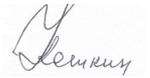


На правах рукописи



Кошкин Дмитрий Александрович

**ДИНАМИКА ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ
НА ТЕРРИТОРИИ ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ**

25.00.30 – метеорология, климатология, агрометеорология

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Иркутск – 2012

Работа выполнена в Институте географии им. В.Б. Сочавы Сибирского отделения Российской академии наук

Научный руководитель: кандидат географических наук, доцент
Кочугова Елена Александровна

Официальные оппоненты: доктор географических наук, профессор
Воробьев Валерий Игоревич

кандидат географических наук
Мирвис Виктория Михайловна

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение «Санкт-Петербургский государственный университет»

Защита состоится 14 марта 2012 г. в 11 часов на заседании совета по защите докторских и кандидатских диссертаций Д 327.005.01 при федеральном государственном бюджетном учреждении «Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова» по адресу: 194021, г. Санкт-Петербург, ул. Карбышева, д. 7, зал заседаний.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке ФГБУ «Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова».

Автореферат разослан «10» февраля 2012 г.

Ученый секретарь совета по защите
докторских и кандидатских диссертаций,
доктор географических наук

А. Мещер

Мещерская А.В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Изучение климатических изменений целесообразно проводить для экстремальных явлений погоды и даже для аномальных лет и сезонов, которые в совокупности с изменением средних величин можно рассматривать как естественные модели климатических ситуаций. Непосредственно наблюдаемые погодные и климатические экстремумы являются более информативными, чем средние характеристики. Средние нуждаются в дополнительной интерпретации: в учете соотношения периода осреднения, оценке дисперсий и т.п. Хотя экстремальные явления погоды и связаны с малыми вероятностями, они обладают большей изменчивостью, и нередко с ними связан ощутимый социально-экономический ущерб. Ущерб, наносимый экстремальными гидрометеорологическими явлениями, по оценкам ООН, составляет 70 % суммарного ущерба от воздействия природных катастроф и стихийных бедствий (Оценочный доклад..., 2008). Значительная часть от этих сумм приходится на атмосферные стихийные явления в России.

Вклад естественных наук в изучение стихийных бедствий и природных катастроф состоит в углубленном исследовании экстремальных состояний природной среды. В разных географических районах климатические экстремумы проявляются по-разному. В одно и то же время в одних регионах можно наблюдать сильнейшую засуху, тогда как в других – обильные осадки. И даже в пределах одного региона климатические изменения проявляют себя по-разному в различные сезоны года.

Для лучшего понимания механизмов климатических изменений на региональном уровне необходимы более детальные оценки тенденций различающихся по чувствительности к разным факторам климатических характеристик во времени и их пространственные обобщения.

Цель работы – исследование региональных проявлений изменения климата на территории Иркутской области, оцениваемых по значениям трендов индексов экстремальности приземной температуры воздуха и осадков.

Основные задачи и этапы исследования

- Составить перечень экстремальных климатических показателей. Выбрать статистические методы исследования для оценки состояния и изменения климата.
- Сформировать базу данных индексов экстремальности климата, привлекая данные наблюдений и материалы архива NCEP/NCAR Reanalysis.
- Исследовать тенденции изменения индексов экстремальности во времени.
- Обобщить по пространству показатели временной динамики индексов экстремальности.
- Показать возможные причины изменений во времени отдельных климатических индексов экстремальности.

Научная новизна работы

- Впервые описано пространственное распределение особенностей межгодового и сезонного изменения климатических показателей экстремальности температурного режима и режима осадков на территории Иркутской области.

- В рамках рассматриваемых временных периодов (1947–1976 гг. и 1977–2006 гг.) с учетом характеризующей их различной скорости потепления обнаружена территориальная неоднородность поля долговременного тренда показателей экстремальности температуры воздуха и осадков в Иркутской области.
- Впервые показаны региональные изменения отдельных климатических показателей экстремальности температуры воздуха на территории Иркутской области в связи с изменениями циркуляции атмосферы, в том числе Азиатского антициклона, с количественной оценкой их вклада в изменение климатических показателей экстремальности.
- Предложена авторская компьютерная программа расчета доли экстремально холодного и теплого времени года.

Основные положения, выносимые на защиту

- База данных климатических показателей экстремальности.
- Пространственно-временные закономерности изменений климатических показателей экстремальности на территории Иркутской области за период с 1947 по 2006 гг.
- Оценка вклада Арктической осцилляции и Азиатского антициклона в изменения минимальных температур воздуха на рассматриваемой территории.

Научная и практическая значимость работы. Полученные результаты могут быть полезны при оценке вклада региональной составляющей как части глобальных климатических изменений. Полученная в работе база данных по климатологии индексов экстремальности может быть применена в качестве обновленных справочных материалов при климатических описаниях территории области, для анализа наиболее холодных и наиболее теплых периодов года. Автоматизированная методика расчета доли экстремально холодного и теплого времени года внедрена в работу отдела метеорологических прогнозов, а также отдела климата Иркутского ГМЦ. Изложенные в диссертации теоретические и методические положения использованы в учебном процессе при подготовке метеорологов в Иркутском государственном университете в рамках курса «Региональная климатология».

Достоверность результатов расчетов, представленных в работе, подтверждается большим объемом и качеством используемого фактического материала данных наблюдений и архива NCEP/NCAR Reanalysis, оценками статистической значимости результатов, а также их апробацией на различных конференциях и семинарах.

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих конференциях, совещаниях и семинарах:

- Научно-практическая конференция студентов и аспирантов «Ресурсы Байкальского региона: освоение, состояние, экологические проблемы» (Иркутск, ИГУ, 2005 г.);
- Научно-теоретическая конференция молодых ученых (Иркутск, ИГУ, 2006 г.);
- VII сибирское совещание по климато-экологическому мониторингу (Томск, 2007 г.);

- XIII научное совещание географов Сибири и Дальнего Востока (Иркутск, ИГ СО РАН, 2007 г.);
- International Conference on environmental observations, modeling and information systems "Enviromis" (Tomsk, 2008);
- III Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «Научное творчество XXI века» (Красноярск, 2010 г.);
- Семинар на заседании Ученого совета Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН (Иркутск, 2010 г.);
- Всероссийская конференция с международным участием «Физика окружающей среды» (Томск, 2011 г.);
- Семинар отдела прикладной климатологии ФГБУ «ГГО» (Санкт-Петербург, 2011 г.);
- Семинар кафедры климатологии и мониторинга окружающей среды СПбГУ (Санкт-Петербург, 2011 г.);
- Результаты также докладывалась на семинарах в Ливерпульском университете (Великобритания) (Liverpool University, Faculty of Science and Engineering), где автор прошел обучение в магистратуре по направлению «Изменения окружающей среды и климатические изменения» («MSc in Environment and Climate Change») в 2008–2009 гг.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 10 печатных работ, в том числе 2 статьи – в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК.

Личный вклад автора. Автор принимал непосредственное участие в постановке задач, сборе, обработке материала, расчетах и интерпретации полученных результатов. Автор является разработчиком компьютерной программы расчета доли экстремально холодного и теплого времени года.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, трёх глав, заключения, списка использованных источников и приложений. Общий объем работы составляет 199 страниц, 57 рисунков, 27 таблиц и 41 приложение. Библиографический список включает 130 наименований (в том числе 32 – иностранных).

Автор выражает искреннюю благодарность и глубокую признательность научному руководителю Елене Александровне Кочуговой, к.г.н., доценту кафедры метеорологии и охраны атмосферы Иркутского государственного университета, без поддержки и неоценимой помощи которой работа была бы невозможна. Многолетнее и плодотворное сотрудничество с Еленой Александровной вдохновило автора на научный и творческий поиск, позволило подготовить и выпустить в свет ряд совместных работ и докладов.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** формулируются основные цели и задачи диссертации, актуальность выбранной темы, научная новизна, практическая ценность работы, выдвинуты основные положения, выносимые на защиту, приведены другие сведения о работе, ее объеме и структуре.

В **первой главе** приведен подробный литературный обзор современных работ о пространственно-временной структуре климатических показателей экстремальности в XX веке на земном шаре и территории РФ, в частности ряда отечественных (Булыгина, Груза, Киктев, Шмакин, Попова, Платова, Шерстюков и др.) и зарубежных климатологов (Alexander, New, Folland, Karl и др.).

Во **второй главе**, посвященной материалам информационного обеспечения и методам решения задач, описаны фактические базы данных климатологической информации, полученные в процессе работы над кандидатской диссертацией для территории Иркутской области. Использовался банк данных по температуре приземного воздуха и осадкам суточного разрешения для 6 станций с периодом наблюдений с 1936 по 2006 гг., созданный во ВНИИГМИ-МЦД (<http://www.cliware.meteo.ru/>). Этот массив исходных данных был дополнен архивом NCEP/NCAR Reanalysis для максимальных и минимальных температур за период с 1950 по 2007 гг. (Kalnay et al., 1996). Данные суточного разрешения за этот период снимались с регулярной сетки банка NCEP/NCAR Reanalysis (шаг сетки массива данных – $1,875^\circ$ по широте и $3,75^\circ$ по долготе). Использовались данные в узлах регулярной сетки, ближайших к 15 отобраным станциям (<http://www.esrl.noaa.gov/>). Данные месячного разрешения за инструментальный период наблюдений по экстремальным температурам и осадкам 30 метеорологических станций Иркутской области взяты из таблиц метеорологических станций ТМС архивного фонда Иркутского межрегионального территориального управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды.

Также дана подробная физико-географическая карта-схема расположения метеорологических станций; показано, что Иркутская область с резко континентальным климатом вызывает особый научный интерес с позиции исследования экстремальных климатических показателей. Приведено описание ряда индексов атмосферной циркуляции, в том числе Азиатского антициклона, введены определения рассматриваемых климатических показателей, включая индексы экстремальности климата, описана методика их расчета.

Рассмотрены методы статистической обработки полученных временных рядов и оценки достоверности результатов. Для определения уровня значимости и угловых коэффициентов описан и применен тест Манна-Кендалла (Mann-Kendall test) и непараметрический метод оценивания наклона Сена (Sen slope estimator). Эти методы являются надежными с точки зрения резко выделяющихся значений (всплесков) и отсутствующих данных (лакун) и не требуют нормального распределения данных. Так как тренды в рядах экстремальных значений метеовеличин практически всегда оцениваются на базе скудной статистики, вопросы робастности и статистической значимости результатов приобретают здесь особое значение.

Циклические колебания во временных рядах метеорологических параметров исследовались с применением Фурье-анализа. Кроме того, в работе использовалось вейвлет-преобразование (wavelet analysis). В отличие от преобразования Фурье вейвлет-анализ более соответствует специфике нестационарных явлений.

В настоящей работе использовались климатические показатели экстремальности (как характеристики экстремальных свойств климата на годовом отрезке времени), разработанные в 1999 г. и рекомендованные экспертной группой по обнаружению климатических изменений, мониторингу и индексам при Комиссии по климатологии ВМО (<http://www.clivar.org/>) (табл. 1).

Таблица 1

Описание климатических показателей экстремальности (Karl et al., 1999)

Обозначение	Название	Определение	Ед. изм.
Температура воздуха			
<i>FD</i>	Число дней с морозом	Количество дней в году с минимальной температурой <i>TN_n</i> ниже 0 °С	дни
<i>SU</i>	Число жарких дней	Количество дней в году с максимальной температурой <i>TX_x</i> выше 25 °С	дни
<i>ID</i>	Число дней со льдом	Количество дней в году с максимальной температурой <i>TX_x</i> ниже 0 °С	дни
<i>TX_x</i>	Годовой максимум температуры воздуха	Ежегодно наблюдаемая предельно высокая суточная температура воздуха; самый жаркий день в году	°С
<i>TN_x</i>	Максимальное значение летнего минимума температуры воздуха	Верхний предел суточной минимальной температуры воздуха летом; самая теплая летняя ночь в году	°С
<i>TN_x'</i>	Максимальное значение зимнего минимума температуры воздуха	Верхний предел суточной минимальной температуры воздуха зимой, самая теплая зимняя ночь	°С
<i>TX_n</i>	Минимальное значение зимнего максимума температуры воздуха	Нижний предел суточной максимальной температуры воздуха зимой; самый холодный зимний день в году	°С
<i>TX_n'</i>	Минимальное значение летнего максимума температуры воздуха	Нижний предел суточной максимальной температуры воздуха летом, самый холодный летний день	°С
<i>TN_n</i>	Годовой минимум температуры воздуха	Ежегодно наблюдаемая предельно низкая суточная температура; самая холодная ночь в году	°С
<i>TN10_p</i>	Повторяемость холодных ночей в году	Годовая доля суток с минимальными температурами (<i>TN_n</i>) ниже 10 % процентиля ежесуточного распределения минимальных температур за базовый период 1961–1990 гг.	% (дни)
<i>TX10_p</i>	Повторяемость холодных дней в году	Годовая доля суток с максимальными температурами (<i>TX_x</i>) ниже 10 % процентиля ежесуточного распределения максимальных температур за 1961–1990 гг.	% (дни)
<i>TN90_p</i>	Повторяемость теплых ночей в году	Годовая доля суток с минимальными температурами (<i>TN_n</i>) выше 90 % процентиля ежесуточного распределения минимальных температур за базовый период 1961–1990 гг.	% (дни)
<i>TX90_p</i>	Повторяемость теплых дней в году	Годовая доля суток с максимальными температурами (<i>TX_x</i>) выше 90 % процентиля ежесуточного распределения максимальных температур за базовый период 1961–1990 гг.	% (дни)

Продолжение таблицы 1

<i>WSDI</i>	Индекс продолжительности экстремально теплых периодов	Годовое количество последовательных (≥ 6) теплых дней, когда держалась экстремально жаркая погода, включающая значения максимальной температуры T_{Xx} выше 90 % перцентиля	дни
<i>CSDI</i>	Индекс продолжительности экстремально холодных периодов	Годовое количество последовательных (≥ 6) холодных ночей, когда держалась экстремально холодная погода, включающая значения минимальной температуры T_{Nn} ниже 10 % перцентиля	дни
<i>DTR</i>	Амплитуда суточного хода температуры воздуха	Суточная разница максимальной и минимальной температур	$^{\circ}\text{C}$
<i>GSL</i>	Продолжительность вегетационного периода	Годовое число дней между первым периодом со средней суточной температурой $T > 5^{\circ}\text{C}$ в течение ≥ 6 последовательных суток и первым периодом после 1 июля ≥ 6 последовательных суток со средней суточной температурой $T < 5^{\circ}\text{C}$ (для зерновых культур)	дни
<i>Атмосферные осадки</i>			
<i>R1d</i>	Максимальная сумма осадков за сутки	Максимальное количество осадков в году, выпавших за сутки	мм
<i>R5d</i>	Максимальная пентадная сумма осадков	Максимальное в году количество осадков, выпавших за последовательные пять суток (индекс выявляет ситуации, ассоциируемые с возникновением дождевых паводков)	мм
<i>SDII</i>	Суточный индекс интенсивности осадков	Отношение годовой суммы осадков к числу дней с осадками (≥ 1 мм/сутки) в году	мм/сутки
<i>R10mm</i>	Число суток с осадками ≥ 10 мм/сутки	Количество дней в году с суточной суммой осадков <i>R1d</i> не менее 10 мм	дни
<i>R20mm</i>	Число суток с осадками ≥ 20 мм/сутки	Количество дней в году с суточной суммой осадков <i>R1d</i> не менее 20 мм	дни
<i>CDD</i>	Максимальная продолжительность сухих периодов	Максимальное число последовательных сухих дней в году (с осадками < 1 мм/сутки)	дни
<i>CWD</i>	Максимальная продолжительность влажных периодов	Максимальное число последовательных влажных дней в году (с осадками ≥ 1 мм/сутки)	дни
<i>R95p</i>	Сумма сильных осадков	Годовая сумма сильных осадков (выше 95 % перцентиля распределения суточных осадков за 1961–1990 гг. в общем годовом количестве осадков)	мм
<i>PRCPTOT</i>	Количество осадков	Годовая сумма осадков	мм

В **третьей главе** излагаются результаты исследования динамики экстремальных климатических показателей на территории Иркутской области.

В первом разделе главы сопоставляются данные наблюдений и архива NCEP/NCAR Reanalysis по минимальным и максимальным температурам приземного воздуха как исходным для расчета всех остальных индексов экстремальности по температуре. Выполненное сравнение, в целом, свидетельствует о большом сходстве трендов экстремальных температур, рассчитанных по фак-

тическим наблюдаемым данным и материалам архива NCEP/NCAR Reanalysis, а следовательно, NCEP/NCAR Reanalysis отражает реальный процесс изменения температуры. Наиболее близкие совпадения расчетов NCEP/NCAR Reanalysis с фактическими данными наблюдаются в ходе минимальных температур, где коэффициент корреляции указанных рядов превышает 0,60. Также следует отметить, что величина трендов минимальных температур, рассчитанных по архиву NCEP/NCAR Reanalysis, в среднем примерно на 0,3 °C/10 лет меньше аналогичных, основанных на фактических наблюдениях; для максимальных температур, – наоборот, завышенными (приблизительно на 0,07 °C/10 лет) по сравнению с расчетами на основе стационарных наблюдений (табл. 2).

Таблица 2

Тренды в рядах годовых минимальных T_{Nn} и максимальных T_{Xx} температур (°C/10 лет) на отдельных станциях Иркутской области* по данным наблюдений и расчетов NCEP/NCAR Reanalysis и оценка их соответствия

Индекс	Станция	Временной период	По данным наблюдений	По архиву NCEP/NCAR	Корреляция рядов
			(°C/10 лет)	(°C/10 лет)	
			1950–2006 гг.	1950–2007 гг.	1950–2006 гг.
T_{Nn}	Ербогачен		0,84	0,48	0,62
	Киренск		0,85	0,53	0,63
	Нижнеудинск (АМСГ)		0,88	0,69	0,73
	Иркутск		1,29	0,90	0,61
T_{Xx}	Ербогачен		0,24	0,26	0,44
	Киренск		0,24	0,25	0,61
	Нижнеудинск (АМСГ)		0,42	0,32	0,68
	Иркутск		0,30	0,28	0,57

*Жирным указаны тренды и коэффициенты, статистически значимые на уровне 5 %

Расчеты по архиву NCEP/NCAR Reanalysis не отражают реального изменения в режиме осадков. Статистически значимый коэффициент корреляции многолетнего хода годовой суммы осадков в Иркутске, рассчитанный по данным наблюдений и архиву NCEP/NCAR, составил 0,38. Но уравнения регрессии и значения годовой суммы осадков сильно различаются (в 1968 г. – 1299 мм по архиву NCEP/NCAR и 420 мм по данным наблюдений) (рис. 1). Изменения в режиме осадков выявлялись с помощью индексов экстремальности, которые были посчитаны для отдельных станций на базе данных наблюдений.

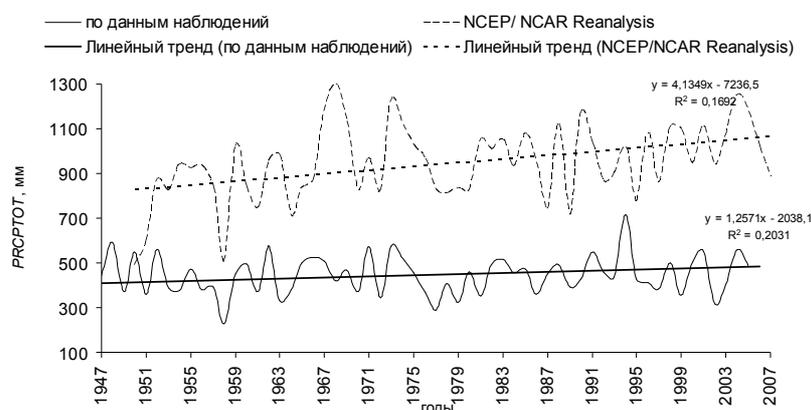


Рис. 1. Динамика многолетнего хода годовой суммы осадков ($PRCPTOT$) в Иркутске, построенного по данным наблюдений и архиву NCEP/NCAR Reanalysis

Во втором разделе рассмотрен термический режим Иркутской области в терминах индексов экстремальности температуры воздуха. В работе использовалось специализированное районирование территории Иркутской области. На территории области специалистами ИУГМС принято выделять пять районов с характерными климатическими особенностями (Северный, Западный, Центральный, Верхне-Ленский, Южный).

Анализ минимумов температуры воздуха показал, что в 77 % случаев интервал экстремально низких температур TNn изменяется от -54 до -40 °С, и только в 16 % случаев они опускаются ниже -55 °С. Сравнивая два периода 1947–1976 гг. и 1977–2006 гг., отметим, что после 1977 г. доля низких температур (ниже -47 °С) уменьшилась с 50 до 34 % по территории Иркутской области.

Анализ кусочно-линейного тренда минимумов температуры воздуха за период с 1947 по 1976 гг. указывает на тенденцию к потеплению. Это выражается в повышении минимальных температур, которые изменяются со скоростью от 0,01 °С/год (Верхняя Гутара, 1947–1976) до 0,27 °С/год (Усть-Уда, 1947–1976) (рис. 2, а). Максимальная скорость изменения температуры отмечена в центральной части исследуемой территории, минимальная – в северной. Скорость потепления в центральной части Иркутской области уменьшилась в 1,5–2 раза, например, на станции Усть-Уда (0,27 °С/год до 1970-х гг. и 0,11 °С/год после 1970-х гг.), в Максимово (0,12 °С/год; 0,05 °С/год), на станции Зима (0,13 °С/год; 0,04 °С/год соответственно). Другой особенностью линейных трендов минимальной температуры после 1970-х гг. является более интенсивное повышение минимальных температур на севере рассматриваемой территории. Здесь скорость роста минимальных температур увеличилась на 0,10 °С/год (Ербогачен) и 0,16 °С/год (Наканно). В западном и высокогорном районах Иркутской области отмечается монотонная и устойчивая тенденция роста минимальной температуры. Но на фоне общего положительного тренда отмечены годы с аномально холодными зимами (2000–2001 и 2005–2006 гг.). Следует отметить, что после 1990-х гг. сильно опустились годовые минимальные температуры (и возросли годовые максимальные температуры). Особенно ярко эта тенденция просматривается на станции Иркутск, что представляется несомненным связать с усилением антициклонического режима зимой (и летом) после 1990-х гг. (рис. 2, а, б).

Анализ показателей экстремальности, ассоциируемых с холодом, показал существенные изменения их пространственных распределений для различных климатических районов Иркутской области. Скорость потепления увеличивается с севера рассматриваемой территории на юг. Это выражено в росте минимальных суточных температур TNn (характеризующих температуру ночного времени суток) в среднем на 0,68 °С/10 лет, росте минимальных значений максимумов температуры воздуха TXn (характеризующих температуру самого холодного дня в году) в среднем на 0,57 °С/10 лет, сокращении числа дней со льдом ID . Следует отметить, что сокращение числа дней с морозом FD наблюдалось повсеместно на территории Иркутской области со скоростью $-2,0... -2,3$

дн./10 лет, на севере области – менее интенсивно (–1,2 дн./10 лет). Повторяемость холодных дней $TX10p$ уменьшается со скоростями –0,89, –0,82, –0,72, –0,67 %/10 лет в Южном, Центральном, Западном и Северном климатических районах соответственно (табл. 3).

Таблица 3

Регионально осредненные коэффициенты трендов α_{tr} показателей экстремальности, ассоциируемых с холодом, с учетом климатического районирования Иркутской области (по материалам NCEP/NCAR Reanalysis – 1950-2007 гг.)

Район \ Индекс	TNn , годовой минимум (°C/10 лет)	TXn , мин. значение зимнего максимума (°C/10 лет)	ID , число дней со льдом (дн./10 лет)	FD , число дней с морозом (дн./10 лет)	$TX10p$, повторяемость холодных дней (%/10 лет)	$TN10p$, повторяемость холодных ночей (%/10 лет)
Северный	0,43	0,40	–1,4	–1,2	–0,67	–0,57
Западный	0,58	0,51	–1,6	–2,2	–0,72	–0,79
Центральный и Верхне-Ленский	0,67	0,67	–1,6	–2,0	–0,82	–
Южный	1,02	0,68	–2,4	–2,3	–0,89	–1,10

Найденные пороговые значения температуры воздуха, оцениваемые из функции распределения по уровню 0,90 и 0,10 за базовый период 1961–1990 гг., позволяют оценить, какую температуру следует считать аномально холодной для каждого месяца на каждой станции, т.е., считать пороговым значение температуры воздуха, соответствующее: $TX10p$ и ниже – аномально холодным днем, $TN10p$ и ниже – аномально холодной ночью. Например, аномально холодным днем в июле считается день с максимальной температурой ниже 19,2 °C (станция Бодайбо) или ниже 18,8 °C (станция Иркутск). Аномально холодной ночью в январе считать ночь с минимальной температурой ниже –44,7 °C (станция Бодайбо) или ниже –32,1 °C (станция Иркутск). Следует отметить, что такие оценки следует проводить, привлекая базы данных фактических наблюдений. По расчетам NCEP/NCAR Reanalysis можно судить только о тенденциях, но не о самих величинах (табл. 4).

Таблица 4

Значения температурных порогов, соответствующих 10 % процентилю ежесуточного распределения максимальных (TXx) и минимальных температур (TNn), за базовый период данных наблюдений 1961–1990 гг. ($TX10p$ и ниже – аномально холодный день, $TN10p$ и ниже – аномально холодная ночь)

	Ербогачен						Жигалово					
	ХII	I	II	VI	VII	VIII	ХII	I	II	VI	VII	VIII
$TX10p$	-38,9	-39,8	-33,4	13,3	18,3	13,5	-31,4	-33,8	-25,7	15,8	20,0	15,9
$TN10p$	-47,9	-49,6	-49,5	-0,2	3,3	0,4	-41,2	-44,6	-42,2	0,0	5,6	3,0
	Бодайбо						Нижнеудинск					
	ХII	I	II	VI	VII	VIII	ХII	I	II	VI	VII	VIII
$TX10p$	-36,6	-38,2	-32,0	15,0	19,2	15,9	-22,6	-24,3	-19,4	15,6	18,9	15,9
$TN10p$	-42,5	-44,7	-42,8	2,2	6,9	5,0	-34,8	-38,3	-37,6	2,2	6,7	3,7
	Киренск						Иркутск					
	ХII	I	II	VI	VII	VIII	ХII	I	II	VI	VII	VIII
$TX10p$	-35,1	-36,7	-30,0	15,2	18,8	15,8	-20,8	-21,8	-17,8	16,0	18,8	16,1
$TN10p$	-45,0	-46,6	-45,4	2,0	7,3	4,4	-30,7	-32,1	-31,5	3,9	8,4	5,7

Анализ максимумов температуры воздуха показал, что после 1976 г. наблюдается ускорение роста максимальных температур TXx , однако зависимость от широты в распределении трендов максимальных температур воздуха TXx по региону выявить не удалось. Над территорией исследования поле коэффициентов трендов имеет многоочаговую структуру (рис. 2, б).

За всю историю инструментальных наблюдений максимумы температуры воздуха TXx изменялись от 22 °С до 40 °С. Предельно высокая температура в Иркутской области была зафиксирована на станции Усть-Уда в 1996 г. и составила 40 °С. Максимальные годовые температуры TXx , возможные 1 раз в 20 лет, лежат в пределах от 28 °С в районе побережья озера Байкал (станция Солнечная) до 38 °С (станция Бодайбо Патомского нагорья). Самыми жаркими на исследуемой территории являются центральные районы Иркутской области (станция Жигалово) и Патомского нагорья (станции Бодайбо, Мама), для которых характерны температуры 36...38 °С; для высокогорий Восточного Саяна – до 38 °С (станция Алыгджер), Хамар-Дабана – до 32 °С. После 1970-х гг. доля экстремально высоких температур (выше 33 °С) возросла с 39 до 47%.

Анализ показателей экстремальности приземного воздуха, ассоциируемых с теплом, показал, что в их изменениях преобладала тенденция к увеличению. Это выражено в росте максимальных суточных температур TXx (характеризующих температуру дневного времени суток) в среднем на 0,41 °С/10 лет, росте максимальных значений минимумов температуры воздуха TNx (характеризующих температуру самой теплой ночи в году) – на 0,29 °С/10 лет (табл. 5).

Таблица 5

Регионально осредненные коэффициенты трендов α_{tr} показателей экстремальности, ассоциируемых с теплом, с учетом климатического районирования Иркутской области (по материалам NCEP/NCAR Reanalysis – 1950-2007 гг.)

Район \ Индекс	TXx , годовой максимум (°С/10 лет)	TNx , макс. значение летнего минимума (°С/10 лет)	$WSDI$, продолжительность жарких периодов (дн./10 лет)	SU , число жарких дней (дн./10 лет)	$TX90p$, повторяемость теплых дней (%/10 лет)	$TN90p$, повторяемость теплых ночей (%/10 лет)
Северный	0,43	0,29	0,75	0,80	0,96	1,13
Западный	0,48	0,36	1,17	1,05	0,86	1,65
Центральный и Верхне-Ленский	0,26	0,21	0,63	-0,41	0,71	0,96
Южный	0,47	0,28	0,92	0,19	1,10	1,59

Известно, что степень неблагоприятного воздействия высоких температур воздуха определяется не столько достижением температуры критических пределов, сколько длительностью их воздействия. В таблице 5 приводятся тенденции продолжительности теплых периодов $WSDI$, в которые ≥ 6 дней подряд держалась экстремально жаркая погода (включающая значения максимальной температуры выше 90 перцентиля ежесуточного распределения максимальных температур за базовый период 1961–1990 гг.). Индекс $WSDI$ увеличился в среднем на 0,87 дн./10 лет. Наиболее интенсивное увеличение $WSDI$ отмечено в За-

падном климатическом районе (1,17 дн./10 лет). Следует также отметить, что увеличилась повторяемость теплых дней $TX90p$ (в среднем на 0,91 % /10 лет с максимальным очагом роста 1,10 % /10 лет в Южном климатическом районе) и увеличилась повторяемость теплых ночей $TN90p$ (в среднем на 1,33 %/10 лет с максимальным очагом роста 1,65 % /10 лет в Западном районе). Индекс, характеризующий тенденцию числа жарких дней в году SU , показывает неоднозначные результаты. Западный район подвержен наиболее интенсивным изменениям индексов экстремальности, ассоциируемых с теплом (табл. 5).

По аналогии с определением аномально холодного дня и аномально холодной ночи по показателям $TX10p$ и $TN10p$, были найдены пороговые значения $TN90p$ (аномально теплая ночь) и $TX90p$ (аномально теплый день). Так, аномально теплой ночью в январе, например, считается ночь с минимальной температурой выше $-21,8$ °С (Бодайбо) или выше $-14,6$ °С (Иркутск). Аномально теплым днем в июле считается день с максимальной температурой выше $32,0$ °С (Бодайбо) или выше $28,9$ °С (Иркутск) (табл. 6).

Таблица 6

Значения температурных порогов, соответствующих 90 % процентиллю ежесуточного распределения максимальных температур (TXx) и минимальных температур (TNn), за базовый период данных наблюдений 1961–1990 гг. ($TN90p$ и выше – аномально теплая ночь, $TX90p$ и выше – аномально теплый день)

Ербогачен							Жигалово					
	ХII	I	II	VI	VII	VIII	ХII	I	II	VI	VII	VIII
$TN90p$	-19,2	-21,7	-20,1	11,4	14,1	12,0	-17,2	-22,6	-19,4	12,0	15,0	13,1
$TX90p$	-9,3	-11,7	-8,3	28,5	30,2	26,4	-7,1	-10,8	-5,7	30,0	30,3	28,0
Бодайбо							Нижнеудинск					
	ХII	I	II	VI	VII	VIII	ХII	I	II	VI	VII	VIII
$TN90p$	-17,8	-21,8	-20,2	12,0	15,5	13,6	-12,7	-17,1	-15,0	12,3	14,6	13,0
$TX90p$	-9,5	-12,8	-9,7	30,2	32,0	28,5	-2,3	-5,2	-0,4	28,7	29,0	26,6
Киренск							Иркутск					
	ХII	I	II	VI	VII	VIII	ХII	I	II	VI	VII	VIII
$TN90p$	ХII	I	II	VI	VII	VIII	-11,5	-14,6	-14,2	12,8	15,5	14,0
$TX90p$	-14,7	-17,6	-18,1	12,7	15,8	13,5	-2,7	-6,1	-1,8	28,9	28,9	26,7

Вследствие активного повышения годовых минимумов TNn отмечается интенсивное уменьшение амплитуды суточного хода температур DTR ($-0,15$ °С/10 лет для станции Иркутск).

В третьем разделе анализ продолжительности сезонов года показал, что даты перехода среднесуточных температур подвержены сильным колебаниям. С начала 1960-х гг. зима на большей части Иркутской области стала наступать позднее средней многолетней даты, представленной в справочнике по климату, а период средних суточных температур выше 10 °С (летний сезон) в последние годы сместился в сторону более поздних дат. Продолжительность вегетационного периода GSL растет в среднем на 1,5 дн./10 лет за счёт увеличения времени между переходом температуры воздуха через 5 °С весной и осенью (табл. 7).

Таблица 7

Оценка коэффициентов линейных трендов α_{tr} (дн./10 лет)* индекса продолжительности вегетационного периода GSL , стандартной ошибки углового коэффициента S_α , граничного уровня значимости p и вкладов R^2 (%) тренда в полную дисперсию рядов GSL на отдельных станциях Иркутской области

Станция \ Временной период	По данным наблюдений, (1947–2006 гг.)				По материалам NCEP/NCAR Reanalysis (1950–2007 гг.)			
	α_{tr}	S_α	p	R^2	α_{tr}	S_α	p	R^2
Ербогачен	2,21	0,87	0,014	11	1,78	0,88	0,039	7
Киренск	0,47	0,84	0,672	1	1,19	0,88	0,247	3
Нижнеудинск	1,06	1,02	0,366	2	1,08	1,04	0,374	2
Иркутск	1,65	1,01	0,107	5	2,36	1,01	0,012	9

* Жирным указаны тренды, статистически значимые на уровне 5 %

В четвертом разделе рассмотрены тенденции изменений климатических индексов экстремальности, которые характеризуют режим атмосферного увлажнения Иркутской области. Пространственно-временная динамика экстремумов осадков очень сложна. Например, исследования имеющихся временных рядов суточных сумм за весь рассматриваемый период показал, что на территории области возрастает число дней с интенсивным выпадением осадков. Сравнительный анализ двух временных периодов (1947–1976 гг. и 1977–2006 гг.) также показал, что после 1970-х гг. повторяемость суточных максимумов осадков $R1d$ увеличилась на большинстве рассматриваемых станций, особенно хорошо данная тенденция выражена в теплый период. Зимой повторяемость сильных осадков возросла только на станциях Ербогачен и Мама. Годовая сумма атмосферных осадков $PRCPTOT$ за теплый сезон увеличилась с регионально осредненной скоростью 4,35 мм/10 лет для года в целом. Для суточных максимумов осадков $R1d$ характерна 2–4, 5–7, 9–11 и 16–17-летняя автоколебательная цикличность. В рядах суточного индекса интенсивности осадков $SDII$ статистически значимые тренды по рассматриваемой территории не выявлены. Интерпретируя данные по числу дней с осадками не менее 10 мм, отметим, что $R10mm$ достаточно полно отражает как число дней с осадками вообще, так и число дней с обильными осадками. Число таких дней имеет тенденцию к увеличению с наветренной стороны орографических препятствий, аналогично годовому количеству осадков $PRCPTOT$ в целом. Неоднозначные результаты получены при анализе изменений сумм сильных осадков $R95p$ в их общем годовом количестве, которые приходятся на экстремальные суточные суммы осадков с вероятностью непревышения 5 %. Нужно отметить тенденции к согласованному росту максимальной продолжительности влажных периодов CWD (с регионально осредненной скоростью 0,14 дн./10 лет) по территории исследования и одновременные тенденции к уменьшению максимальной продолжительности сухих периодов CDD (с регионально осредненной скоростью –1,59 дн./10 лет). Но не во всех случаях выявленные тенденции подтверждаются статистической значимостью. В силу этого, а также детального анализа отдельных индексов экстремальности атмосферных осадков можно отметить некоторые тенденции перехода к более влажному климату до 2006 г.

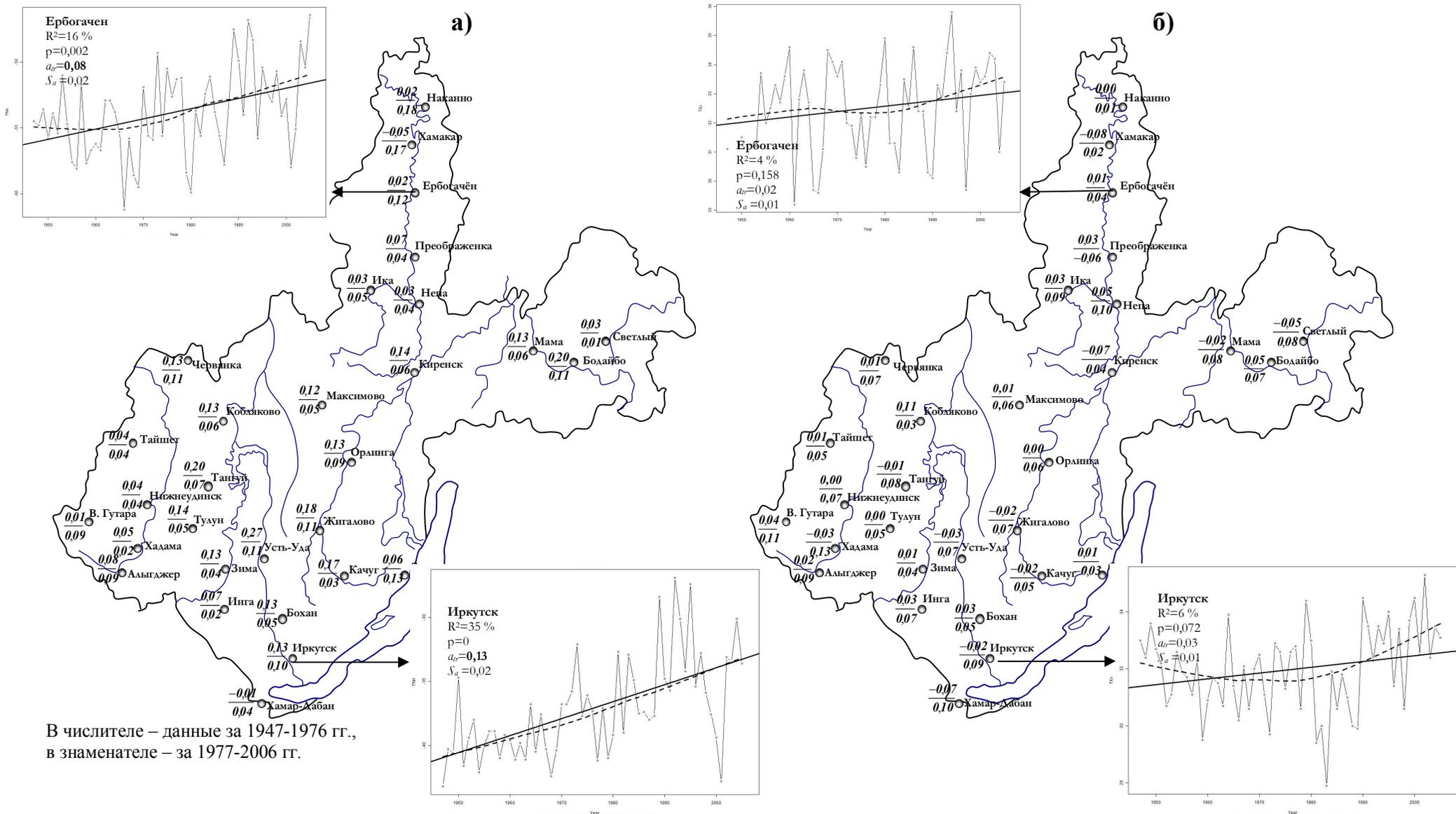


Рис. 2. Распределение скорости изменения **а)** годового минимума температуры воздуха (TNn), °C/год, **б)** годового максимума температуры воздуха (TXx), °C/год на территории Иркутской области (по данным наблюдений)

В пятом разделе рассмотрена связь отдельных экстремальных климатических показателей с изменениями атмосферной циркуляции.

Представляется несомненным, что изменения экстремальных температур наиболее вероятно связаны с изменениями атмосферной циркуляции, например, минимальные температуры, равно как и повторяемость холодных дней/ночей находятся под влиянием Азиатского антициклона (*SHI*) и зимней Арктической осцилляции (*AO*). Кроме того, существует вероятность, что зимняя планетарная *AO* сама влияет на Азиатский антициклон опосредованно через динамические процессы. Показано, что если наблюдается ослабление Азиатского антициклона, то зимняя *AO* находится в своей положительной фазе. Если же Азиатский антициклон усиливается, *AO* наблюдается в своей отрицательной фазе.

Полученные методами гармонического анализа периодичности в рядах индексов циркуляции (*AO*, *NAO*) и Азиатского антициклона (*SHI*) характерны и для вариаций минимальных температур воздуха (от 8 до 11 лет и от 15 до 18 лет) (рис. 3).

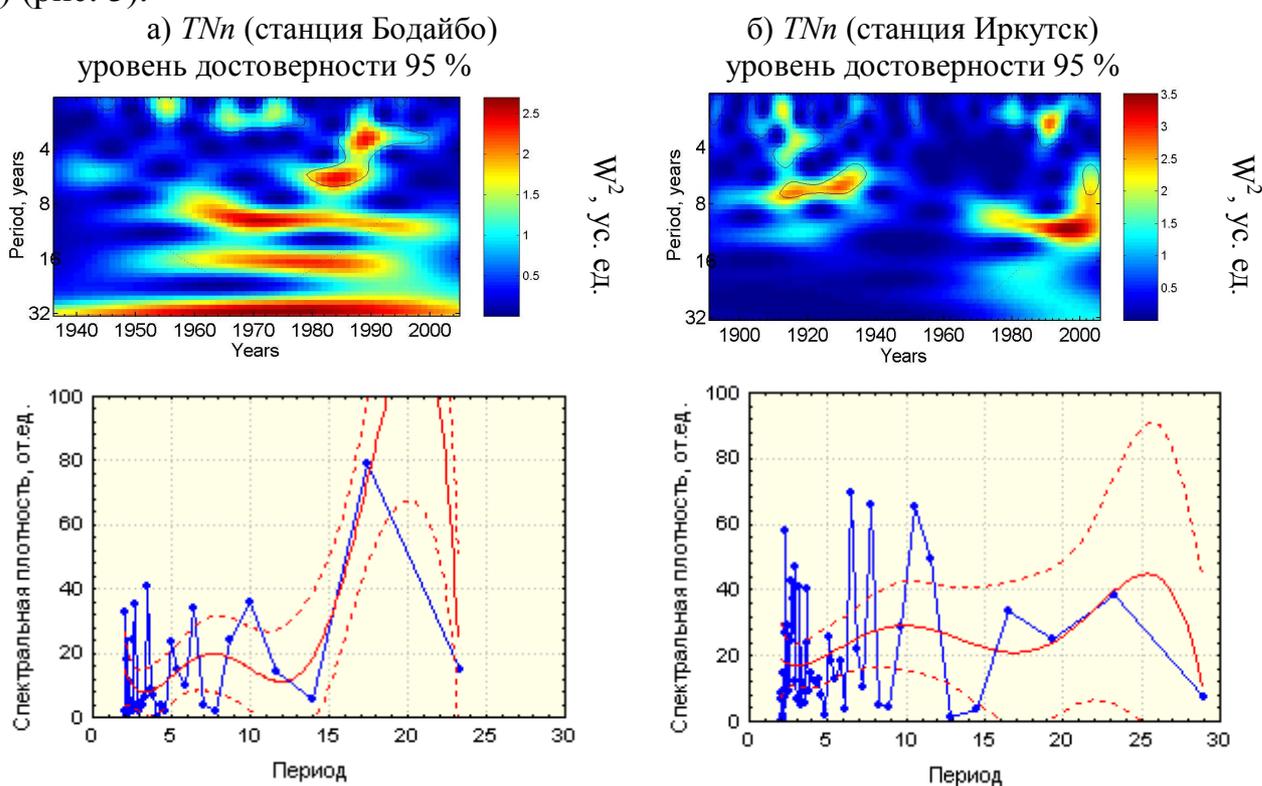


Рис. 3. Распределение плотности энергии (W^2) и спектральной плотности в зависимости от периода для годового минимума температуры воздуха *TNn* на станциях Бодайбо (1936–2006 гг.) и Иркутск (1887–2006 гг.)

Примечание: на верхней панели сплошные линии показывают уровень достоверности 95 %, на нижней панели пунктирные линии показывают пределы доверительного интервала, сплошная линия – средняя доверительного интервала

Присутствие в рядах экстремально низких температур тех же циклов, которые свойственны циркуляционным индексам, свидетельствует о необходимости детального изучения этого вопроса.

Представим минимальную температуру TNn как функцию, зависящую от индексов Азиатского антициклона SHI и Арктической осцилляции AO , и оценим тесноту совместного влияния Азиатского антициклона и Арктической осцилляции на поведение минимальных температур на станциях Иркутск и Бодайбо. Теснота связи определяется величиной коэффициента линейной множественной корреляции и детерминации. Оказалось, что для станции Иркутск $R^2 = 0,64^2 = 0,41$, т.е. 41 % суммарной дисперсии минимальных температур можно объяснить изменениями Азиатского антициклона и Арктической осцилляции; для станции Бодайбо $R^2 = 0,57^2 = 0,32$, то есть Азиатский антициклон с Арктической осцилляцией могли бы объяснить до 32 % изменчивости минимальных температур.

Вероятно, совместное действие других глобальных мод (не рассмотренных в диссертационном исследовании), а также влияние антропогенного фактора могли бы внести вклад в изменение минимальных температур TNn зимой. Однако это нуждается в дальнейшем исследовании.

Заключение

1. Сформирована база данных индексов экстремальности климата с использованием данных наблюдений и материалов архива NCEP/NCAR Reanalysis.

2. Найдены пороговые значения экстремальности температуры воздуха за базовый период 1961–1990 гг. при выбранных процентилях (90 % и 10 %) для выделения доли экстремально холодного и теплого времени года.

3. Рассчитаны и проанализированы ряды климатических показателей экстремальности на территории Иркутской области, оценены их тренды.

4. Ассоциируемые с холодом индексы экстремальности показали уменьшение повторяемости холодных дней/ночей и продолжительности экстремально холодных периодов на фоне возросших минимальных значений максимальных температур и годовых минимумов температуры воздуха в рамках рассматриваемых периодов.

Ассоциируемые с теплом индексы экстремальности показали увеличение повторяемости теплых дней/ночей и продолжительности теплых периодов, с незначительным увеличением годовых максимумов температуры воздуха и самых высоких значений минимальных температур. Вследствие активного повышения годовых минимумов TNn отмечалось интенсивное уменьшение амплитуды суточного хода температур DTR .

5. Архив NCEP/NCAR Reanalysis достаточно хорошо отражает общую качественную картину изменения фактических данных наблюдений температуры воздуха на территории Иркутской области (значимые коэффициенты корреляции $0,44 \div 0,73$), но не пригоден для оценки изменения количества осадков (коэффициент корреляции $0,38$).

6. Анализ продолжительности сезонов года показал, что зима на большей части Иркутской области стала наступать позднее средней многолетней даты, представленной в справочнике по климату, а период средних суточных температур выше $10\text{ }^\circ\text{C}$ (летний сезон) в последние годы сместился в сторону более

поздних дат. Продолжительность вегетационного периода *GSL* растет в среднем на 1,5 дн./10 лет за счёт увеличения времени между переходом температуры воздуха через 5 °С весной и осенью.

7. Выявлен переход к более влажному климату за рассматриваемый период в регионе, на что указывают тенденции к согласованному росту максимальной продолжительности влажных периодов *CWD* (с регионально осредненной скоростью 0,14 дн./10 лет) и одновременные тенденции к уменьшению максимальной продолжительности сухих периодов *CDD* (с регионально осредненной скоростью –1,59 дн./10 лет). Однако, не во всех случаях выявленные тенденции подтверждаются статистической значимостью. Годовая сумма атмосферных осадков *PRCPTOT* за теплый сезон увеличилась с регионально осредненной скоростью 4,35 мм/10 лет.

В рядах суточных максимумов осадков *R1d* выявлены характерные циклы в 2–4, 5–7, 9–11 и 16–17 лет.

8. Корреляционный анализ показал, что Азиатский антициклон вместе с Арктической осцилляцией объясняют до 41 % изменчивости годовых минимальных температур *TNn* в зимний период на территории Иркутской области.

Основные результаты исследования отражены в публикациях автора:

Статьи в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК:

1. Кочугова Е.А., Кошкин Д.А. Тенденции изменения годовых экстремумов приземной температуры воздуха на территории Иркутской области // География и природ. ресурсы. – 2010. – № 2. – С. 63–69.

2. Кошкин Д.А., Кочугова Е.А. Индикация изменения климата в терминах индексов экстремальности температуры воздуха и их связь с изменениями атмосферной циркуляции на территории Предбайкалья // Ученые записки. Электрон. научн. журн. Курского гос. ун-та. – Курск, 2011. – № 1. (17). – 8 с., зарегистрировано 01.04.2011 под № 0421100068/0035.

Публикации в научных изданиях:

3. Кошкин Д.А., Кочугова Е.А. Динамика экстремумов температуры воздуха в Иркутске за инструментальный период наблюдений // Вестник Иркутского университета. Спец. выпуск. Материалы научно-теор. конференции молодых ученых. – Иркутск, 2005. – С. 36–37.

4. Кочугова Е.А., Кошкин Д.А. Изменения климата в холодный период года в значениях экстремумов температуры воздуха // Вестник Иркутского регионального отделения Академии наук Высшей школы России. Ч. 3. – Иркутск, 2006. – С. 59–70.

5. Кочугова Е.А., Кошкин Д.А. Региональные проявления изменения климата в значениях экстремальных температур воздуха на территории России // Вестник Иркутского университета. Спец. Выпуск. Материалы научно-теор. конференции молодых ученых. – Иркутск, 2006. – С. 25–26.

6. Кошкин Д.А., Кочугова Е.А. Влияние изменений климата на продолжительность сезонов года в Иркутской области // VII Сибирское совещание по климато-экологическому мониторингу: Мат-лы рос. конф. / Под ред. М.В. Кабанова. – Томск: Аграф-Пресс, 2007. – С. 78–80.

7. Игнатов А.В., Балыбина А.С., Густокашина Н.Н., Кичигина Н.В., **Кошкин Д.А.**, Максютова Е.В., Трофимова И.Е. Поиск и моделирование закономерностей гидрологических и климатических процессов на территории Сибири // Материалы XII научного Совещания географов Сибири и Дальнего Востока. Т. 1. – Иркутск: Изд-во Ин-та географии СО РАН, 2007. – С. 140–141.

8. **Koshkin D.A.**, Kochugova E.A. Trends of extreme annual temperatures over Predbaikalie // International Conference on environmental observations, modeling and information systems "Enviromis". – Tomsk, Russia, June, 28–July, 5, 2008. – P. 87–88.

9. **Кошкин Д.А.**, Кочугова Е.А. Сезонные особенности и тенденции изменений индексов экстремальности осадков на севере Иркутской области // В мире научных открытий. – Красноярск: Изд-во «Научно-инновационный центр», 2010. – № 6 (1). 12. – С. 324–326.

10. **Кошкин Д.А.** Изменение продолжительности сезонов года и вегетационного периода в Иркутской области на фоне современных изменений климата // Мат-лы всерос. конф. с межд. участ., посв-ой 50-летию первого полета человека в космос и 75-летию регулярных исследований ионосферы в России. – Томск: Томское Университетское изд-во, 2011. – С. 113–117.