

*На правах рукописи*

Чередыко Наталья Николаевна

**ОЦЕНКА ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ СТРУКТУРЫ  
КЛИМАТИЧЕСКОЙ КОМПОНЕНТЫ И МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ  
РИСКОВ ГЕОСИСТЕМЫ АЛТАЙСКОГО РЕГИОНА**

Специальность: 25.00.36 – геоэкология (науки о Земле)

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата географических наук

Томск – 2012

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки «Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН» (г. Томск), в лаборатории геоинформационных технологий

**Научный руководитель:** кандидат географических наук, доцент  
**Кусков Аркадий Игнатьевич**

**Официальные оппоненты:** **Севастьянов Владимир Вениаминович**,  
доктор географических наук, доцент, ФГБОУ  
ВПО «Национальный исследовательский  
Томский государственный университет»,  
профессор кафедры метеорологии и  
климатологии  
**Сухова Мария Геннадьевна**,  
доктор географических наук, доцент, ФГБОУ  
ВПО «Горно-Алтайский государственный  
университет», профессор кафедры геоэкологии и  
природопользования

**Ведущая организация:** ФГБУ науки «Институт географии  
им. В.Б. Сочавы» СО РАН (г. Иркутск).

Защита состоится 28 мая 2012 г. в 14.30 часов на заседании диссертационного совета Д 212.267.19 на базе ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский государственный университет» по адресу: 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36, ауд. 119.

С диссертацией можно ознакомиться в Научной библиотеке Томского государственного университета.

Автореферат разослан 27 апреля 2012 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета



Савина Наталья Ивановна

## Общая характеристика работы

**Актуальность работы.** Существование и развитие современной цивилизации подчинены свойствам среды обитания, экологическое состояние которой характеризуется состоянием отдельных компонент экосистемы планеты. Задача диагноза, генезиса и прогноза изменений климатической компоненты геосистем различного масштаба – важнейшая глобальная экологическая проблема, так как природные ресурсы каждого региона зависят в той или иной определяющей степени от состояния климата. В представляемой работе климат рассматривается как важнейший природный ресурс Алтайского региона, сельскохозяйственная и рекреационная специализации которого определяют актуальность исследования неблагоприятных явлений, связанных с колебаниями тепло-влажностного режима территории. Опасные явления природы предотвратить на современном уровне развития науки невозможно, но знание вероятности их возникновения позволяет минимизировать риски, связанные с ними. Управление рисками – важнейшая технология современной цивилизации, сведение к минимуму негативных последствий природных процессов и природопользования является одной из основных целей геоэкологии. Оценка климатических ресурсов позволяет оценивать эколого-климатический потенциал территории, эффективное использование которого – важнейшая основа устойчивого развития любого региона.

К изучению климата Алтая в своих работах обращались В.В. Сапожников, М.В. Тронов, В.С. Ревякин, Б.М. Кривоносов, А.П. Сляднев, К.И. Попова, М.Г. Сухова, Т.Д. Модина, А.В. Егорина, Н.Ф. Харламова, Н.А. Кочева, В.В. Севастьянов и другие авторы. Однако, несмотря на технический прогресс и развитие знаний об окружающем нас мире, до сих пор не получено общепринятой оценки климатических тенденций и причин, их вызывающих. Регулярное обновление информации о климатических ресурсах региона делает различные сферы экономики более гибкими к их изменениям.

**Цель работы** – выявление закономерностей пространственно-временной структуры климатической компоненты геосистемы Алтайского региона с учетом периодичностей, скрытых в динамике температурно-влажностного режима, и оценка степени подверженности территории метеорологическим рискам.

Достижение поставленной цели потребовало решения следующих **задач**:

– произвести отбор методов обработки инструментальных данных и составить алгоритм комплексной оценки пространственно-временной структуры полей температуры и осадков, как важнейших элементов климата Алтайского региона;

– исследовать структуру рядов наблюдений и выявить основные особенности динамики температуры воздуха, количества осадков и их составляющих, оценить синхронность изменений во времени;

- провести классификацию с целью выявления однородных в смысле климатических изменений районов, характеризующихся наибольшей связностью исходных полей температуры и осадков и их составляющих;
- выявить периодичности в динамике температуры и осадков на станциях региона и привести возможные причины их формирования, получить прогноз температурных тенденций в регионе на основе выявленных закономерностей;
- получить характеристики климатических рисков, определить степень подверженности ими исследуемой территории.

**Материалы и методы исследования.** Объектом исследования являются закономерности динамики климатических процессов, происходящих над территорией Алтайского края и Республики Алтай, объединенных в данной работе под общим названием – Алтайский регион.

В работе использованы данные измерений температуры воздуха и количества атмосферных осадков (суточного, месячного и годового разрешения) 35 станций региона за 1961-2010 гг. Большая часть расчетов проведена с использованием авторских программ, написанных на языках программирования QBASIC и Fortran совместно с руководителем. Используются пакеты программ (Excel, Mesosaur, Statistica, Surfer), включающие в себя стандартные методы обработки рядов наблюдений на основе математической статистики, с использованием корреляционно-регрессионного, гармонического анализов, графических методов. Значимость полученных оценок проверялась путем расчета стандартных критериев. Для классификации использован пакет программ, разработанный доцентом кафедры общей физики Томского государственного педагогического университета канд. физ.-мат. наук С.Г. Катаевым.

**Научная новизна.** Впервые для Алтайского региона:

- сформирован алгоритм комплексной оценки пространственно-временной структуры параметров климата, рассчитаны и картированы основные характеристики полей температуры и осадков с учетом данных за последние годы;
- выявлена смена знака долговременных тенденций изменения температуры, получены три типа зависимости амплитуды годового хода температуры от средней температуры, позволяющие объяснять характеристики сезонных трендов;
- оценена синхронность изменения параметров климата, проведена классификация полей температуры и осадков, позволившая выделить естественные области с однотипными климатическими изменениями, учет чего способствует оптимизации природопользования;
- выявлено, что доминирующими в изменениях температуры на станциях региона являются 20- и 9-летние циклы, в рядах сумм осадков на большинстве станций ведущими являются 6- и 8-летние циклы; на основе выявленных закономерностей получен фоновый прогноз температурных тенденций;

– получен прогноз климатических рисков для различных районов региона с использованием простой цепи Маркова и оценена степень подверженности им территории с помощью предложенного автором индекса.

**Основные положения, выносимые на защиту:**

1. Изменения климатических показателей в Алтайском регионе происходят синхронно, наибольшая сопряженность изменчивости наблюдается внутри районов, соответствующих выделенным классам в полях температуры и осадков.

2. Колебания климата Алтайского региона формируются под влиянием циклических процессов с периодами 6-9, 20, 60 лет; полученные закономерности позволяют продвинуться в решении задач долгосрочного прогнозирования состояния компонент геоэкологической системы территории.

3. Наиболее значимыми по повторяемости и по воздействию на социально-хозяйственные сферы региона являются метеорологические риски, связанные с отрицательными экстремумами температуры в холодное полугодие и с периодами без осадков продолжительностью более 10 дней в теплое полугодие.

**Практическая значимость работы.** Выявленные закономерности могут способствовать оптимизации использования сельскохозяйственных, рекреационных ресурсов и рационального природопользования, выработке мер адаптации к климатическим изменениям и метеорологическим рискам различных отраслей экономики региона. Экстраполяция выявленной цикличности климата региона может использоваться в прогнозе систематических смен направления климатических тенденций. Результаты работы могут быть использованы в качестве справочных материалов. Полученные результаты могут быть рекомендованы для использования в учебном процессе при подготовке специалистов в области гидрометеорологии, географии, геоэкологии, а также при анализе климатических изменений других регионов.

Работа выполнена при финансовой поддержке базового проекта фундаментальных исследований (ФИ) СО РАН №7.10.1.2. «Развитие информационно-измерительных технологий для мониторинга и моделирования атмосферных, гидросферных и литосферных процессов в геосистеме Сибири», являющегося составной частью программы № 7.10.1. ФИ РАН, Проекта 10 «Комплексный мониторинг современных климатических и экосистемных изменений в Сибири» Программы 4 Президиума РАН, Проекта VII.63.1.2. «Развитие информационно-измерительных технологий и разработка алгоритмов многомерного анализа для мониторинга и моделирования природно-климатических изменений» ФИ СО РАН и гранта РФФИ № 09-05-01077-а «Особенности болотообразовательного процесса на юге лесной зоны Западной Сибири как отклик на континентальность климата».

**Обоснованность и достоверность** полученных в работе результатов обусловлена большим объемом анализируемых данных, корректным комплексным использованием современных методов и средств математического аппарата, сравнением полученных результатов с выводами других авторов, удовлетворительным согласованием модельных данных с фактическими.

**Личный вклад автора.** Автором при участии руководителя поставлены цели и задачи исследования. Самостоятельно сформирован алгоритм действий, проведены расчеты и анализ пространственно-временной структуры приземных полей температуры, осадков и климатических рисков в Алтайском регионе, проведена классификация, предложен показатель оценки подверженности территории метеорологическим рискам. Отбор методов исследования, создание и тестирование программного обеспечения проведены при непосредственном участии автора.

**Апробация работы.** Основные и промежуточные результаты исследований по теме диссертационной работы докладывались на конференциях российского и международного статуса: на Седьмом, Восьмом и Девятом Сибирских совещаниях по климато-экологическому мониторингу (Томск, ИМКЭС СО РАН, 2007-2011), III и VI Международных симпозиумах "Контроль и реабилитация окружающей среды" (Томск, ИМКЭС СО РАН, 2002, 2008), Всероссийской научной конференции с международным участием «Окружающая среда и устойчивое развитие регионов: новые методы и технологии исследований» (Казань, КГУ, 2009), Всероссийской конференции, посвященной 100-летию профессора О.А.Дроздова (Санкт-Петербург, СПбГУ, 2009), Всероссийской научной конференции «Теоретические и прикладные вопросы современной географии» (Томск, ТГУ, 2009), VII Всероссийском симпозиуме «Контроль окружающей среды и климата» (Томск, ИМКЭС СО РАН, 2010), Всероссийской Молодежной научной конференции «Актуальные вопросы географии и геологии» (Томск, ТГУ, 2010), XVII Международном симпозиуме «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы» (Томск, ИОА СО РАН, 2011).

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 23 печатных работ, в том числе 5 в реферируемых журналах, рекомендованных ВАК РФ.

**Структура и объем диссертационной работы.** Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы, включающего 407 отечественных и зарубежных источников, и приложения. Объем диссертации составляет 147 страниц текста, приложение занимает 19 страниц.

Автор выражает признательность научному руководителю к. г. н. А. И. Кускову. Благодарность за внимание, поддержку, рекомендации и замечания автор выражает руководителю ИМКЭС СО РАН д.ф.-м. н. В.А. Крутикову, доцентам кафедры метеорологии и климатологии ТГУ к.г.н. М.А. Волковой, и к.г.н. Г.Г. Журавлеву, всем сотрудникам кафедры метеорологии и климатологии ТГУ, с.н.с. ЛГИТ ИМКЭС СО РАН к.б.н. Ю.И. Прейс, Ю.С. Трофимову, с.н.с. ЛФКС ИМКЭС СО РАН к.ф.-м.н. С.В. Смирнову.

## Содержание работы

**Во Введении** обосновывается актуальность проблемы, излагаются цели и задачи, сформулированы основные защищаемые положения, представлены научная новизна и практическое значение исследования.

**В Главе 1** приведен обзор исследований по изменениям климата в глобальном и региональном масштабах, отражены основные особенности их пространственной неоднородности. Приведены гипотезы о причинах, вызывающих эти изменения. Приведен обзор исследований по проблеме метеорологических рисков. **Глава 2** посвящена характеристике материалов и описанию методов исследования. **В Главе 3** оценены климатические тенденции в Алтайском регионе с учетом новейших данных, степень синхронности изменения элементов климата и проведена классификация полей температуры и осадков. Рассмотрены зависимости амплитуды годового хода параметров климата от средних значений, на основе чего охарактеризована сезонная структура трендов. Представлены результаты исследования зависимости средней температуры от высоты станции. **В Главе 4** проводится выявление в рядах температуры и осадков разномасштабной цикличности, приводятся гипотезы относительно причин, ее вызывающих. Дан фоновый прогноз изменения температуры на ближайшие десятилетия. **Глава 5** посвящена оценке температурных рисков и рисков, связанных с выпадением или отсутствием осадков с применением цепей Маркова. **В Заключении** сформулированы основные выводы диссертационной работы.

### Основные положения, выносимые на защиту:

**1. Изменения климатических показателей в Алтайском регионе происходят синхронно, наибольшая сопряженность изменчивости наблюдается внутри районов, соответствующих выделенным классам в полях температуры и осадков.**

В целом, за рассмотренные 50 лет (1961-2010 гг.) средняя температура воздуха в регионе увеличивалась со скоростью порядка  $0,3\text{ }^{\circ}\text{C}/10$  лет, что гораздо больше глобальных скоростей потепления. Тренд сформирован за счет потепления зимних, весенних и осенних месяцев. Максимум потепления отмечается на станциях, расположенных на юго-востоке региона. В последнее десятилетие на всей территории сформировались статистически значимые отрицательные температурные тенденции, составляющие в среднем  $-0,6^{\circ}\text{C}/10$  лет, в основном, за счет увеличения суровости зим и похолодания летних месяцев. Наиболее сильно эта тенденция проявила себя на станции Кош-Агач, медленнее всего на смену знака тренда реагируют станции северо-востока территории. Таким образом, при потеплениях, и при похолоданиях проявляется трендообразующий эффект замкнутых форм рельефа. Смена знака тенденций согласуется с процессами перестройки крупномасштабной циркуляции атмосферы. Определяющее значение при нахождении трендов имеет выбор интервала времени. Данное обстоятельство еще раз

подтверждает, что климат изменяется постоянно, ориентироваться в прогнозах на экстраполяцию линейных трендов ошибочно.

При исследованиях динамики временных рядов параметров климата в Алтайском регионе предполагаем, что они имеют определенную структуру, т.е. сформированы различными составляющими. В данной работе за основу взят принцип разложения рядов, основанный на предпосылке того, что значения поля, порожденные процессами меньшего масштаба, колеблются около величин, сформированных процессами большего масштаба, на основании чего принимаем гипотезу о том, что значения климатических характеристик любого месяца, например, средние месячные значения температуры, можно представить в виде:

$$f(t) = f_{tr}(t) + f_m + f_g(t) + ost$$

где  $f_{tr}(t)$  – величина долговременного тренда температуры,  $f_m$  – годовой ход (сезонная составляющая): среднее значение температуры конкретного месяца  $m$  в годовом ходе,  $f_g(t)$  – скрытые периодичности,  $ost$  – остаточная составляющая.

Разложение рядов на составляющие позволяет оценить вклад каждой из них в общую изменчивость ряда. На всех станциях наибольший вклад в общую изменчивость рядов температуры вносит годовой ход – более 90 %. Часть изменчивости рядов температуры, описываемая скрытыми периодичностями, составляет в среднем 1,3%, что, конечно, несоизмеримо с вкладом сезонной составляющей, но гораздо больше влияния трендов, которое для большинства станций не превышает 0,3%. Основной вклад в общую изменчивость сумм осадков на станциях региона вносят остатки и сезонный ход практически в равной степени, значительный вклад в общую изменчивость осадков, в среднем по территории около 10%, вносит составляющая, формирующаяся периодичностями различного масштаба.

По типу зависимости амплитуды годового хода от изменения средней величины можно охарактеризовать сезонную структуру трендов соответствующего элемента климата. По данным рассмотренных станций выделено три типа зависимостей: уменьшение амплитуды годового хода с увеличением средней температуры, увеличение амплитуды при росте средней температуры, кроме того, выделен тип станций, на которых после 1991 года характер зависимости амплитуды от среднего меняется на противоположный. Полученные зависимости достаточно тесные, коэффициент детерминации составляет в среднем 0,8. Как правило, исследователями отмечается только первый тип зависимости, второй тип является нехарактерным.

Используя уравнения связи амплитуды и среднего, временные ряды сезонной составляющей были подвергнуты коррекции. Тренд конкретного месяца был представлен как сумма фонового тренда  $Trf$  для всего ряда, скорости изменения сезонной составляющей  $Trs(m)$  месяца  $m$ , относительного тренда отклонений  $Tra(m)$  месяца  $m$ :

$$Tr(m) = Trf + Trs(m) + Tra(m),$$

что позволило анализировать сезонную структуру трендов. Здесь, отклонения представляют собой сумму двух составляющих временного ряда: периодичностей и остатков.

Результаты расчетов для станций разных типов зависимости амплитуды годового хода от изменения средней температуры, показали однотипность изменения соответствующих составляющих трендов на разных станциях одного типа. Для станций первого и третьего типов (рис. 1а) в период роста температуры тренды месяцев холодного полугодия усиливают потепления, а тренды месяцев теплого полугодия ослабляют их.

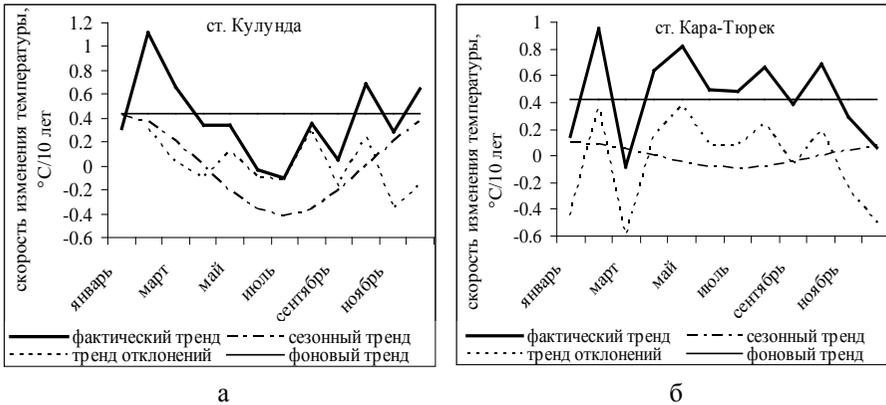


Рисунок 1 – Сезонная структура долговременного тренда температуры на станциях Алтайского региона

Для станций второго типа потепления усиливаются зимними и летними трендами (рис. 1б). При похолоданиях следует ожидать те же закономерности.

В поле осадков на всех станциях, кроме станций Бийск-Зональная, Рубцовск и Троицкое, с увеличением средних сумм осадков амплитуда годового хода увеличивается, сезонная составляющая тренда и отклонения усиливают рост осадков в теплое полугодие, увеличивая амплитуду годового хода, и способствуют их уменьшению в холодное полугодие.

Кривые фактического тренда и тренда составляющей отклонений полей температуры и осадков идут синхронно на всех станциях, что подтверждает ведущую роль периодичностей и остатков в формировании тенденций конкретных месяцев. Корреляционный анализ подтвердил высокую тесноту их связи.

Для выявления пространственно-временной общности составляющих временных рядов средней температуры и сумм осадков был использован метод главных компонент. В результате получено, что все составляющие поля температуры воздуха и количества атмосферных осадков описываются

одной (первой) компонентой, причем доля объясненной ею изменчивости рядов составляет в среднем 80 % для разных составляющих, что отражает синхронность изменения параметров климата территории.

Для нахождения районов с однотипными изменениями характеристик климата в регионе исследования была проведена пространственная классификация полей температуры и осадков. Цель ее формулируется как задача выявления по эмпирическим данным районов с близким временным ходом величины, то есть выделения классов, в которых элементы связаны друг с другом сильнее, чем со всеми остальными объектами.

В поле средней температуры выделено 4 класса, имеющих выраженную географическую локализацию (рис. 2), что отражает общность факторов, формирующих изменения температуры на этих станциях. Внутрикласовые расстояния в 2-5 раз меньше, чем межклассовые (табл. 1), что свидетельствует об изолированности классов и о высоком качестве классификации.

Таблица 1 – Характеристика классификации поля температуры в регионе

класс	Число станций	Средняя температура, °С	Дисперсия, °С <sup>2</sup>	Средний коэффициент корреляции	Внутрикласовое расстояние, °С	Межклассовое расстояние, °С		
						2	3	4
1	21	2.5	172	0.99	0.17	0.32	0.25	0.77
2	3	4.0	106	0.99	0.20		0.43	0.88
3	4	0.0	164	0.99	0.20			0.52
4	5	-4.1	153	0.97	0.36			

Первый класс (рис. 2) включает в себя большинство станций, пространственно занимает всю равнинную часть рассмотренной территории, характеризуется средними положительными годовыми температурами и наименьшим внутрикласовым расстоянием. Климат этой части Алтайского региона обусловлен свойствами приходящих с западным переносом масс воздуха и расположением на юге Западно-Сибирской равнины. Во второй класс вошли станции с самыми высокими годовыми температурами в регионе, температурный режим на этих трех станциях подвержен существенному влиянию фёнов, кроме того, теплящий эффект в зимний период оказывает наличие крупного водоема – оз. Телецкое. К третьему классу относятся станции, по своему расположению открытые влиянию воздушных масс, приходящих с западным переносом, в то же время контрастности климата этого района способствует открытость станций воздушным массам со Средней Азии (рис. 2). Четвертый класс станций, занимающий самую высокогорную южную часть региона исследования, характеризуется самыми низкими годовыми температурами и наибольшими внутрикласовыми различиями. Эти станции изолированы от влияния теплых и влажных воздушных масс, приходящих с Атлантики, и расположены ближе всего к центру Азиатского антициклона, что способствует формированию в

этом районе сурового климата. Станции Усть-Улаган и Уландрык не вошли ни в один из классов, что можно объяснить индивидуальными особенностями их расположения в долинах высокогорных рек.

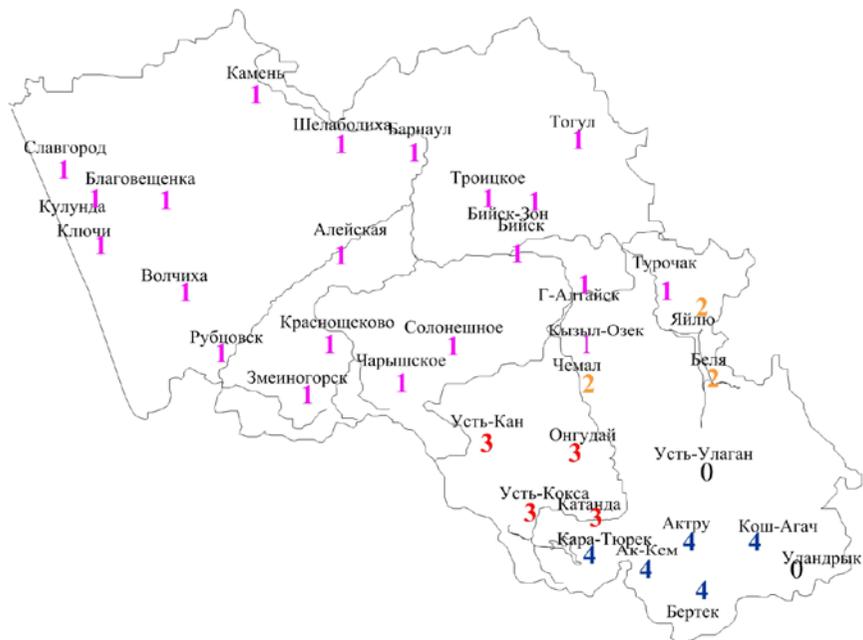


Рисунок 2 – Распределение классов температуры воздуха по территории Алтайского региона

Пространственное распределение классов составляющих (тренда, сезонной и отклонений) сходно с расположением классов исходного поля.

В поле осадков выявлено 4 класса станций с синхронной динамикой этой величины (табл. 2).

Таблица 2 – Характеристика классификации поля осадков в регионе

класс	Число станций	Средняя месячная сумма, мм	Дисперсия, мм <sup>2</sup>	Внутриклассовое расстояние, мм	Межклассовое расстояние, мм		
					2	3	4
1	10	28.3	477	0.24	0.44	0.40	0.35
2	3	49.4	1435	0.27		0.39	0.48
3	3	46.1	843	0.33			0.56
4	8	25.0	624	0.27			

Пространственно классы локализованы достаточно компактно (рис. 3). Первый класс включает в себя наибольшее число станций, занимает равнинную часть региона, режим осадков которой формируется процессами, приходящими с Сибирских равнин. Станции этого класса характеризуются малыми средними суммами осадков, наибольшей связностью станций внутри таксона (табл. 2) и наименьшей в регионе изменчивостью.

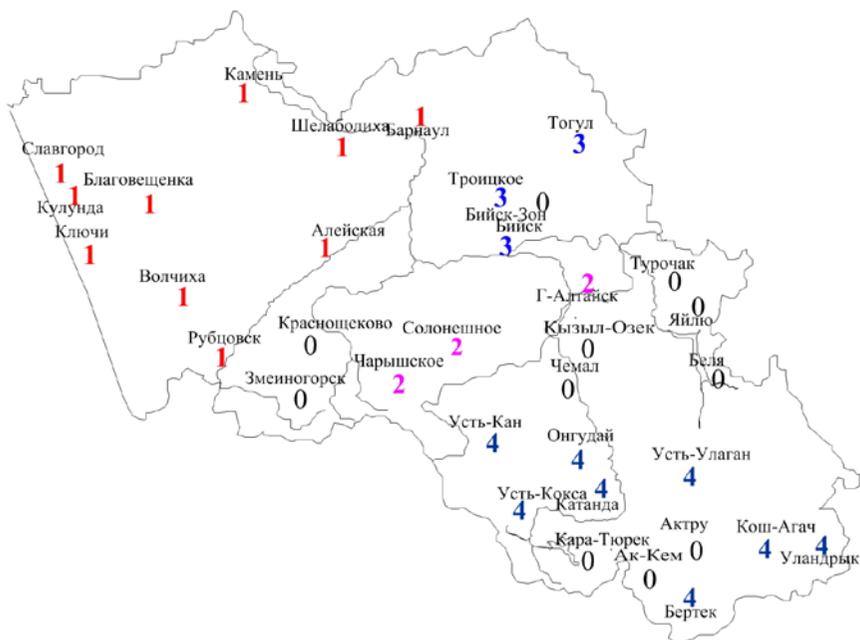


Рисунок 3 – Распределение классов сумм осадков по территории региона

Второй класс станций определяется особенностями их расположения в предгорье Алтая, что способствует усилению осадков, приходящих с западным переносом воздушных масс. Этот класс отличают наибольшие средние месячные суммы осадков.

В четвертый класс вошли станции центральной и южной части Республики Алтай, характеризующиеся наименьшими и низкими суммами осадков. Одиннадцать из рассмотренных станций не вошли ни в один класс (рис. 3). Режим осадков на них в максимальной степени определяется местными условиями.

Выделенные классы в поле отклонений сумм осадков практически совпадают с исходным полем, что еще раз подтверждает ведущую роль периодичностей и местных условий в формировании режима осадков.

Использование результатов проведенной классификации позволит повысить оптимизацию использования сельскохозяйственных, рекреационных ресурсов территории и, в целом, природопользования.

Проведение компонентного анализа применительно к станциям каждого класса отдельно показало значительное увеличение степени синхронности изменения температуры и осадков внутри классов в среднем на 10 %.

Основные выводы данной части исследования следующие:

– потепление последней четверти XX века сменилось похолоданием в первом десятилетии XXI века, колебания климатических показателей в регионе происходят синхронно;

– цикличность различных масштабов описывает в среднем 1,3-10% изменчивости рядов, долговременные тренды – не более 0,3%;

– проведенная классификация позволяет выявлять мезомасштабные особенности тепло-влажностного режима территории и выделять естественные области, в которых отмечается схожий характер динамики соответствующих климатических характеристик.

**2. Колебания климата Алтайского региона формируются под влиянием циклических процессов с периодами 6-9, 20, 60 лет; полученные закономерности позволяют продвинуться в решении задач долгосрочного прогнозирования состояния геоэкологической системы территории.**

Синхронность в динамике таких изменчивых составляющих полей, как отклонения, и определяющая их роль в сезонной структуре долговременных трендов, а также существенный вклад периодичностей в общую изменчивость рядов (1,3-10%) приводят к необходимости более подробного исследования цикличности в рядах температуры и осадков. Кроме того, для усовершенствования прогнозов изменения климата и для корректных оценок последствий любого рода активных антропогенных воздействий на геосферу С этой целью в данной работе предлагается использовать алгоритм, в котором проявление гармоник считается следствием наложения действия ряда независимых вибраторов, временной ряд аппроксимируется гармоническими функциями с периодом, независимым от длины ряда, определяющимся в процессе исследования. Данный подход способствует более полному учету временных характеристик реальных природных циклов и отражению сути процессов. Таким образом, колебательная составляющая

временного ряда представляется в виде:  $f_g(t) = \sum_{k=1}^p g_k(t)$ , где  $p$  – количество

учтенных гармоник,  $g_k(t)$  –  $k$ -я гармоника. Гармоники выбирались поэтапно по принципу максимальности их амплитуды в спектре ряда. На каждом этапе рассчитывается коэффициент корреляции. Значимость гармоник определялась по величине амплитуды и по коэффициенту корреляции исходного ряда и суммой учтенных гармоник. Окончание процедуры определяется по мере достижения коэффициента корреляции заданного уровня. Как показали расчеты, в большинстве случаев для исследования достаточно учитывать 10 первых гармоник.

Предложенная технология выделения циклов позволяет избежать субъективности методов визуальной оценки цикличности, зависимости результата от длины временного ряда в быстром преобразовании Фурье, а также, относительной трудоемкости вейвлет-анализа.

В рядах средних годовых температур на станциях Алтая ведущими, т.е. вносящими наибольший вклад в изменение, для большинства станций оказались 20- и 9-летние циклы (рис. 4).

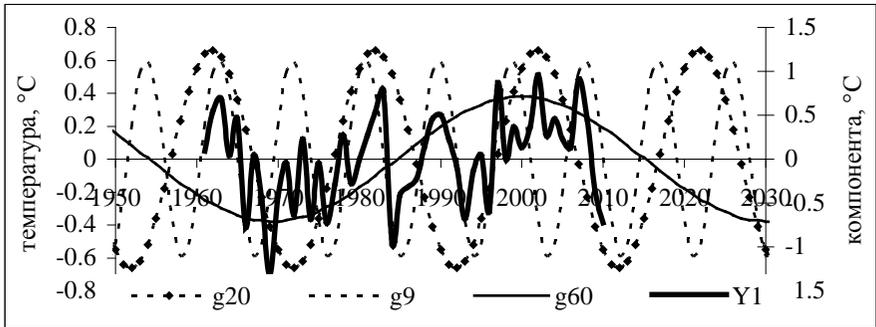


Рисунок 4 – Временной ход первой главной компоненты рядов температуры для станций первого класса (Y1), 60- (g60), 20- (g20) и 9-летней (g9) гармоник

Колебания температуры в этих циклах составляют до  $0,6^{\circ}\text{C}$ . Кроме того, на основании данных длиннорядных станций выявлен 60-летний цикл, в котором изменения температуры составляют до  $0,4^{\circ}\text{C}$ .

В колебаниях зимних температур наиболее значимы циклы порядка 40 и 9 лет. Значительные летние потепления и похолодания происходят с 18-летней периодичностью. В переходные сезоны погода характеризуется большей неустойчивостью, динамике температуры этих месяцев определяют более короткопериодные ритмы: 5-7-летние весной и 6-8-летние осенью.

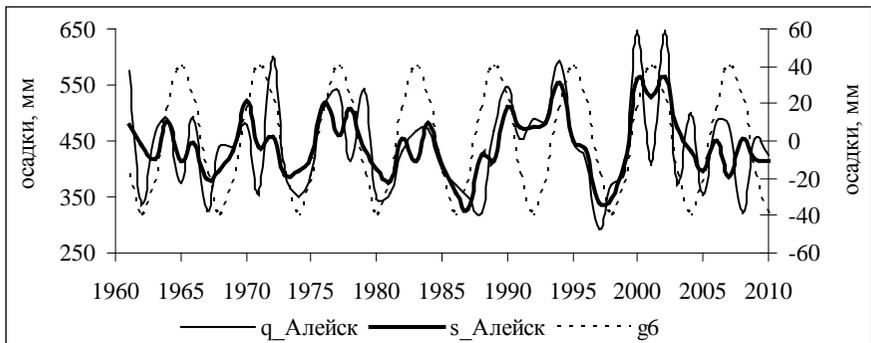


Рисунок 5 – Временной ход сумм осадков (q), суммы ведущих гармоник (s) и 6-летней гармоник (g6) на станции Алейск

В рядах годовых сумм осадков на большей части станций доминирующей оказалась 6-летняя гармоника. Таким образом, в регионе каждые 6 лет выпадает малое количество осадков, что может способствовать усилению засушливости и росту пожароопасности при определенных условиях (рис. 5). Для всех станций 11-летняя гармоника в рядах осадков полностью совпадает в своем ходе по фазам с 11-летней, выделенной в рядах чисел Вольфа.

Тепло-влажностные условия вегетационного периода (период устойчивого перехода суточной температуры через 0°C) изменяются на станциях региона с 8-летней периодичностью. Причем, характерно уменьшение количества осадков в вегетационный период при потеплениях в Алтайском регионе и их увеличение при похолоданиях.

Волна роста температуры в Алтайском регионе с начала 1970-х гг. совпадает с периодом ускорения вращения Земли. Неравномерность вращения Земли, связанная с процессами крупномасштабной ОЦА, которые акцентируются под действием солнечной активности, может служить показателем интенсивности перераспределения тепла и влаги на планете. Ведущая роль 20-летнего цикла в формировании температурных изменений и в изменениях скорости вращения планеты ( $v_g$ ) подтверждает общность причин, вызывающих колебания такого порядка, то есть наличие внешних синхронизаторов, определяющих изменения, происходящие в оболочках Земли.

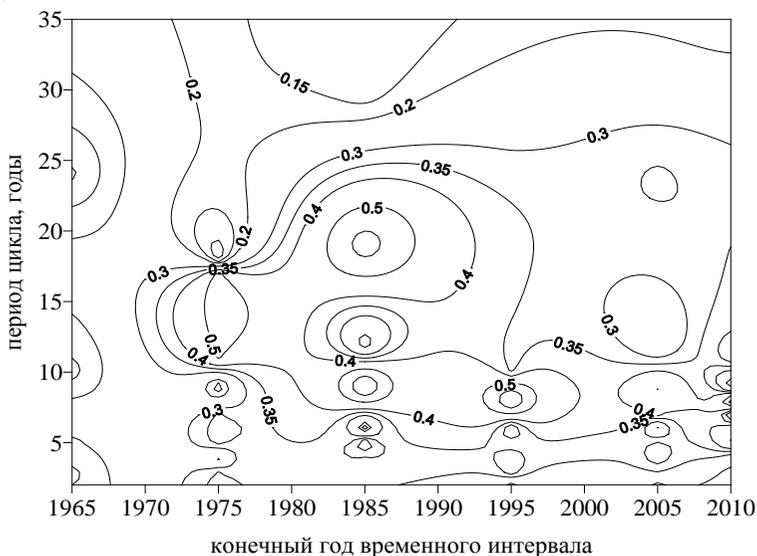


Рисунок 6– Амплитуда гармоник, выявленных в рядах температуры воздуха в Барнауле на различных интервалах лет

Проверка устойчивости выявленной цикличности осуществлялась путем выявления циклов по данным различных временных интервалов, (смещенных по пятилетиям и двух неперекрывающихся – 1936-1965 гг. и 1966-2010 гг.). В результате получено, что циклы, выявленные по каждому из периодов, в целом, соответствуют циклам, выявленным по всему ряду (рис. 6), а временной ход соответствующих гармоник, полученных на разных участках временного ряда, совпадает. Практически в любой из периодов очаги повышенных значений амплитуды соответствуют одному и тому же набору циклов.

На основе выявленных закономерностей, в предположении об их устойчивости, составлен фоновый сверхдолгосрочный прогноз температурных тенденций. Похолодание зимних месяцев и понижение годовой температуры воздуха в последние годы соответствует понижению температуры в 60-летнем цикле в сочетании с ее минимумом в 20- и 9-летних циклах, еще около 5-лет тенденция похолодания, выявленная и по значениям трендов, сохранится. Затем, к 2021 году, в 20-летнем цикле, снова потеплеет (рис. 4). С середины 2020-х гг. начнется очередное похолодание, которое достигнет своего минимума в начале 2030-х гг., когда совпадут минимумы трех основных температурных циклов. Данные тенденции можно ожидать на станциях всех классов.

Основные выводы данной части сводятся к следующему:

– доминирующими в изменениях температуры на станциях Алтайского региона являются 20- и 9-летние циклы, колебания температуры в которых сравнимы с оценками трендов;

– в рядах сумм осадков на большинстве станций ведущими являются 6- и 8-летние циклы;

– получен фоновый прогноз изменения температуры в регионе.

**3. Наиболее значимыми по повторяемости и по воздействию на социально-хозяйственные сферы региона являются метеорологические риски, связанные с отрицательными экстремумами температуры в холодное полугодие и с периодами без осадков продолжительностью более 10 дней в теплое полугодие.**

Условия жизни и деятельности людей в значительной степени зависят от степени экстремальности гидрометеорологических условий. При описаниях климата необходимо акцентировать внимание на определенные ресурсные возможности того или иного климатического показателя с точки зрения экологического и экономического эффектов. В представляемой диссертационной работе проведена оценка некоторых температурных рисков и рисков, связанных с выпадением или отсутствием осадков на территории Алтайского региона (табл. 3): *аномально-холодная погода*, когда средняя суточная температура воздуха значительно (на 7 °С и более) ниже климатической нормы в течение 5 суток и более в период с октября по март, *аномально жаркая погода*, когда средняя суточная температура воздуха значительно (на 7 °С и более) выше климатической нормы в течение 5 суток и

более в период с апреля по сентябрь, *периоды низких* (<-30°C) и *высоких* (>+30 °C) *температур* любой продолжительности в соответствующие полугодия, периоды с *сильным морозом* и *сильной жарой*, когда значение минимальной (максимальной) температуры воздуха составляет -40 °C (+35 °C) или ниже (выше) в течение трех суток и более с ноября по март (с мая по август), периоды со среднесуточной температурой ниже -25°C, выше +20°C и выше +25°C, непрерывные периоды с осадками и без осадков соответствующих градаций ( $\geq 0.1, \geq 0.5, \geq 5, \geq 10, \geq 20$  и более мм).

Таблица 3 – Максимальная непрерывная продолжительность (d, дни) и повторяемость (P, %) температурных рисков на некоторых станциях Алтайского региона за 1961-2010 гг.

	станция	аном. холодн.	аном. жаркая	$\leq -30^\circ\text{C}$	$\geq 30^\circ\text{C}$	сильный мороз	сильная жара	$\geq 20^\circ\text{C}$	$\geq 25^\circ\text{C}$	$\leq -25^\circ\text{C}$
d	Барнаул (1)	19	11	7	0	5	0	30	7	17
	Алейск (1)	19	13	15	1	6	4	31	8	18
	Рубцовск (1)	20	<b>14</b>	15	1	<b>7</b>	<b>14</b>	<b>32</b>	6	18
	Кош-Агач (4)	<b>24</b>	<b>7</b>	<b>31</b>	0			<b>5</b>	<b>1</b>	<b>51</b>
	Усть-Кокса (3)	20	11	14	0			10	0	26
	Чемал (2)	19	10	<b>5</b>	1			22	<b>9</b>	<b>8</b>
P	Барнаул (1)	<b>16.1</b>	<b>6.6</b>	2.1	0	0.2	0.1	19.5	1.5	6
	Алейск (1)	15.4	<b>6.6</b>	2	0.1	0.2	0.3	22.3	2.3	5.8
	Рубцовск (1)	<b>16.1</b>	5.2	2.4	0.1	0.3	0.5	<b>23.9</b>	<b>2.6</b>	6.3
	Кош-Агач (4)	<b>11.7</b>	3.4	<b>13</b>	0			<b>0.5</b>	0.03	<b>27.9</b>
	Усть-Кокса (3)	13.7	<b>3.0</b>	3.5	0			2.9	<b>0</b>	11.3
	Чемал (2)	14.4	5.2	<b>0.3</b>	0.1			11.8	0.4	<b>1.6</b>

Примечание: в скобках у названия станции указан номер класса

Оценка температурных рисков региона показала, что для территории исследования более характерны риски, связанные с отрицательными экстремумами температуры (табл. 3). *Периоды высоких температур* и *сильной жары* не характерны для территории Алтайского региона.

Проявление тех или иных рисков формируется, безусловно, определенными погодообразующими факторами, основной из которых – состояние ОЦА. Анализ показал, что около 65% температурных рисков наблюдаются при восточной форме циркуляции E по классификации Г.Я. Вангенгейма. Выявление более детальной структуры циркуляции, способствующей формированию температурных рисков, на основе календаря элементарных циркуляционных механизмов (ЭЦМ) Б.Л. Дзержевского показало, что наибольший вклад в формирование температурных аномалий вносят ЭЦМ, относящиеся к меридиональной южной и меридиональной северной группам. Более 60% всех июльских экстремумов в Алтае связаны с ЭЦМ 13л, при котором в район исследования выходят южные циклоны.

В Алтайском регионе периоды с осадками, в основном, кратковременны и неустойчивы, как в зимнее, так и в летнее время, а периоды без осадков (засушливые) более устойчивы и более продолжительны.

Периоды с осадками продолжительностью более 10 дней составляют в холодное полугодие 1-2%, повторяемость бесснежных периодов продолжительностью более 10 дней значительно выше – 3-12% в зависимости от класса станций, что связано с определяющим влиянием устойчивого Азиатского антициклона в холодное полугодие. В теплый период года на всех рассмотренных станциях продолжительных периодов без осадков, также, значительно больше, чем периодов с осадками. Повторяемость периодов без осадков более 10 дней в теплое полугодие составляет в среднем 10%.

Для зимнего периода характерны слабые осадки, с увеличением критерияльной суммы вероятность осадков быстро уменьшается. Интенсивные осадки (более 20 мм) в теплый период года имеют вероятность 1-4% в зависимости от станции, в холодный период года вероятность уменьшается, а на некоторых станциях стремится к нулю.

Исследование характеристик всех рассмотренных рисков за разные периоды времени показало, что в зависимости от выбранного интервала лет они существенно варьируются (табл. 4).

Таблица 4 – Максимальная непрерывная продолжительность (дни) периодов без осадков  $\geq 0.1$  мм в различные периоды времени

период	Барнаул		Алейск		Рубцовск		Бийск		Славгород		Чемал	
	ХП	ТП	ХП	ТП	ХП	ТП	ХП	ТП	ХП	ТП	ХП	ТП
1960-1969.	20	22	28	29	24	28	29	21	22	25	33	15
1990-1999	25	17	26	22	26	25	26	16	26	21	29	18
2000-2010	19	18	24	36	30	27	18	23	26	25	31	22

Для расчета метеорологических рисков предлагается использовать алгоритм, основанный на применении цепей Маркова. Для этого ряды данных были приведены к бинарному состоянию. Так, например, в случае расчета периодов с *сильным морозом* день, когда значение минимальной температуры воздуха составляло  $-40$  °С, принимался за «1», остальные случаи обозначались «0». Аналогично к бинарному состоянию приводились ряды остальных параметров. Адекватность между собой характеристик периодов с метеорологическими рисками, полученных экспериментальным путем и по модели, подтверждена несколькими способами, что свидетельствует о перспективности описания их с применением цепей Маркова. Этот факт позволил, используя алгоритм цепей Маркова, получить прогноз продолжительности опасных периодов, возможных раз в заданный интервал времени в Алтайском регионе. Рассматривались интервалы 20, 30, 50, 60 и 100 лет. В табл. 5 приведен пример для станций, соответствующих разным классам (рис. 2).

Таблица 5 – Продолжительность периодов (дни) низких (<-30 °С) температур, с «сильным морозом», с температурой ниже -25 °С, возможная 1 раз в k лет

k, годы	20	30	50	100	20	30	50	100	20	30	50	100
станция	≤-30°С				≤ -25°С				сильный мороз			
Барнаул	11	12	13	15	14	15	16	18	8	8	9	11
Алейск	16	17	19	21	14	14	16	17	9	10	11	13
Рубцовск	15	16	18	20	13	14	15	17	9	10	11	13
Кош-Агач	23	25	27	31	25	27	29	32				
Усть-Кокса	15	16	17	19	19	20	21	23				
Чемал	5	6	8	10	5	8	9	10				

Полученные оценки температурных рисков и рисков, связанных с особенностями режима атмосферных осадков территории являются продуктами, обеспечивающими детальную информацию для осуществления мер адаптации к их последствиям, планирования и управления социально-экономическими мероприятиями в регионе.

Для оценки подверженности территории метеорологическим рискам предложен критерий  $U = \frac{d_k}{n_p} P$ , где  $d_k$  – максимальная непрерывная

продолжительность риска, возможная раз в определенное число лет (необходимое для каждого конкретного случая),  $n_p$  – продолжительность периода, на который производится расчет (год, теплый или холодный),  $P$  – риск (вероятность возникновения ОЯ). Критерий  $U$  позволяет в первом приближении выявлять районы территории, подверженные в наибольшей степени рискам от климатических воздействий. Для станций первого класса подверженность температурным рискам очень низкая, для станций второго класса (Чемал) – стремится к нулю. Уровня средней она достигает на станциях третьего класса, высокой – в пятом, на ст. Кош-Агач. При рассмотрении рисков, вызванных выпадением осадков, подверженность территории повышается до среднего, высокого и очень высокого уровней, что, конечно, необходимо учитывать при планировании социально-экономической деятельности.

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

- территория исследования наиболее подвержена температурным рискам, связанным с низкими отрицательными температурами и с периодами без осадков продолжительностью более 10 дней;

- температурные риски в регионе обусловлены большей частью процессами восточной формы циркуляции и ЭЦМ меридиональной южной и меридиональной северной групп;

- актуально оперативное составление карт климатических рисков применительно к различным сферам хозяйства и жизни населения на региональном уровне в соответствии меняющимся климатическим эпохам.

## Основные публикации по теме диссертации:

### *Статьи в журналах, рекомендованных ВАК:*

1. **Чередыко Н.Н.** Пространственно-временная структура атмосферных осадков в Западной Сибири / М.А. Волкова, **Н.Н. Чередыко**, А.И. Кусков // Вестник Томского государственного университета. – 2009. – № 328. – С. 214-219. – 0,5 / 0,2 п.л.
2. **Чередыко Н.Н.** Цикличность торфообразовательного процесса на юге лесной зоны Западной Сибири / В.А. Крутиков, Ю.И. Прейс, А.И. Кусков, **Н.Н. Чередыко** // Известия Томского политехнического университета. – 2010. – Т. 317. – № 1. – С. 46–51. – 0,6 / 0,2 п.л.
3. **Чередыко Н.Н.** Сезонная структура поля тренда температуры Алтая / **Н.Н. Чередыко**, А.И. Кусков // Вестник Воронежского государственного университета. Сер. География. Геоэкология. – 2010. – № 1. – С. 19-24. – 0,4 / 0,2 п.л.
4. **Чередыко Н.Н.** Динамика поля температуры над Алтаем / **Н.Н. Чередыко**, А.И. Кусков // География и природные ресурсы. – 2011. – № 1. – С. 73-79. – 0,4 / 0,2 п.л.
5. **Чередыко Н.Н.** Температурные риски и оценка вероятности их возникновения на территории Алтайского края и республики Алтай / М.А. Волкова, **Н.Н. Чередыко**, А.И. Кусков // Вестник Томского государственного университета. – 2012. – № 355. – С. 148-153. – 0,5 / 0,2 п.л.

### *Публикации в других научных изданиях:*

6. **Чередыко Н.Н.** Анализ динамики температуры в Горном Алтае / А.И. Кусков, **Н.Н. Чередыко** // Контроль и реабилитация окружающей среды : III Международный симпозиум. 10-12 июл. 2002 г. : [материалы] / под общ. ред. М.В. Кабанова, Н.П. Солдаткина. – Томск : Южный, 2002. – С. 38-39. – 0,14 / 0,07 п.л.
7. **Чередыко Н.Н.** Анализ поля температуры в Горном Алтае / А.И. Кусков, **Н.Н. Чередыко** // Вопросы географии Сибири. – Томск : Изд-во Том. ун-та, 2003. – Вып. 25. – С. 100-105. – 0,5 / 0,2 п.л.
8. **Чередыко Н.Н.** Применение цепей Маркова для характеристики сухих и дождливых периодов в г. Барнауле / А.И. Кусков, **Н.Н. Чередыко** // Седьмое сибирское совещание по климато-экологическому мониторингу : Российская конференция. 8-10 окт. 2007 г. : [материалы] / под ред. М.В. Кабанова. – Томск : Аграф-Пресс, 2007. – С. 163-166. – 0,4 / 0,2 п.л.
9. **Чередыко Н.Н.** Динамика полей приземной температуры в Алтае / А.И. Кусков, **Н.Н. Чередыко** // Седьмое сибирское совещание по климато-экологическому мониторингу : Российская конференция. 8-10 окт. 2007 г. : [материалы] / под ред. М.В. Кабанова. – Томск : Аграф-Пресс, 2007. – С. 92-94. – 0,15 / 0,07 п.л.

10. **Черedyкo Н.Н.** Сезонная структура поля долговременного тренда температуры Алтая / А.И. Кусков, **Н.Н. Черedyкo** // Контроль и реабилитация окружающей среды : VI Международный симпозиум. 3-5 июл. 2008 г. : [материалы] / под общ. ред. М.В. Кабанова, А.А. Тихомирова. – Томск : Аграф-Пресс, 2008. – С. 239-241. – 0,14 / 0,06 п.л.
11. **Черedyкo Н.Н.** Структура сухих периодов и периодов с осадками в Алтае в холодный период года / А.И. Кусков, **Н.Н. Черedyкo** // Контроль и реабилитация окружающей среды : VI Международный симпозиум. 3-5 июл. 2008 г. : [материалы] / под общ. ред. М.В. Кабанова, А.А. Тихомирова. – Томск : Аграф-Пресс, 2008. – С. 241-242. – 0,14 / 0,07 п.л.
12. **Черedyкo Н.Н.** Тенденции изменения осадков на территории Западно-Сибирской равнины / М.А. Волкова, А.И. Кусков, **Н.Н. Черedyкo** // Окружающая среда и устойчивое развитие регионов: новые методы и технологии исследований : Всероссийская науч. конференция с международным участием. 19-22 мая 2009 г. : [труды] / под ред. Ю.П. Переведенцева, В.А. Рубцова. – Казань : Отечество, 2009. – С. 55-57. – 0,16 / 0,06 п.л.
13. **Черedyкo Н.Н.** Временная структура периодов с осадками в Томске / **Н.Н. Черedyкo**, М.А. Волкова, А.И. Кусков // Окружающая среда и устойчивое развитие регионов: новые методы и технологии исследований : Всероссийская науч. конференция с международным участием. 19-22 мая 2009 г. : [труды] / под ред. Ю.П. Переведенцева, В.А. Рубцова. – Казань : Отечество, 2009. – С. 235-237. – 0,14 / 0,04 п.л.
14. **Черedyкo Н.Н.** Структура и динамика осадков над Азиатской территорией России / М.А. Волкова, Г.Г. Журавлев, А.И. Кусков, **Н.Н. Черedyкo** // Всероссийская конференция, посвященная 100-летию профессора О.А.Дроздова, 20-22 окт. 2009 г. : [материалы]. – СПб. : ВВМ, 2009. – С.52-54. – 0,15 / 0,04 п.л.
15. **Черedyкo Н.Н.** Продолжительность периодов с осадками и без осадков за теплый и холодный периоды в Западной Сибири / М.А. Волкова, А.И. Кусков, **Н.Н. Черedyкo** // Всероссийская конференция, посвященная 100-летию профессора О.А.Дроздова, 20-22 окт. 2009 г. : [материалы]. – СПб. : ВВМ, 2009. – С. 54-56. – 0,14 / 0,04 п.л.
16. **Черedyкo Н.Н.** Особенности распределения тренда сезонной составляющей осадков на Азиатской территорией России / М.А. Волкова, А.И. Кусков, **Н.Н. Черedyкo** // Восьмое сибирское совещание по климато-экологическому мониторингу : Российская конференция. 8-10 окт. 2009 г. : [материалы] / под ред. М.В. Кабанова. – Томск : Аграф-Пресс, 2009. – С. 107-109. – 0,15 / 0,05 п.л.
17. **Черedyкo Н.Н.** Оценка устойчивости климатических характеристик на примере периодов с осадками и без осадков / М.А. Волкова, А.И.

- Кусков, **Н.Н. Чередыко** // Труды / Томский гос. ун-т. – Томск, 2009. – Сер. Геолого-географическая : Т. 265 : Теоретические и прикладные вопросы современной географии – С. 302-303. – 0,16 / 0,05 п.л.
18. **Чередыко Н.Н.** Солнечная активность как контролирующий фактор в динамике температуры теплого периода года в Барнауле / А.И. Кусков, М.А. Волкова, **Н.Н. Чередыко** // Контроль окружающей среды и климата : VII Всероссийский симпозиум. 5-7 июл. 2010 г. : [материалы] / под общ. ред. М.В. Кабанова, А.А. Тихомирова. – Томск : Аграф-Пресс, 2010. – С. 174-176. – 0,16 / 0,07 п.л.
19. **Чередыко Н.Н.** Метод оценки периодов с однородными долговременными тенденциями изменения метеорологических величин / **Н.Н. Чередыко**, М.А. Волкова, А.И. Кусков // Контроль окружающей среды и климата : VII Всероссийский симпозиум. 5-7 июл. 2010 г. : [материалы] / под общ. ред. М.В. Кабанова, А.А. Тихомирова. – Томск : Аграф-Пресс, 2010. – С. 265-267. – 0,15 / 0,07 п.л.
20. **Чередыко Н.Н.** Сравнительная оценка цикличности во временных рядах атмосферных осадков в Алтае / **Н.Н. Чередыко**, М.А. Волкова, А.И. Кусков // Труды / Томский гос. ун-т. – Томск, 2010. – Сер. Геолого-географическая : Т. 277 : Актуальные вопросы географии и геологии. – С. 207-208. – 0,14 / 0,06 п.л.
21. **Чередыко Н.Н.** Перестройка крупномасштабных атмосферных процессов как критерий выделения периодов с однотипной тенденцией изменения температуры [Электронный ресурс] : сб. тр. XVII Международного симп. «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы» / **Н.Н. Чередыко**. – Электрон. текст. и граф. дан. – Томск : Изд-во ИОА СО РАН, 2011. – 1 CD-ROM. – С. D59-D62. – 0,2 п.л.
22. **Чередыко Н.Н.** Оценка вероятности наступления температурных рисков [Электронный ресурс] : сб. тр. XVII Международного симпозиума «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». / **Н.Н. Чередыко**, Кусков А.И., Волкова М.А. – Электрон. текст. и граф. дан. – Томск : Изд-во ИОА СО РАН, 2011. – 1 CD-ROM. – С. D63-D66. – 0,17 п.л. / 0,07 п.л.
23. **Чередыко Н.Н.** Эффекты цикличности в рядах атмосферных осадков над Азиатской территорией России / **Н.Н. Чередыко**, М.А. Волкова, А.И. Кусков // Российская конференция «Девятое сибирское совещание по климатолого-экологическому мониторингу», 3-6 окт. 2011 г. : [материалы] / под ред. М.В. Кабанова. – Томск : Аграф-Пресс, 2011. – С. 140-142. – 0,14 / 0,05 п.л.

Подписано в печать 26.04.2012 г.  
Формат А4/2. Ризография  
Печ. л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ № 37/04-12  
Отпечатано в ООО «Позитив-НБ»  
634050 г. Томск, пр. Ленина 34а