, последствия, прогнозы): Материалы международной научной конференции. – Воронеж: Изд-во Научная книга, 2012. – С.528–532.
6. **Поляков Д.В.** Особенности гидротермического режима в период активной вегетации на территории юга Западной Сибири Климатология и гляциология Сибири: Материалы международной научно-практической конференции. – Томск: Изд-во ТГУ, 2012. – С. 214–216.
7. **Поляков Д.В.,** Кужевская И.В. Использование кластерного анализа для целей исследования гидротермического режима юга Западной Сибири // Климатология и гляциология Сибири: Материалы международной научно-практической конференции. – Томск: Изд-во ТГУ, 2012. – С. 216–219.
8. **Поляков Д.В.,** Кужевская И.В. Циркуляционные особенности формирования гидротермического режима юга Западной Сибири // Климатология и гляциология Сибири: Материалы международной научно-практической конференции. – Томск: Изд-во ТГУ, 2012. – С. 219–220.
9. **Поляков Д.В.,** Кужевская И.В. Применение кластерного анализа для оценки температурно–влажностных условий в период активной вегетации на территории юга Западной Сибири // Состав атмосферы. Атмосферное электричество. Климатические эффекты: Сборник материалов 16-й международной научной конференции. – М.: Изд-во РАН, 2012. – С. 102–104.
10. **Поляков Д.В.,** Кужевская И.В. Связь опасных атмосферных засух и гидротермического режима на юге Западной Сибири в XX веке с макроциркуляционными процессами // Региональные проблемы гидрометеорологии и мониторинг окружающей среды: Материалы международной научной конференции. – Казань: Изд-во Казанского (Приволжского) федерального университета, 2012. – С. 185–186.
11. **Поляков, Д.В.,** Барашкова Н.К., Кужевская И.В. Аномальный погодный режим лета 2012 года на территории Томской области // X Сибирское совещание по климато-экологическому мониторингу: Материалы Российской конференции / Под. Ред. М.В. Кабанова. – Томск: Аграф-Пресс, 2013. – С. 120–122.
12. **Polyakov D.V.,** Barashkova N.K., Kuxhevskaya I.V. Weather and climate description of anomalous summer 2012 in Tomsk region // Russian Meteorology and Hydrology, Springer, 2014, No 1 P. 22–28.

СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

ВВЕДЕНИЕ

1 НАБЛЮДАЕМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА И ИХ ВЛИЯНИЯ НА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЕ ПРОИЗВОДСТВО

1.1 Агроклиматические ресурсы

1.1.1 Термические ресурсы

1.1.2 Ресурсы увлажнения

1.1.3 Районирование агроклиматических ресурсов

1.2 Природное зонирование юго-востока Западной Сибири

1.2.1 Специфика сельского хозяйства

2 ОЦЕНКИ СОВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ АГРОКЛИМАТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ ЮГО-ВОСТОКА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

2.1 Материалы и методы исследования

2.1.1 Исходные данные

2.1.2 Рассматриваемые агроклиматические характеристики

2.1.3 Используемый метод пространственной интерполяции агроклиматических характеристик

2.1.4 Методы, используемые в статистической обработке агроклиматических характеристик

2.2 Тенденции современных изменений термических ресурсов

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

3 ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КЛАСТЕРНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ЦЕЛЕЙ АГРОКЛИМАТИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ ТЕРРИТОРИИ

3.1 Метод проводимого исследования

3.2 Результаты исследования

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

4.1 Метод идентификации волн тепла и алгоритм исследования

4.2 Результаты исследования

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ И ЛИТЕРАТУРЫ

ПРИЛОЖЕНИЕ