

7

На правах рукописи



**Шугунов Лион Жамбулатович**

**РЕГИОНАЛЬНЫЕ МОДЕЛИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ  
ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК И  
ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ АКТИВНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА  
ОБЛАКА**

25.00.30 - метеорология, климатология, агрометеорология

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
доктора физико-математических наук

**НАЛЬЧИК**  
2009



Работа выполнена на кафедре геофизики и экологии физического факультета Кабардино-Балкарского государственного университета им. Х.М. Бербекова, г. Нальчик.

**Официальные оппоненты:**

доктор физико- математических наук  
**Стерин Александр Маркович.**

доктор физико- математических наук  
**Макушев Мусарби Киялиевич.**

доктор физико- математических наук  
**Закниян Роберт Гургенович.**

**Ведущая организация:**


Российский Государственный  
Гидрометеорологический университет.  
Региональный учебный центр ВМО,  
г. С-Петербург.

Защита состоится «26» июня 2009 года в 14-00 часов на заседании диссертационного совета Д327.001.01 при Высокогорном геофизическом институте по адресу: 360030, КБР, г. Нальчик, пр. Ленина, 2.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Высокогорного геофизического института.

Автореферат разослан «25» мая 2009 г.

Ученый секретарь диссертационного совета  
доктор физико- математических наук,  
профессор

 А.В. Шаповалов

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ.

**Актуальность темы исследования.** Исследование состояния погоды и климата в прошлом и настоящем и их предсказание в будущем являются одними из основных задач метеорологии, так как практически все процессы, происходящие на земле, в той или иной мере зависят от них. Проблема эта чрезвычайно сложна в силу различных причин. С одной стороны, процессы, определяющие погоду и климат, являются сложными, так как включают в себя многие взаимосвязанные физические процессы: от простых перемещений воздушных масс до сложных физико-химических превращений атмосферного воздуха, включая фазовые переходы воды в атмосфере. С другой стороны, эти процессы зависят от многих факторов, в том числе от состава и состояния атмосферного воздуха.

В последние годы интенсивно и в широких масштабах изменяется состав атмосферы под действием антропогенных факторов, а также в результате естественных процессов. Все это делает исследование атмосферных процессов, которыми определяются погода и климат, чрезвычайно сложной задачей. Полный учет всех факторов и решение соответствующих уравнений, описывающих эти процессы, в настоящее время невозможны даже с использованием современных вычислительных систем. Поэтому несомненный интерес представляют более простые методы исследования этих процессов, которые обеспечивают получение практически важных результатов.

Одной из основных проблем этих исследований является проблема предсказания региональных изменений климата. Этой проблеме посвящено большое число работ, в которых предложены методы с использованием различных видов информации. В данной работе указано, что наиболее просто эта проблема может быть решена при использовании временных рядов многолетних наблюдений основных метеорологических параметров. Предлагаемый метод позволяет также провести оценку эффективности АВ на облака по ИУО и ПГЗ.

В настоящей работе для решения этой проблемы рассмотрены методы, основанные на использовании многолетних значений основных метеорологических параметров: количества выпадающих осадков, температуры и влажности атмосферного воздуха в умеренных широтах со сложной орографией, а также данные временного хода различных показателей эффективности активных воздействий на метеорологические процессы для оценки их эффективности.

**Цель работы (и задачи).** Целью работы является разработка моделей динамики метеорологических параметров, характеризующих режимы атмосферных осадков, температуры и влажности воздуха в раз-

личных климатических зонах Центрального Предкавказья (на примере КБР и Ставропольского края), экстраполяция их значений на последующие годы и на этой основе разработка усовершенствованных методов оценки эффективности АВ по регулированию осадков.

В соответствии с целью работы решались следующие основные задачи.

- Построение моделей динамики временных рядов метеорологических параметров (температуры и влажности воздуха и количества выпадающих осадков) и динамики временного хода различных параметров облаков по данным наблюдений этих параметров в различных географических зонах (горной, предгорной и степной) КБР и Ставропольского края для различных сезонов года. Для построения моделей предложен метод разложения временных рядов метеопараметров на основные составляющие, основанный на спектральном анализе с использованием критериев случайностей остатка ряда и критерия детерминированной составляющей ряда.
- На основе построенных моделей разработка метода долгосрочного прогнозирования указанных метеопараметров с упреждением на 30 точек.
- Использование стохастических моделей для краткосрочного прогнозирования метеопараметров с упреждением на 10 точек.
- Построение метода интерполяции (восстановления) данных между пунктами наблюдений и отсутствующими в рядах данных сроками наблюдений.
- Усовершенствование методов оценки эффективности противорадовой защиты (ПГЗ) и искусственного увеличения осадков (ИУО) на основе построенных моделей и сравнение полученных результатов с результатами существующих методов, в частности, с результатами численных методов.

**Научная новизна работы.** В диссертационной работе впервые решены следующие задачи:

- разработан общий метод, позволяющий исследовать с единых позиций как временные ряды многолетних наблюдений, так и временной ход различных параметров облаков, основанный на разложении временного хода метеопараметров на основные составляющие с использованием преобразования Фурье (спектральный анализ) дополненного критериями случайностей остатка ряда и метода классической декомпозиции данных метеорологических наблюдений;
- построены модели основных метеопараметров (температуры, влажности воздуха и количества выпадающих осадков) по данным метеонаблюдений

Центрального Предкавказья (на примерах КБР и Ставропольского края); для горной, предгорной и степной зон в различные сезоны года;

-предложены два различных метода прогноза временного хода метеопараметров: краткосрочный с использованием известного метода стохастических моделей (с упреждением до 10 точек) и долгосрочный на основе построенных моделей (с упреждением до 30 точек);

-предложены метод интерполяции значений метеопараметров между пунктами наблюдений, основанный на уравнениях теплового баланса атмосферного воздуха, и метод интерполяции недостающих членов ряда на основе лагового анализа;

- усовершенствованы методы оценки эффективности АВ на облака с целью ИУО и предотвращения града, базирующиеся на предложенном методе экстраполяции;

-предложен комбинированный метод оценки эффективности ПГЗ, объединяющий преимущества метода «исторического ряда» и метода «контрольной территории».

#### **Основные положения, выносимые на защиту.**

1. Модели динамики природно- климатических характеристик региона (температуры, влажности воздуха и количества выпадающих осадков) по данным метеонаблюдений Центрального Предкавказья (на примерах КБР и Ставропольского края) для горной, предгорной и степной зон в различные сезоны года.
2. Метод и результаты долгосрочного прогнозирования метеопараметров основанные на разложении временных рядов метеопараметров на основные составляющие на основе преобразования Фурье ряда, дополненного критериями случайностей остатка ряда и метода классической декомпозиции с использованием многолетних метеонаблюдений в регионе Центрального Предкавказья.
3. Результаты краткосрочного прогнозирования метеопараметров с использованием стохастических моделей.
4. Усовершенствованный метод и результаты оценки эффективности регулирования осадков (ИУО и ПГЗ) с использованием численных методов анализа показателей эффективности и без них.
5. Методика интерполяции значений метеопараметров между пунктами наблюдений, основанная на уравнениях теплового баланса атмосферного воздуха.
6. Предложенный подход для интерполяции недостающих членов ряда на основе лагового анализа.
7. Модели и результаты оценки эффективности противоградовых работ на ЗТ с использованием данных на КТ и ЗТ.
8. Рекомендации по оптимальному размещению пунктов метеонаблюдений.

**Практическая значимость работы.** Практическая ценность работы состоит в получении закономерностей изменения природно- климатических характеристик в различных климатических зонах КБР и Ставропольского края, а также их прогнозных значений на перспективу для нужд народного хозяйства. В частности, полученные результаты могут быть использованы для исследования агроклиматических ресурсов в различных зонах исследуемой территории.

Результаты работы могут быть также использованы:

- при разработке перспективных планов социально-экономического развития региона;
- для решения задачи организации производства сельскохозяйственной продукции в новых природно-климатических условиях;
- при решении задач прикладной климатологии;
- в различных моделях долгосрочного прогноза климата;
- при решении экологических задач;
- в численных моделях облачных процессов.

Результаты диссертационной работы внедрены в учебный и производственный процессы и получены соответствующие акты внедрения.

#### **Достоверность результатов работы.**

Достоверность полученных результатов обеспечена корректностью постановки рассматриваемых задач и методов их решения, решением модельных задач, что подтверждается хорошим соответствием полученных результатов с фактическими результатами метеонаблюдений.

Достоверность результатов по разработке моделей прогнозирования природно- климатических характеристик обеспечена применением широко используемых в мировой практике современных методов обработки данных наблюдений.

Обоснованность предложенной методики подтверждается большой выборкой тестовых задач и соответствием полученных результатов прогнозных значений с фактическими данными, в том числе полученными за последние годы.

**Апробация работы.** Основные результаты работы докладывались на Всероссийских конференциях по физике облаков и активным воздействиям на градовые процессы (Нальчик, 1997, 2005), на Международной конференции по системным проблемам надежности, математическому моделированию, информационным технологиям (Сочи, 1998), на симпозиуме «Математическое моделирование и компьютерные технологии». (Кисловодск, 1997), на итоговых сессиях, общегеофизических и научных семинарах ВГИ, КБГУ, КБГСХА.

По теме диссертации опубликовано 36 работ в научных журналах и сборниках и одна монография.

**Структура и объем диссертации.** Работа состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы. Общий объем работы составляет 298 страниц машинописного текста, включая 50 таблиц, 98 рисунков, список используемой литературы из 187 наименований.

**Содержание работы.**

**Во введении** диссертационной работы обосновывается актуальность темы исследования, формулируются цель и задачи, характеризуются теоретические и методологические основы, предмет исследования, раскрываются научная новизна и практическая ценность результатов работы.

**В первой главе** кратко приведены основные характеристики погодо- и климатообразующих факторов. Рассмотрены некоторые общие и региональные модели климата и основные результаты, полученные на основе этих моделей. Здесь же приведены некоторые результаты исследований, характеризующие влияние погоды и климата на производство сельскохозяйственной продукции.

В данной главе проводится постановка некоторых основных задач для эффективного использования природных факторов в сельскохозяйственном производстве и некоторые пути их решения. В частности предложены различные методы прогнозирования основных метеорологических параметров, приведены алгоритмы их реализации. В этой же главе приведены основные положения используемых в работе методов обработки временных рядов. Проведено обоснование предлагаемого метода на примерах решения модельных задач.

Для решения этой проблемы временной ряд многолетних наблюдений метеопараметра представляем выражением вида

$$x(t) = m(t) + C(t) + u(t), \quad (1)$$

где  $m(t)$ - тренд ряда;  $C(t)$ -циклическая составляющая;  $u(t)$ -нерегулярная часть.

Циклические компоненты представлены полигармоническим процессом вида,

$$C(t) = \sum_{i=1}^q (A_i \cos \frac{2\pi}{T_i} t + B_i \sin \frac{2\pi}{T_i} t), \quad (2)$$

где неизвестные  $A_i, B_i, T_i$ , подлежащие определению.

Для выявления циклических составляющих ряда в данной работе используется преобразование Фурье (спектральный анализ) ряда.

$$F_L(\omega) = \frac{1}{L} \int_{-L}^L x(t) e^{-i\omega t} dt \equiv U(\omega) - iV(\omega), \quad (3)$$

где

$$A_j \approx U(\omega) = \frac{1}{L} \int_{-L}^L x(t) \cos \omega_j t dt, \quad B_j \approx V(\omega) = \frac{1}{L} \int_{-L}^L x(t) \sin \omega_j t dt \quad (4)$$

Оценка спектральной плотности определяется в виде

$$I_L(\omega) = \frac{L}{4\pi} |F_L(\omega)|^2 = \frac{L}{4\pi} [U^2(\omega) + V^2(\omega)] \quad (5)$$

Построение функций  $U(\omega)$ ,  $V(\omega)$  позволяет обнаружить в  $x(t)$  периодические компоненты, т. е. определить параметры скрытых периодичностей.

Однако ни один из существующих селективных методов не позволяет получить точное решение этой сложной задачи, в том числе и спектральный анализ. Поэтому для получения более точных результатов в этих методах используется разные приемы. В настоящей работе для решения этой задачи используется спектральный анализ дополненный различными критериями случайности остатка ряда, а также критерием регулярной части – метод классической декомпозиции. Такой совместный анализ регулярной и случайной частей ряда, по мнению автора, приводит к более надежным результатам.

По результатам такого анализа построены математические модели динамики временных рядов метеопараметров для различных сезонов года и среднегодовых значений.

**Во второй главе** приведены модели и результаты анализа и прогноза температуры атмосферного воздуха в различных климатических зонах КБР и Ставропольского края: горной, предгорной и степной в различные сезоны года. Для выделения циклической составляющей ряда в работе, как отмечено выше, используется преобразование Фурье (спектральный анализ), дополненное критериями случайностей остатка ряда и метода классической декомпозиции.

В качестве примера на рис.1 приведены периодограмма и спектр среднегодовой температуры воздуха в горной зоне КБР (пос. Каменномостское).

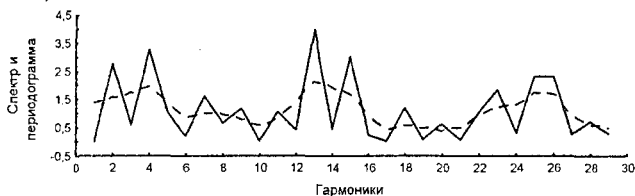


Рис. 1. Периодограмма (сплошная линия) и спектр (пунктирная линия) среднегодовой температуры воздуха.

Периодограмма имеет сравнительно большое число близко расположенных пиков. Из графика спектра (рис. 1, пунктирная линия), полученного сглаживанием периодограммы с помощью спектрального окна Хемминга шириной  $m=5$ , видно, что выделились три области гармоник: низкая, средняя и высокая. Для окончательного выбора циклической составляющей проводится анализ с использованием критериев случайностей остатка ряда и метода классической декомпозиции.

В таблице 1 приведены различные критерии случайности остатка ряда в сравнении с их теоретическими значениями для среднегодовой температуры в горной зоне КБР (пос. Каменноостское).

Таблица 1.

Критерии:	Фактические	Теоретические
Дарбина-Уотсона	1,993	2,00
Числа поворотных точек	36	37
Числа положительных разностей	27	28
Числа отрицательных разностей	27	28

Нетрудно заметить согласие теоретических и фактических значений приведенных критериев, из которого следует, что нерегулярная часть ряда выделена достаточно четко.

На рис. 2 приведены тренд-циклические составляющие среднегодовой температуры в предгорной зоне КБР (г. Нальчик).

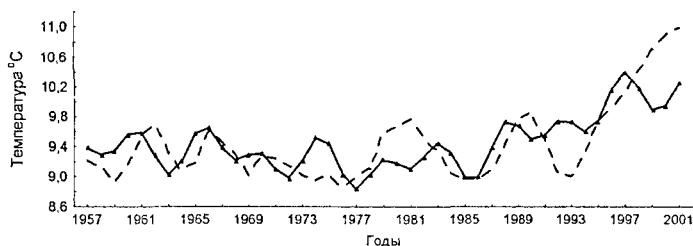


Рис. 2. Тренд-циклические составляющие температуры воздуха спектральный метод (сплошная линия), метод декомпозиции (пунктирная линия).

Приведенный пример наглядно показывает, что выделенная методом спектрального анализа тренд-циклическая составляющая ряда находится в хорошем согласии с аналогичными результатами широко используемого метода классической декомпозиции. Так как метод классической декомпозиции достаточно надежно позволяет разложить временной ряд на основные составляющие, то в данном случае это служит подтверждением надежности полученных результатов в пред-

лагаемом подходе Полученные в результате такого анализа данные позволяют построить математические модели рядов метеопараметров для различных сезонов года для описания их динамики. На основе такого анализа получено, например, что основные характеристики среднегодовой температуры воздуха в горной зоне республики (пос. Каменноостокское) описываются моделью вида

$$Y(t) = 7,175 + 0,012 t + 0,291 \cos\left(\frac{\pi}{28} 3t\right) - 0,17816 \sin\left(\frac{\pi}{28} 3t\right) - 0,17814 \cos\left(\frac{\pi}{7} 3t\right) + 0,3318 \sin\left(\frac{\pi}{7} 3t\right) \quad (6)$$

В следующей таблице приведены результаты анализа и прогноза температуры воздуха в различные сезоны года в предгорной зоне КБР на основе построенных моделей.

Таблица 2

Годы	Прогноз температуры °С (Нальчик)				Прогноз температуры °С (Баксан)			
	Зима	Весна	Лето	Осень	Зима	Весна	Лето	Осень
2004	-1,5	10,5	22	10,1	-1,2	7,0	22,3	10,3
2005	-0,8	9,8	22,1	8,9	0,0	6,9	23,1	11,3
2006	-0,6	9,2	21,8	10	0,9	6,9	23,3	10,9
2007	-1,6	9,5	21,3	11	0,1	6,9	22,5	9,7
2008	-2,5	10,2	21,1	10,4	-0,9	6,9	21,9	10,5
2009	-2,1	10,4	21,3	11	-0,3	7,0	22,4	11,1
2010	-1,3	9,7	21,7	10,5	0,7	7,0	23,1	10,9
2011	-1,5	9,0	21,9	9,7	0,0	7,1	22,9	11,8
2012	-2,4	9,1	21,8	11	-1,4	7,2	22,0	11,7
2013	-2,3	9,8	21,3	11,1	-1,4	7,3	21,7	10,4
2014	-1,1	10,3	20,8	10,2	-0,4	7,4	22,3	10,9
2015	-0,4	9,8	20,8	10,5	-0,4	7,4	22,9	11,6
2016	-0,9	9,1	21,2	9,6	-1,8	7,4	22,5	11,1
2017	-1,2	9,0	21,5	9,4	-2,2	7,4	21,7	11,8
2018	-0,4	9,7	21,6	11,3	-1,0	7,3	21,6	11,9
2019	0,7	10,4	21,1	11,4	-0,3	7,2	22,4	10,3
2020	0,4	10,3	20,6	11	-1,1	7,0	22,9	10,4
2021	-0,5	9,6	20,4	11,3	-1,7	6,7	22,4	11,2
2022	-0,6	9,4	20,6	10	-0,6	6,5	21,6	10,7
2023	0,2	10,0	21	9,9	0,7	6,2	21,8	11,2
2024	0,3	10,8	21,2	11,2	0,4	6,0	22,7	11,7
2025	-0,8	10,9	20,9	10,6	-0,5	5,7	23,0	10,2

В первом пункте наблюдения (г. Нальчик) в зимний период ожи-

даемая средняя температура воздуха в приземном слое остается отрицательной за прогнозируемый период за исключением 2019 и 2020 годов, в которых ожидаются около плюс 0,5 градуса. Наиболее теплые периоды наблюдаются в 2005-2006, 2019-2020 годах. Наиболее холодными периодами являются 2008-2009 и 2012-2013 годы. За прогнозируемый период максимальная отрицательная температура воздуха ожидается в 2008 г, а максимальная положительная температура в 2019 году. Аналогично изменяется температура в другие сезоны года согласно приведенным в таблице данным. Аналогичные результаты получены по всем остальным зонам республики, некоторые результаты таких расчетов приведены на следующих рисунках.

На рис. 3а. приведены графики изменения весенней температуры и ее прогноза в степной зоне КБР (г. Прохладный).

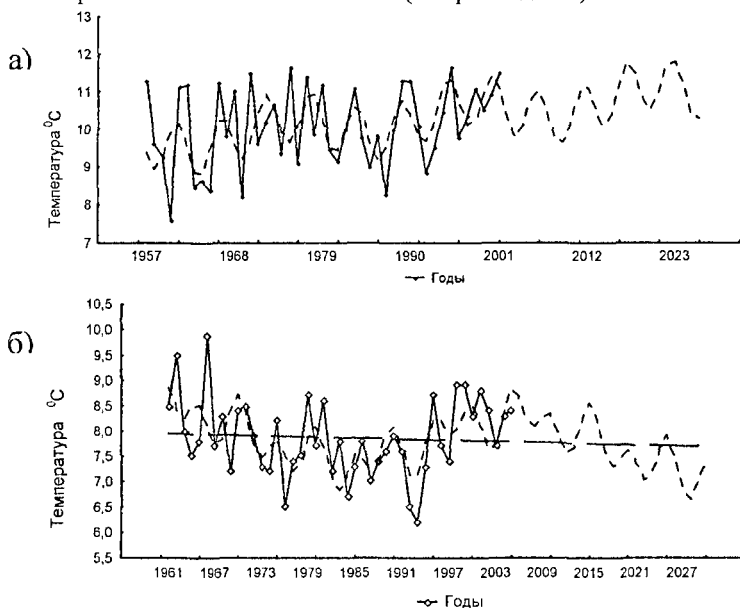


Рис. 3. Фактические (сплошная линия) и прогнозные (пунктирная линия) значения весенней температуры воздуха.

Как видно из рисунка, в данном пункте изменения весенней температуры и ее сглаженные значения хорошо согласуются. Это означает, что выбранная модель ряда достаточно точно описывает основные характеристики исходного ряда, а значит, ее можно использовать для прогнозирования значений весенней температуры воздуха. В целом происходит повышение температуры воздуха от относительно низкой

около 10 градусов тепла в начале прогнозируемого периода (2002 г.) до более высокой- около 11,8 градусов тепла в 2020-2021 годы.

На рис. 3б приведены такие же результаты для горной зоны Ставропольского края (г. Кисловодск). Из графика видно, что в период прогноза значения температуры в среднем уменьшаются, совершая периодические изменения от значения 8 градусов до 7,8 градусов тепла в соответствии с линейным трендом ряда.

Для количественной оценки точности метода проведено вычисление относительной ошибки прогноза средней температуры в горной зоне КБР (пос. Каменноостское), результаты которой приведены в таблице 3.

Таблица 3

Относительная ошибка прогноза среднегодовой температуры %.											Ср.
1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	
9,20	20,1	3,75	9,61	1,99	3,92	7,34	4,24	4,521	10,9	3,79	7,01

Из таблицы видно, что относительная ошибка прогноза изменяется от 4% до 20%, со средним значением 7%.

На следующем рисунке приведены фактические и прогнозные значения среднегодовой температуры воздуха.

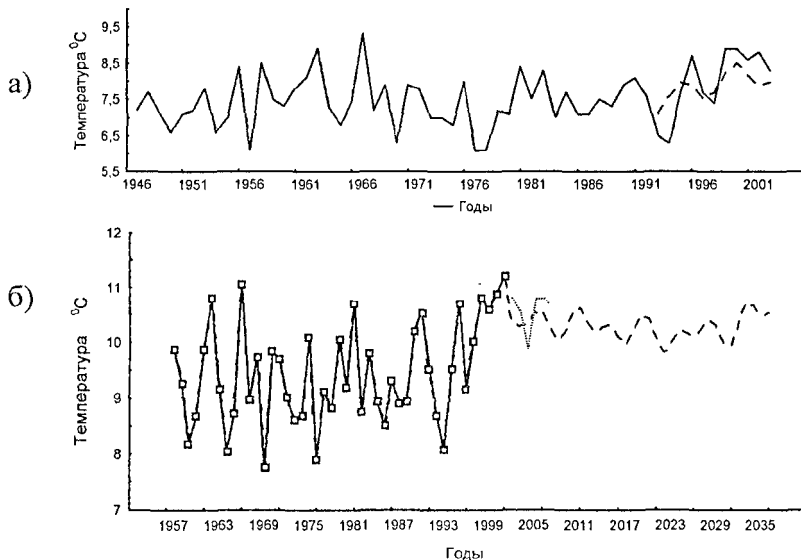


Рис. 4. Фактические (сплошная линия) и прогнозные (пунктирная линия) значения температуры воздуха.

Из графиков рис. 4а следуют, что прогнозные значения (пунктирная линия), полученные в предположении, что последние члены ряда неизвестны, находятся в согласии с их фактическими значениями (сплошная линия).

Из графиков, приведенных на рис.4б, видно, что прогнозные значения среднегодовой температуры воздуха в предгорной зоне КБР (г. Нальчик), полученные по данным до 2002 года (пунктирная линия), хорошо согласуются с фактическими данными (точечная линия), полученными за последние годы (2003-2008 гг.).

Аналогичные исследования проведены по данным метеорологических параметров Ставропольского края. В частности для среднегодовой температуры в горной зоне (г. Кисловодск) получена модель вида:

$$Y(t) = 7,87 - 0,0038t + 0,153 \cos\left(\frac{2\pi}{45}5t\right) + 0,254 \sin\left(\frac{2\pi}{45}5t\right) - \quad (7)$$

$$- 0,217 \cos\left(\frac{2\pi}{45}11t\right) + 0,323 \sin\left(\frac{2\pi}{45}11t\right)$$

Наряду с рассмотренным методом долгосрочного прогнозирования предлагается метод краткосрочного прогнозирования временных рядов метеопараметров, основанный на использовании стохастических моделей.

В методе стохастических моделей для выбора адекватной модели временного ряда из ряда альтернативных проводится анализ автокорреляционной (АКФ) и частной автокорреляционной (ЧАКФ) функций ряда. Используя критерии выбора пробных функций, проводится исследование альтернативных моделей, из которых выбирается адекватная модель.

Прогнозные значения временных рядов в разностной форме при  $k \leq q$ , описываемые моделью авторегрессии проинтегрированного скользящего среднего (АРПСС(p,d,q)), определяются по формуле

$$X_t^*(k) = \phi_1 [X_{t+k-1}] + \phi_2 [X_{t+k-2}] + \dots + \phi_p [X_{t+k-p}] - \quad (8)$$

$$- \theta_1 [a_{t+k-1}] - \theta_2 [a_{t+k-2}] - \dots - \theta_q [a_{t+k-q}]$$

где при  $j \geq 1$   $[X_{t+j}] = X_t^*(j)$  при  $j \geq 0$   $[X_{t-j}] = X_{t-j}$  и  $[a_{t-j}] = a_{t-j}$ , при  $j \geq 1$   $[a_{t+j}] = 0$ ,

где k- упреждение. А на основании последних соотношений при  $k > q$  члены, содержащие  $a_j$ , равны нулю.

Практический интерес представляет исследование минимальной и максимальной температур наиболее теплых периодов и т.д.

В качестве такого примера на рис. 5а. приведен график минимальной температуры воздуха в горной зоне КБР.

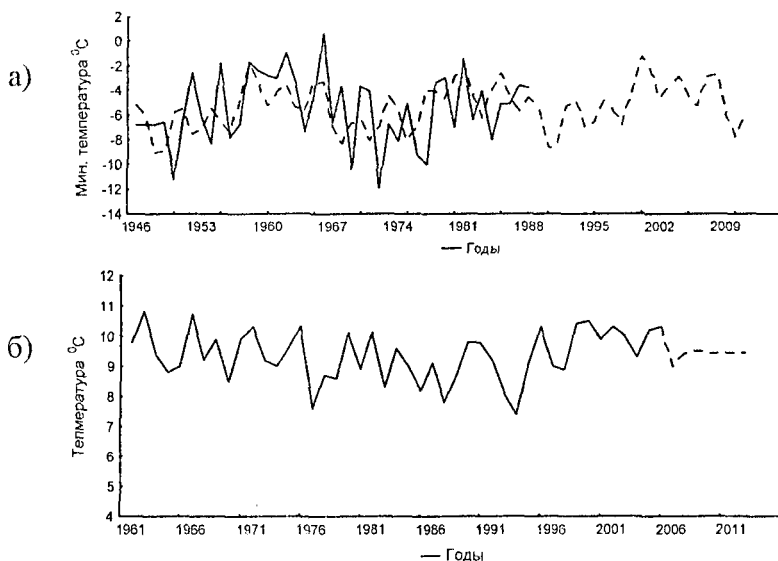


Рис.5. Фактические (сплошная линия) и прогнозные (пунктирная линия) значения среднегодовой температуры воздуха.

Фактические значения этого параметра за период наблюдения (с 1946 по 1998 гг.) иллюстрирует сплошная линия, прогнозные значения до 2010 года – пунктирная линия. Из графиков видно, что имеет место значительное понижение минимальной температуры воздуха в периоды 1988-1991 и 2008-2010 гг., а относительное повышение минимальной температуры ожидается в 2001-2006 гг.

На рис. 5б. приведены результаты краткосрочного прогнозирования среднегодовой температуры атмосферного воздуха, полученные для предгорной зоны Ставропольского края (г. Ставрополь) с использованием стохастических моделей. В данной зоне изменения среднегодовой температуры описывается стохастической моделью авторегрессии проинтегрированного скользящего среднего (АРПСС(2,1,1)). После незначительных колебаний в начале прогноза среднегодовая температура к 2012 году приближается к 9,4 градусам тепла.

Аналогичные результаты получены по остальным зонам. В частности, в предгорной зоне (м.с. Ставрополь) также наблюдается уменьшение температуры в среднем от значения 9,5 (1961 г) до 9,3 градуса тепла (2030 г). В степной зоне (м.с. Арзгир) наблюдается увеличение температуры от значения 10,3 до 11,2 градуса тепла, в соответствии с линейным трендом ряда, совершая периодические изменения с амплитудой около 0,5 градуса.

По результатам краткосрочного прогнозирования в горной зоне (м.с. Кисловодск) среднегодовая температура к 2012 году примет значение около 7,7 градуса тепла, а в степной –около 11 градусов. Примерно тоже самое наблюдается и в аналогичных зонах КБР.

В таблице 4 приведены параметры стохастических моделей температуры воздуха в климатических зонах КБР в различные сезоны года, где  $p1$  и  $p2$ -параметры авторегрессии,  $d$ - порядок разности модели,  $q1$ -параметр скользящего среднего.

Таблица 4.

Параметры стохастических моделей температуры.

Сезоны	Параметры модели			
	$p1$	$p2$	$d$	$q1$
Зима	-0,26	-0,13	1	0,630
весна	-0,21	-0,22	1	0,963
Лето	-0,20	-0,27	1	0,853
Осень	-0,23	-0,03	1	0,926
Ср. год	0,019		1	0,847
Зима	0,042		1	0,913
весна	-0,03	-0,23	1	0,887
Лето	-0,19	-0,23	1	0,644
Осень	-0,04	-0,05	1	0,844
Ср. год	0,622	-0,094	1	0,083
Зима	-0,20	-0,16	1	0,672
весна	-0,04		1	0,808
Лето	-0,01	-0,13	1	0,662
Осень	0,079	-0,16	1	0,928
Ср. год	0,072	0,182	1	0,815

В зимнее время средняя температура воздуха в горной зоне (пос. Каменноостокское) описывается стохастической моделью авторегрессии проинтегрированного скользящего среднего (АРПСС (2,1,1)), параметры которой приведены в таблице 4. Первый коэффициент авторегрессии больше второго, а параметр скользящего среднего намного превосходит параметры авторегрессии. По изложенной методике использования стохастических моделей для анализа и прогноза временных рядов проведено прогнозирование среднегодовой температуры воздуха.

Аналогичные исследования проведены для горной, предгорной и степной зон Ставропольского края. Параметры моделей для среднегодовой температуры воздуха приведены в следующей таблице.

Таблица 5.

Параметры стохастических моделей среднегодовой температуры.

Параметры	$p_1$	$p_2$	$d$	$q_1$
Кисловодск.				
Ср. год	0,04	-0,06	1	0,78
Ставрополь				
Ср. год	-0,0007	-0,1495	1	0,7875
Арзгир				
Ср. год	-0,0337	-0,0756	1	0,8695

**В третьей главе** приведены результаты анализа и прогноза временных рядов количества выпадающих осадков в рассмотренных климатических зонах КБР и Ставропольского края в различные сезоны года, аналогичные полученным во второй главе результатам для температуры воздуха.

На рис. 6а приведены фактические и прогнозные значения среднегодового количества выпадающих осадков в предгорной зоне Ставропольского края (г. Ставрополь) и весеннего количества осадков в степной зоне КБР (г. Прохладный) (рис. 6б).

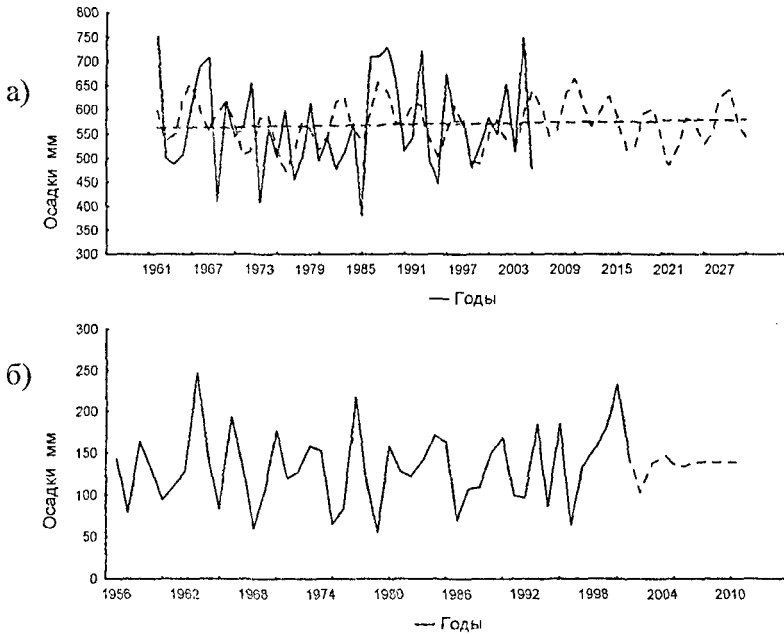


Рис. 6. Фактические (сплошная линия) и прогнозные (пунктирная линия) значения количества выпадающих осадков.

Из графиков (рис. 6а) видно, что основные тенденции в характере изменений фактических значений количества выпадающих осадков (сплошная линия) хорошо отслеживает сглаживающая кривая (пунктирная линия), полученная по изложенной методике долгосрочного прогнозирования.

На графиках (рис. 6б) приведены прогнозные значения весеннего количества осадков в степной зоне КБР (г. Прохладный), полученные на основе метода стохастических моделей. Вначале прогнозные значения быстро уменьшаются до минимального значения около 100 мм, а затем начинают расти и быстро достигают максимального значения около 150 мм, а к концу прогноза они достигают значения около 140 мм.

Количественная оценка точности прогноза приведена в следующей таблице.

Таблица 6.

Относительные ошибки прогноза среднегодового количества осадков %.										Ср. зн.
1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	
Каменноостское										
15,37	20,8	16,8	30,5	30,8	47,4	22,8	72,3	4,95	22,7	28,8
Заюково										
6,537	4,95	11,1	68,0	2,02	25,3	13,8	29,6	9,19	26,2	19,6

В таблице приведены относительные ошибки прогноза количества осадков в пос. Каменноостское и пос. Заюково, из которых следует, что они изменяются от 2% до 72% , а средние значения соответственно равны около 29% и 20%.

**Четвертая глава** посвящена анализу временного ряда относительной влажности воздуха в горной и предгорной зонах КБР в различные сезоны года, аналогичного проведенным в предыдущих разделах.

Как отмечено выше, рассмотренный подход позволяет построить модель, описывающую динамику относительной влажности воздуха, которая используется для получения долгосрочного прогноза, а для краткосрочного прогноза также используются стохастические модели.

Используя изложенную выше методику, построены соответствующие модели прогнозирования временных рядов многолетних наблюдений относительной влажности воздуха в горной и предгорной зонах КБР. Ниже приведены результаты таких исследований.

Параметры стохастических моделей значений относительной влажности воздуха в горной и предгорной зонах КБР приведены в следующей таблице.

Таблица 7

Сезоны	Параметры модели			
	p1	p2	d	q1
Каменноостское				
Зима	0,553	-0,19	1	0,999
весна	0,192		1	0,999
Лето	-0,04		1	0,714
Осень	-0,09		1	0,764
Ср. год	0,129		1	0,882
Нальчик				
Зима	-0,05	-0,03	1	0,93
весна	-0,10		1	0,865
Лето	0,172		1	0,805
Осень	-0,09	-0,18	1	0,695
Ср. год	-0,251	-0,29	1	0,408

Из данных таблицы 7 следуют, что среднегодовая относительная влажность воздуха в рассматриваемой зоне описывается моделью авторегрессии проинтегрированного скользящего среднего (АРПСС(1,1,1)) с небольшим коэффициентом авторегрессии.

Результаты анализа относительной влажности воздуха в различных зонах КБР приведены на следующем рисунке.

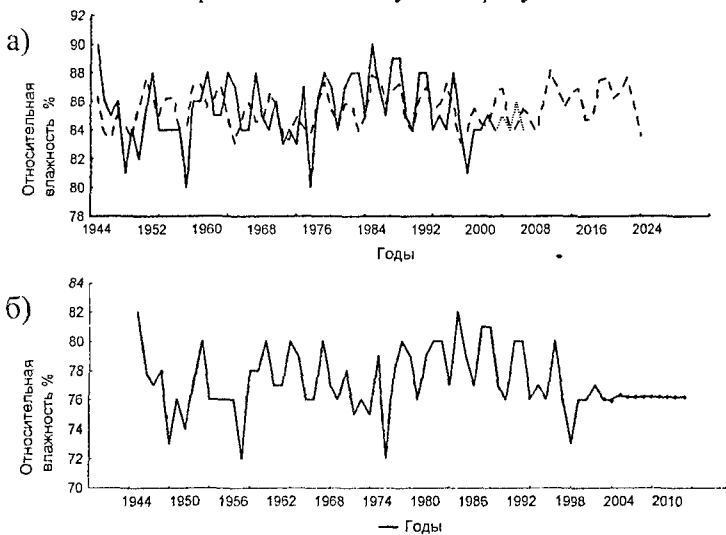


Рис. 7. Фактические (сплошная линия) и прогнозные (пунктирная линия) значения относительной влажности воздуха.

Из графиков (рис. 7а) следуют, что прогнозные значения (пунктирная линия) хорошо согласуются с фактическими значениями (точечная линия), полученными за последние годы.

Из графиков, приведенных на рис.7б, видно, что прогнозные значения (маркированная линия) относительной влажности воздуха достигают максимального значения равного около 76,2 мм, затем начинают падать до минимального значения около 76 мм и снова немного увеличиваются и стабилизируются около значения 76,1 мм.

В табл. 8 приведены прогнозные значения относительной влажности воздуха % в предгорной зоне КБР (г. Нальчик) в различные сезоны года.

Таблица 8.

Годы	Зима	Весна	Лето	Осень	Ср. г.
2004	86,2	74,3	72,7	81,6	78,9
2005	86,0	72,3	72,4	80,7	76,4
2006	85,0	71,8	71,0	79,4	75,9
2007	83,7	73,0	69,5	78,4	77,5
2008	82,7	74,4	69,0	78,2	77,1
2009	82,4	74,4	69,8	78,6	75,9
2010	82,9	73,4	71,5	79,2	77,8
2011	83,7	73,1	72,9	79,4	80,1
2012	84,2	74,4	73,1	79,0	79,0
2013	84,0	76,2	72,0	78,1	77,5
2014	83,0	76,5	70,4	77,4	78,7
2015	81,7	74,9	69,4	77,5	78,9
2016	80,5	73,3	69,7	78,4	76,7
2017	80,2	73,3	71,2	79,7	76,8
2018	80,9	74,7	72,8	80,7	79,5
2019	82,3	75,6	73,5	80,9	79,8
2020	83,7	75,0	72,9	80,4	78,2
2021	84,5	73,9	71,3	79,6	78,7
2022	84,5	74,1	70,0	79,2	79,7
2023	83,6	75,9	69,8	79,4	77,5
2024	82,6	77,7	70,9	80,1	75,6
2025	82,0	77,7	72,6	80,7	74,8

Значения относительной влажности воздуха в зимнее время в данном пункте меняются от 80,2 % до 86,2 %. Малые значения относительной влажности воздуха ожидаются в 2016-2018 годах, а относительно большие значения приходятся на 2004-2006 и 2021-2022 годы. Аналогично изменяется относительная влажность воздуха в другие сезоны согласно приведенным в таблице данным.

Пятая глава посвящена использованию предлагаемых методов в вопросах регулирования природных процессов и оценки их эффективности.

В таблице 9 приведены выделенные предлагаемым методом гармоника и соответствующие им периоды временных рядов метеопараметров.

Таблица 9.

Температура					
Пункты	Зима	Весна	Лето	Осень	Ср. год
Каменноостское, гармоника.	2;11	1;11	9	3;16	3;12
Период	21; 4	42;4	5	14;3	19; 5
Мин темп, гарм.	2;6;11				
Период	21;7; 4				
Нальчик, гарм.	3;13	11;16	1;9	6;11	1;6;12
Период	20;5	5;4	59;6	10;6	59;10;5
Баксан, гарм.	2;10	1;9;19	1;9	2;7;13	1;9
Период	20;4	43;5;2	43;5	21;6;4	43;5
Проходный, гарм.	2;11	2;8	3;9	2;5	2;5;9
Период	22;5	22;5	15;5	22;9	22;9;5
Терек, гарм.	1;6	1;5	8;13	5;11	3
Период	30;5	30;6	4;3	6;3	10
Осадки					
Каменноостское, гарм.	3; 10	6; 9	4; 9	2; 14	2; 9
период	14; 4	7; 6	10; 5	21; 3	28; 6
Заюково, гарм.	1; 11	1; 7	4	2	3;10
период	42; 4	42; 6	10	21	14; 4
Нальчик, гарм.	4; 10	1; 7; 16	2; 8;17	3;9;17	1; 9
период	15; 6	59; 8; 4	29;7;4	19;7;4	59; 6
Баксан, гарм.	3; 6	2; 9	2; 6	2; 13	3; 13
период	15; 8	23; 5	23; 8	23; 4	15; 4
Проходный, гарм	2; 7	1; 5	2; 9	2; 8	6; 13
период	23; 9	46; 9	23; 5	13; 6	8; 4
Терек, гарм.	2; 6	1; 7	2; 12	4; 13	6; 12
период	22; 7	45; 6	23; 4	11; 4	7; 4
Относительная влажность					
Каменноостское, гарм.	2; 5	2; 5	4; 8	1; 5	2; 5
период	21; 8	21; 8	10; 5	42; 9	28; 11
Нальчик, гарм.	3; 7	1;5;11	1; 8	3;8;14	3;7
период	19; 8	59;12;5	59; 7	19;7;4	19; 8

Из данных таблицы следуют, что в спектрах рассмотренных метеопараметров выделяются три области гармоник: низкие 1-3 (с периодами 59-20 лет), средние (с периодами 7-15 лет) и высокие (с периодами 3-6 лет).

Так как сеть метеорологических наблюдений ограничена, возникает задача оценки значений метеорологических параметров в пунктах, не охваченных сетью наблюдений. В данном разделе предложен подход, позволяющий определить временные ряды метеопараметров в любом месте (пункте) исследуемой территории по результатам измерений метеопараметров в пунктах наблюдений.

Уравнение баланса температуры в произвольном объеме приземного слоя воздуха можно записать в виде

$$\int_V \frac{\partial T}{\partial t} dV = - \oint_S TC ds + \int_V \varepsilon dV, \quad (9)$$

где выражение слева описывает изменение температуры воздуха в выделенном произвольном объеме  $V$  воздуха; первое слагаемое справа - поток температуры  $TC$  через поверхность  $S$ , ограничивающую выделенный объем;  $C$  - скорость потока;  $\varepsilon$  - объемная плотность источников тепла, включая солнечную и земную радиации. Используя теорему Остроградского-Гаусса и учитывая, что выделенный объем произвольный, имеем:

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \text{div}(TC) = \varepsilon \quad (10)$$

Далее, используя соотношение  $\text{div}(TC) = T \text{div}C + C \text{grad}T$  и учитывая, что  $\text{div}C = 0$ , получим

$$\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + \omega \frac{\partial T}{\partial z} = \varepsilon, \quad (11)$$

или с учетом, что вдоль широты (ось  $y$ ) температура постоянна, имеем

$$\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + \omega \frac{\partial T}{\partial z} = \varepsilon, \quad (12)$$

где  $u$ ,  $\omega$  - соответственно горизонтальная (вдоль меридиана) и вертикальная составляющие скорости воздуха. Интегрируя уравнение (12) от  $0$  до  $t$ , имеем

$$T = T_0 + \varepsilon_u t - \frac{\partial T}{\partial x} \Delta x + \frac{\partial T}{\partial z} \Delta z - \int_0^t \varepsilon_n dt, \quad (13)$$

где  $\Delta x = u \Delta t$  и  $\Delta z = \omega \Delta t$  соответственно, а  $x$ ,  $z$  - соответственно горизонтальная и вертикальная координаты пункта;

$\varepsilon = \varepsilon_u - \varepsilon_n$  -разность между объемной плотностью источника тепла, связанная с поступлением примесей (парниковых газов) в атмосферу, и объемной плотностью «поглощения» тепла в выделенном объеме воздуха в результате убыли примесей в рассматриваемом объеме воздуха. При интегрировании выражения (12) учтено, что в рассматриваемом сезоне суммарный поток приходящей солнечной радиации за сезон (год) на земную поверхность зависит линейно от состава атмосферного воздуха, в котором находится исследуемый пункт. Тогда оценку значений температуры  $T$  в любом пункте наблюдения можно определить по формуле

$$T = T_0 + T_1 t - \frac{\partial T}{\partial x} \Delta x \cos \alpha + \frac{\partial T}{\partial z} \Delta z + \sum a_i \cos \omega_i t + b_i \sin \omega_i t, \quad (14)$$

где  $T_0, T_1$  -параметры полиномиальной модели;  $\frac{\partial T}{\partial z}, \frac{\partial T}{\partial x}$  - вертикаль-

ный и горизонтальный градиенты температуры воздуха, определяемые по данным наблюдений;  $\Delta x$  -расстояние от пункта до экватора;  $\alpha$  -угол между пунктом и меридианом, который изменяется в интервале

$[0; \pi]$ ;  $\omega_i = \frac{2 \cdot \pi}{N}$  -циклическая частота ряда;  $N$  -длина ряда;  $\Delta z$  -высота

пункта над уровнем моря;  $k$  -число выделенных гармоник;  $a_i, b_i$  -коэффициенты Фурье ряда.

Сопоставляя формулы и (13) и (14), получим

$$\int_0^t \varepsilon_n dt = - \sum_{i=1}^k a_i \cos \omega_i t + b_i \sin \omega_i t \quad \text{и} \quad T_1 = \varepsilon_n$$

Ниже приведены результаты расчетов, полученных по формуле (14) значений среднегодовой температуры и их фактических значений (табл. 10).

Таблица 10

Расчетные и фактические значения среднегодовой температуры воздуха.

№ п/п	Высота н.у. м.	Пункт наблюдения	Фактические значения	Расчетные значения
1	793	Каменноостское	7,398	7,399
2	660	Заюково		8,083
3	450	Нальчик	9,358	9,165
4	460	Баксан	9,74	9,63
5	212	Терек	10,7	10,549
6	181	Прохладный	10,2	10,33

Из этих данных видно, что расчетные и фактические значения

среднегодовой температуры находятся в хорошем согласии.

Рассмотрены также возможности использования предлагаемых методов для решения ряда других задач, в частности, для оценки эффективности АВ на облака, ПЗ и др. На основании такого анализа установлено, что основные процессы, формирующие характер изменения отражаемости в облачных процессах большой продолжительности, можно описать моделью, аналогичной использованной при описании изменений метеопараметров. В частности, в облачном процессе 05.06.89 12.00 (КБР) радиолокационная отражаемость на длине волны 10 см описывается следующей моделью:

$$Y(t) = 50,87 + 0,47 t - 19,45 \cos\left(\frac{\pi}{17}t\right) - 2,77 \sin\left(\frac{\pi}{17}t\right) + 1,32 \cos\left(\frac{\pi}{17}2t\right) + 2,27 \sin\left(\frac{\pi}{17}2t\right) \quad (15)$$

С использованием формулы (15) можно получить прогноз временного хода радиолокационной отражаемости реального облака 14.07.2004 14.57 (КБР). На рис. 8а. приведены фактические и прогнозные значения отражаемости облака, развивавшегося над КБР.

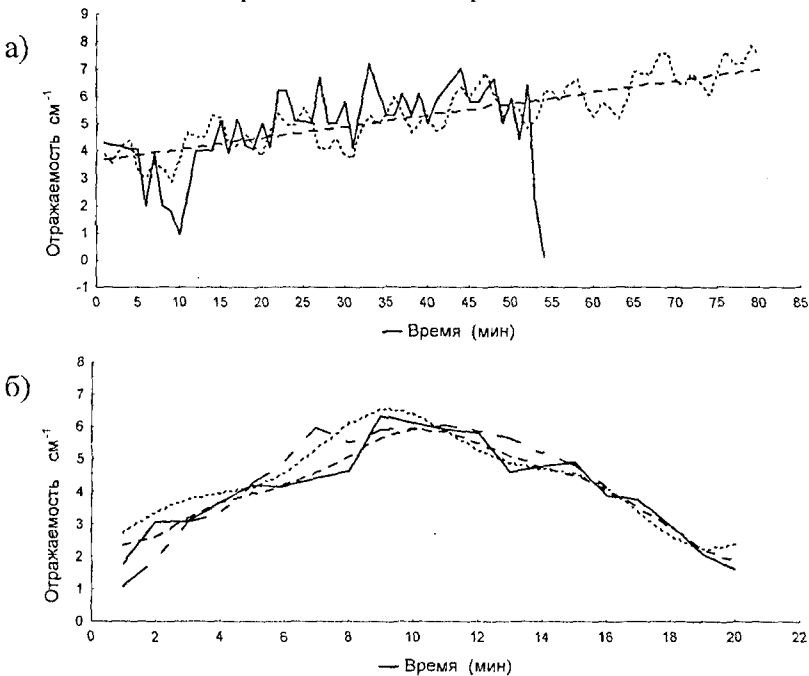


Рис. 8. Отражаемости облаков (сплошные линии) и прогнозные значения (пунктирные линии).

Из графиков, приведенных на рис. 8а, следуют, что предлагаемый подход позволяет достаточно точно описать характер изменения радиолокационной отражаемости в облаке и может быть использован в задачах прогнозирования ее значений и оценки эффективности воздействий на облака.

На рис. 8б. приведены результаты анализа и численного метода расчета радиолокационной отражаемости реального облака в КБР (05.06.89 12.00). Из этих графиков видно, что кривые временного хода отражаемости, построенные различными методами: численным (штрих пунктирная линия), декомпозиции (пунктирная линия) и предлагаемым методом (точечная линия)) находятся в хорошем согласии.

В данной главе приведены результаты анализа по оценке эффективности активных воздействий на метеорологические процессы. По пункту (м.с. Арзгир) орошаемой территории степной зоны Ставропольского края проведена оценка физического эффекта работ по ИУО в годы проведения активных воздействий (с 1986 по 1994) с использованием прогнозных значений, полученных на основе предложенных моделей.

Для оценки физического эффекта АВ предлагается формула

$$N_i = \left[ 1 - \frac{X_i}{X_i^n} \right] \cdot 100\% , \quad (16)$$

где  $X_i$ ,  $X_i^n$  -соответственно фактические и прогнозные значения показателя эффективности АВ.

Ниже на следующем рисунке приведены такие результаты.

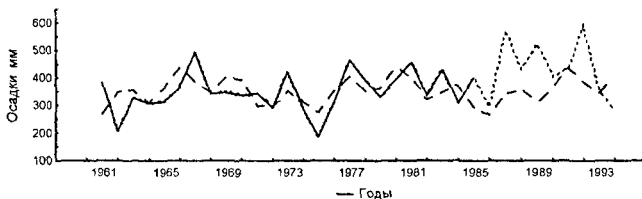


Рис. 9. Фактические (сплошная линия) и прогнозные (пунктирная линия) значения ряда.

Из графика следует, что в годы воздействий (1986-1994 гг.) фактические значения количества осадков (точечная линия) существенно больше прогнозных (пунктирная линия).

Результаты оценки экономической эффективности активных воздействий по ИУО на урожайность озимой пшеницы за годы проведения работ по Ставропольскому краю по годам, методом стохастических моделей, лагового анализа и прогнозирования на основе предложенных моделей, приведены в таблице 11.

Таблица II

Результаты оценки эффективности активных воздействий на метеорологические процессы.

Годы	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	Ср.
Стох. мод.	0,34	0,170	0,15	0,35	0,35	0,33	0,28	0,36	0,09	0,3
Лаг. анал.	-0,2	-0,9	-0,01	0,12	0,01	0,12	0,15	0,16	-0,08	0,02
Мет. спектр. ан.	0,08	0,532	0,19	0,32	0,24	0,17	0,27	-0,1	-0,3	0,2

Из данных таблицы следует, что имеет место как положительный, так и отрицательный эффект по годам, однако в среднем за годы проведения мероприятий по ИУО эффект положительный.

**Анализ распределенных лагов метеопараметров и методы оценки эффективности противоградовой защиты.** Анализ различных пар метеопараметров, проведенный в предыдущих разделах, показал, что между метеопараметрами существуют статистические связи, особенно сильные корреляционные связи наблюдаются внутри зон. При достаточно высоких связях между параметрами удастся получить регрессионные уравнения, позволяющие построить один временной ряд по значениям другого, причем результаты, получаемые при этом, достаточно точно воспроизводят основные характеристики временных рядов. По результатам такого анализа получено регрессионное уравнение для количества осадков в горной зоне КБР:

$$Y(i) = 476.8 + 1.6 * (i-5) + 0.5495 * Z(i) + 0.242 * Z(i-4) \quad (17)$$

Такой подход предлагается использовать в методах оценки эффективности противоградовой защиты по данным на контрольной территории (КТ).

Для оценки эффективности противоградовой защиты по данным на ЗТ предлагается использовать изложенный метод долгосрочного прогнозирования метеопараметров. А именно, по этой методике определить ожидаемые (прогнозные) значения показателей эффективности противоградовой защиты (ПГЗ) и по разности их значений с фактическими значениями оценить эффективность ПГЗ.

В данной работе для оценки эффективности ПГЗ по данным на ЗТ предлагается формула:

$$N_i = \left[ 1 - \frac{Y_i}{Y_i^n} \right] \cdot 100\% \quad (18)$$

где  $Y_i, Y_i^n$  - значения  $i$ -го показателя эффективности на ЗТ в год защиты и его прогнозные значения в годы проведения противоградовых работ, соответственно.

Для оценки эффективности ПГЗ по данным на КТ предлагается

формула:

$$N_i = \left[ 1 - \frac{Y_i}{Y_i^{ПКГ}} \right] \cdot 100\% , \quad (19)$$

где  $Y_i^{ПКГ}$  - прогнозные значения в годы проведения ПГЗ.

С использованием предлагаемой методики проведены расчеты для оценки эффективности противоградовых работ, проведенных в Болгарии. Из анализа данных видно, что эффективность проведения ПГЗ в Болгарии меняется от года к году. Имеет место как положительная, так и отрицательная эффективность. В среднем за годы проведения ПГЗ (с 1971 по 1980) получена положительная эффективность равная 30-35 %.

#### **Основные выводы и рекомендации.**

1. Предложен общий подход для построения моделей динамики временных рядов многолетних наблюдений метеопараметров и временного хода различных параметров облаков, основанный на разложении этих метеопараметров на основные составляющие с использованием преобразования Фурье, дополненного критериями случайностей остатка ряда и метода классической декомпозиции.

2. На основе предложенного подхода построены модели описания динамики временных рядов многолетних наблюдений метеорологических параметров, характеризующих режимы атмосферных осадков, температуры и влажности воздуха, и динамики временного хода различных параметров облаков и показателей эффективности АВ на облака.

3. Разработаны методы долгосрочного прогнозирования динамики временных рядов многолетних наблюдений метеопараметров и экстраполяции временного хода различных параметров облаков с использованием построенных моделей динамики метеопараметров. Проведены расчеты прогнозных значений природно- климатических характеристик, т.е. основных метеорологических параметров (количества осадков, температуры и влажности атмосферного воздуха) в различных климатических зонах Центрального Предкавказья (на примере Кабардино- Балкарской Республики и Ставропольского края) на период до 2030 года.

Построены модели и проведена экстраполяция значений временного хода различных параметров облаков, развивавшихся на территории КБР.

Сравнение полученных результатов с фактическими значениями, в том числе полученными за последние годы, а также результаты проверки моделей на примерах решения тестовых задач показали работоспособность метода и хорошее согласие прогнозных значений с фак-

тическими.

4. Для краткосрочного прогнозирования (с относительно небольшим числом точек наблюдения) предложен метод стохастических моделей, который позволяет получить более точный прогноз на короткий срок. Однако он не позволяет строить долгосрочный прогноз, с чем связано использование двух методов прогнозирования.

5. Усовершенствованы методы оценки эффективности АВ на облака с целью противорадовой защиты и искусственного увеличения осадков на основе разработанных моделей с использованием данных на ЗТ, а для данных на КТ- с использованием лагового анализа.

6. С использованием построенных моделей прогнозирования проведены расчеты по оценке эффективности активных воздействий на облака по данным ПГЗ Болгарии и ИУО Ставропольского края. Сравнение полученных результатов с результатами, полученными другими методами, показало их хорошее согласие.

7. Предложен метод оценки значений метеопараметров в любом пункте исследуемой территории по данным метеостанций, основанный на уравнении теплового баланса атмосферного воздуха. Проведены расчеты и сравнение результатов, полученных на основе предложенной модели с фактическими, которые показали их хорошее совпадение.

8. Предложен метод интерполяции (восстановления) данных, отсутствующих в рядах наблюдений, на основе лагового анализа. Проведены расчеты по оценке недостающих членов ряда в одном из пунктов наблюдения горной зоны КБР, данные которых отсутствуют с 1981 по 1987 гг. Сравнение полученных результатов с результатами линейной интерполяции недостающих членов ряда показало, что предлагаемый метод дает более реальные результаты.

9. Предложен также метод оценки эффективности активных воздействий на облака совместно с численными методами и методом классической декомпозиции. Проведенные расчеты показали, что совместное использование различных методов позволяет получить более надежные результаты, нежели использование каждого из них в отдельности.

10. На основании полученных в диссертации результатов можно дать некоторые рекомендации по эффективному использованию природных факторов и управлению различными метеорологическими процессами.

10.1. Число пунктов наблюдений в степной зоне можно ограничить в связи с тем, что средняя летняя, весенняя и осенняя температуры воздуха в степной зоне практически совпадают, тогда как в горной и предгорной зонах требуется более густая сеть метеорологических станций.

10.2. При проведении АВ на облака с целью вызывания осадков в горной зоне АВ рекомендуется проводить локально по согласованию со

службами предупреждения схода лавин, селей, оползней и др.; в предгорной зоне ранней весной нужны мероприятия по рассеиванию облаков из-за частых продолжительных обложных дождей, которые к тому же по прогнозам должны увеличиться; в степной зоне поздней весной и летом нужны АВ по вызыванию осадков. В остальные сезоны года из-за неоднозначности поведения метеорологических процессов пока нельзя уверенно определить стратегические мероприятия по их регулированию и нужны тактические решения, адекватные создавшимся условиям.

10.3. Предлагаемый метод оценки эффективности АВ на облака, основанный на совместном использовании данного подхода и численных методов, может быть эффективно использован в задачах регулирования осадков и оценке их эффективности.

**Результаты диссертации опубликованы в следующих работах:**

**Из перечня ВАК по специальности «Науки о земле»**

1. Шугунов, Л.Ж. Спектральный анализ температуры воздуха и количества выпадающих осадков в различных зонах Ставропольского края. //Естественные и технические науки. –М.:2008.- №4.-С.212-214.
2. Шугунов, Л.Ж. Оценка эффективности активных воздействий по ИУО Ставропольского края. //Естественные и технические науки. – М.: 2008.- №4.- С. 215-216.
3. Шугунов Л.Ж. Полуэмпирическая методика определения территориальных метеопараметров по данным отдельных пунктов наблюдений. //Изв. вузов. Сев.-Кав. регион. Естест. науки.-2007.-№3.-С.99-102.
4. Шугунов Л.Ж. Стохастические модели в анализе временных рядов метеопараметров в Кабардино- Балкарской республике. //Доклады Адыгской (Черкесской) Международной академии наук. -2008. - Т.10, №2.- С. 107-112.
5. Шугунов Л.Ж., Шугунов Т.Л. Исследование и анализ среднегодовой температуры на основе методов спектрального анализа и классической декомпозиции. //Изв. вузов. Сев-Кав. регион. Естест. науки. Приложение. -2006. -№1.- С. 83-88.
6. Шугунов Л.Ж. Прогнозирование метеопараметров на основе стохастических моделей. //Изв. вузов. Сев-Кав. регион. Естест. науки. Приложение.-2006.- №1.-С. 77-83.
7. Шугунов Л.Ж., Шугунов Т. Л Методы оценки эффективности противорадовой защиты на основе анализа распределенных лагов метеопараметров. //Изв. вузов. Сев.-Кав. регион. Естест. науки.-2007. - №4.- С. 110-112.
8. Шугунов Л.Ж., Шугунов Т.Л., Шаповалов А.В., Инюхин В.С., Куповых Г. В. Спектральный и численный анализы радиолокационной

отражасмости градовых облаков. //Изв. вузов. Сев.-Кав. регион. Естест. науки. Спецвыпуск. -2007. -С. 79-82.

9. Ашабоков Б.А., Федченко Л.М., Шугунов Л.Ж. Разложение и прогноз временных рядов метеопараметров в степной зоне КБР. //Изв. вузов. Сев.-Кав. регион. Естест. науки. Спецвыпуск.-2007.-С.59-62.
10. Шугунов. Л.Ж., Шугунов. Т.Л., Калов Х.М. Анализ и прогноз основных метеопараметров в различных зонах Кабардино- Балкарской республике. //Доклады Адыгской (Черкесской) Международной академии наук. -2008. -Т.10.- №2.- С. 113-117.

#### **Из перечня ВАК по другим специальностям**

1. Шугунов Л.Ж., Шугунов Т.Л. Анализ лагов временных рядов метеопараметров в горной зоне КБР. //Обзорение прикладной и промышленной математики. - 2007.- Т.14, вып. 5.- С. 810-814.
2. Шугунов Л.Ж., Шугунов Т.Л. Использование стохастических моделей в анализе временных рядов метеопараметров. //Обзорение прикладной и промышленной математики. - 2007. - Т.14, вып.1.-С. 171-175.
3. Калов Х.М., Шугунов Л.Ж. Шугунов Т.Л. Статистический анализ и разложение временного ряда среднегодового количества выпавших осадков в горной зоне КБР. //Обзорение прикладной и промышленной математики.- 2007.-Т.14, вып. 5. -С. 798-804.
4. Шугунов Л.Ж., Куповых Г.В. Метод распределенных лагов в анализе временных рядов метеопараметров. //Известия ТРТУ.- 2005.- № 11.- С. 11-14.
5. Шугунов Л.Ж., Куповых Г.В. Разложение , анализ и прогноз временных рядов метеопараметров. // Известия ТРТУ.-2005.- № 11.- С. 15-20.

#### **Публикации в различных научных журналах.**

1. Шугунов Л.Ж., Шугунов Т.Л., Калов Х. М. Особенности климатических зон КБР и возможности регулирования осадков.- Нальчик, КБГСХА, 2006. -226с.
2. Шугунов Л.Ж. Динамика среднегодового количества осадков в горной зоне КБР. //Вестник КБГУ. Серия физические науки.- Нальчик.- 2004.- Вып. 9.-С. 56-57.
3. Шугунов Л.Ж. Об одном методе прогнозирования естественного хода показателей эффективности в методах оценки эффективности противоградовых работ. //Тр. ВГИ.- 1992 .- Вып.85.- С. 49-53.
4. Ашабоков Б.А., Федченко Л.М., Шугунов Л.Ж. Метод анализа эффективности противоградовых работ, основанный на выделении скрытых периодичностей во временных рядах. //Тр. ВГИ.- 2002.- Вып.92. - С.135-144.
5. Ашабоков Б.А., Федченко Л.М., Шугунов Л.Ж. К вопросу об оценке

- физического эффекта воздействий на градовые процессы. //Тр. ВГИ. - 1989.- Вып.74.- С.133-137.
6. Ashabocov B.A., Fedchenko L.M., Shugunov L.G. Method For coalution of economic efficiency of hailstorm feeding operations. Междун. конференция по физике облаков Beijing,China (8-12 May, 1989).- С.391-394.
  7. Шугунов Л.Ж., Шугунов Т.Л. Стохастические модели в анализе временных рядов метеопараметров. //Вестник КБГУ. Серия физические науки.- Нальчик- 2005.- Вып. 10. -С. 46-49.
  8. Ашабоков Б.А., Федченко Л.М., Шугунов Л.Ж Об одном подходе к решению задачи прогнозирования в методах оценки эффективного воздействия на градовые процессы. //Тр. Всесоюзного семинара.- Нальчик, 16-21 октября 1991 г.- С. 148-152.
  9. М.Т. Абшаев, Б.А. Ашабоков, В.С. Макитов, Л.М. Федченко, Л.Ж. Шугунов. Об оценке физической эффективности экспериментов по воздействию на градовые облака. //Тр. Всесоюзной конференции. г.Киев, 17-21 ноября 1990 г.- С.181-185.
  10. Шугунов Л.Ж., Шугунов Т.Л Анализ временных рядов метеорологических параметров на территории КБР с использованием стохастические модели. //Обозрение прикладной и промышленной математики. - М.: 2005. - Том 14, вып.1.- С 1139-1140.
  11. Калов Х.М., Шугунов Л.Ж., Шугунов Т.Л. Динамика временных рядов метеопараметров в горной зоне КБР. //Обозрение прикладной и промышленной математики. - М.: 2005. - Том 14, вып.1.- С. 981.
  12. Шугунов Л.Ж. Стохастические модели в задачах прогнозирования природных факторов. //Всеросс. конф. по физике обл. и акт. возд. на гидромет. проц. – Нальчик, 1997.- С. 35.
  13. Шугунов Л.Ж. Стохастические модели в методах оценки эффективности активных воздействий на градовые облака. //Всеросс. конф. по физике обл. и акт. возд. на гидромет. проц.- Нальчик, 1997.- С. 110.
  14. Аджиева А.А., Шугунов Л.Ж. Об одном подходе к прогнозированию осадков по многолетним данным. //Тр. Всероссийского Симпозиума "Математическое Моделирование и компьютерные технологии".- Кисловодск, апрель 1997.- С. 7.
  15. Аджиева А.А., Ашабоков Б.А., Шугунов Л.Ж. Метод прогнозирования природных факторов при планировании сельскохозяйственных мероприятий.// Материалы научно-практической конференции.-Нальчик, КБГСХА, 1996.-С.91-94.
  16. Шугунов Л.Ж. К задаче прогнозирования природных факторов на основе стохастических моделей. //Тр. Всероссийского симпозиума "Математическое моделирование и компьютерные технологии".-

- Кисловодск, апрель 1997.- С. 24.
17. Шугунов Л.Ж., Шугунов Т.Л. Стохастические модели в анализе временных рядов метеорологических параметров. //Тезисы Всеросс. конф. по физике обл. и акт. возд. на гидромет. проц. 28-30 сентябрь.- Нальчик, 2005.- С.120-121.
  18. Калов Х.М., Шугунов Л.Ж., Шугунов Т.Л. Результаты анализа и разложения временных рядов метеопараметров для горной зоны КБР. //Тезисы Всеросс. конф. по физике обл. и акт. возд. на гидромет. проц. 28-30 сентябрь.- Нальчик, 2005.- С.118.
  19. Калов Х.М., Шугунов Л.Ж., Шугунов Т.Л. Использование методов классической декомпозиции в анализе временных рядов метеопараметров в горной зоне КБР. //Тезисы Всеросс. конф. по физике обл. и акт. возд. на гидромет. проц.- Нальчик, 2005.- С.119.
  20. Шугунов Л.Ж., Шугунов Т.Л. Анализ распределенных лагов временных рядов метеопараметров в горной зоне КБР. //Тезисы Всеросс. конф. по физике обл. и акт. возд. на гидромет. проц.- Нальчик, 2005. - С.120.
  21. Кумыков Х.К., Шугунов Л.Ж. Некоторые результаты прогнозирования динамики летних осадков на основе стохастических моделей. //Системные проблемы надежности, математического моделирования и информационных технологий. -Москва – Сочи, 1998.- С. 19.



Отпечатано с готового оригинал-макета  
Подписано в печать 20.05.09г. Формат 60 X 84  $\frac{1}{16}$   
Бумага офсетная. Усл. п.л. 2,0. Тираж 80. Заказ № 1032