

На правах рукописи

*Литовка*

**ЛИТОВКА НАТАЛЬЯ ИВАНОВНА**

**АНАЛИЗ И ПРОГНОЗ ДИНАМИКИ РЕЖИМА ОСАДКОВ И  
ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ  
В СТЕПНОЙ ЗОНЕ КБР НА ОСНОВЕ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ**

25.00.30 - Метеорология, климатология, агрометеорология

**Автореферат**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук

НАЛЬЧИК 2004

Работа выполнена в ГУ «Высокогорный геофизический институт» Росгидромета и Кабардино-Балкарской государственной сельскохозяйственной академии

**Научный руководитель:** доктор физико-математических наук,  
**СНС Калов Хажбара Мамизович**

**Официальные оппоненты:** доктор физико-математических наук,  
**Сенов Хамиша Машгериевич**  
доктор географических наук, профессор  
**Федченко Людмила Михайловна**

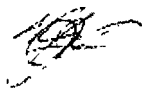
**Ведущая организация:** Северо-Осетинский государственный университет (г.Владикавказ)

Защита состоится 10 декабря 2004 года в 13— часов на заседании диссертационного совета Д.327.001.01 при Высокогорном геофизическом институте по адресу: 360030, КБР, г.Нальчик, пр. Ленина, 2.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Высокогорного геофизического института.

Автореферат разослан 5 ноября 2004 г.

Ученый секретарь диссертационного  
Совета доктор географ, наук



В.В.Разумов

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** Проблемы, связанные с исследованием изменений режима осадков и температурного режима в системе приземный слой атмосферы - подстилающая поверхность и возможных их последствий, в частности, для сельского хозяйства в последние годы приняли актуальный характер и привлекают все большее внимание исследователей.

К настоящему моменту в данном направлении получены существенные результаты и в то же время есть еще много серьезных вопросов, которые требуют дальнейшего исследования. Но, несмотря на такое состояние данного научного направления-, по мнению многих исследователей, необходимо проведение исследований, направленных на решение проблемы адаптации сельского хозяйства регионов к изменениям температурного режима воздуха и почвы и режима осадков.

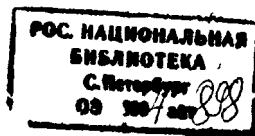
Следует отметить, что данная проблема - чрезвычайно сложная и многосторонняя и требует решения многих в разной степени взаимосвязанных между собой задач.

Одной из этих задач является выявление тенденции в динамике режима осадков и температурного режима воздуха и почвы в системе приземный слой атмосферы - подстилающая поверхность.

Причем, эта задача должна быть решена для каждого региона из-за того, что изменения этих характеристик могут быть существенно различными даже для соседних регионов. Этот вопрос нельзя считать до конца решенным для большинства регионов РФ, в том числе и территории КБР. Основной информацией для решения этой задачи являются многолетние данные о различных метеопараметрах, характеризующих режимы осадков и температуры воздуха в приземном слое атмосферы. Не останавливаясь подробно, отметим, что корректное решение данной задачи предъявляет достаточно строгие требования к качеству и объему данных.

Что касается методов анализа этих данных (временных рядов значений метеопараметров), то основными из них остаются математико-статистические методы. Но использование этих методов требует в некоторых случаях осторожности и в связи с этим их желательно дополнить и другими методами.

Другой важнейшей задачей является прогнозирование динамики этих же природно-климатических характеристик. Очевидно, что, чем выше точность прогнозирования и чем больше период упреждения, тем большую ценность представляют результаты прогнозирования для принятия различных решений. В связи с этим и требования к методам



прогнозирования должны быть достаточно высокими. При этом модели прогнозирования должны учитывать особенности динамики природно-климатических характеристик, а тем самым и особенности влияющих на них факторов, важнейшей из которых является наличие цикличностей в их динамике.

Это требует проведения анализа спектральной структуры временных рядов метеопараметров с целью выделения скрытых в них цикличностей.

Кроме этого, для решения задачи адаптации производства сельскохозяйственной продукции к изменениям режима осадков и температурного режима воздуха в приземном слое атмосферы для конкретных регионов необходима разработка математической модели оптимизации сочетания сельскохозяйственных культур.

Таким образом, с точки зрения изучения изменений отмеченных характеристик и адаптации развития экономики региона к этим изменениям представляет интерес анализ их динамики, а также построение модели и прогнозирование дальнейших их изменений.

#### **Цель и задачи работы.**

Цель диссертационной работы заключается в исследовании изменений режима осадков и температурного режима воздуха и почвы в системе приземный слой атмосферы - подстилающая поверхность в степной зоне территории КБР; в разработке метода и прогнозировании изменений этих характеристик на предстоящий 15-летний период; в разработке математической модели оптимизации структуры посевных площадей с учетом изменений отмеченных характеристик.

Достижение поставленной цели потребовало решения следующих задач:

- математико-статистический анализ временных рядов метеопараметров, характеризующих режимы температуры воздуха и почвы в системе приземный слой атмосферы - подстилающая поверхность в степной зоне КБР в различные сезоны года;
- математико-статистический анализ временных рядов метеопараметров, характеризующих режим атмосферных осадков в степной зоне КБР в различные сезоны года;
- фрактальный анализ временных рядов этих же метеопараметров;
- построение фазовых портретов метеопараметров и выделение скрытых во временных рядах периодичностей;
- построение модели прогнозирования временных рядов различных метеопараметров;

- прогнозирование временных рядов метеопараметров, характеризующих режимы температуры и осадков в приземном слое атмосферы в степной зоне КБР в различные сезоны года;

- построение модели адаптации сельского хозяйства к изменениям температуры воздуха и режима осадков.

При решении этих задач использовались данные двух метеостанций о средней и максимальной температуре воздуха, минимальной температуре почвы, суммарном количестве осадков, суточном максимуме осадков, числе дней с осадками 5мм и более в различные сезоны года за последние примерно 50 лет.

### **Научная новизна.**

В работе впервые получены следующие результаты:

- закономерности изменения за последние примерно 50 лет метеопараметров, характеризующих температурные режимы воздуха в приземном слое атмосферы и почве в различные месяцы и сезоны, в степной зоне КБР;

- закономерности изменения за этот же период режима осадков за год и за различные сезоны года в этой же климатической зоне республики;

прогнозные значения метеопараметров, характеризующих температурные режимы воздуха и почвы, а также режима осадков в степной зоне КБР на предстоящие 15 лет;

- спектральные структуры метеопараметров, характеризующих режим осадков и режим температуры воздуха в приземном слое атмосферы;

- математическая модель оптимизации структуры посевных площадей с учетом изменения режима температуры воздуха и осадков в системе приземный слой атмосферы - подстилающая поверхность.

**Практическая ценность** работы состоит в том, что получены тенденции изменения режима осадков и режима температуры воздуха и почвы в системе приземный слой атмосферы - подстилающая поверхность, а также их прогнозные значения на предстоящий 15-летний период.

Разработана также математическая модель оптимизации сочетания сельскохозяйственных культур с учетом изменений природных факторов.

Полученные результаты могут быть использованы для решения важной задачи - задачи адаптации производства сельскохозяйственной продукции в степной зоне республики к изменениям природных факторов. Они могут найти применение и при разработке планов

развития других отраслей экономики республики: энергетики, жилищного строительства и других.

Разработанные и использованные в работе методы анализа и прогноза динамики метеопараметров могут найти применение для решения таких же задач для других регионов.

**Предмет защиты:**

1. Результаты анализа динамики метеопараметров, характеризующих режим температуры воздуха в приземном слое атмосферы и почве.
2. Результаты анализа динамики метеопараметров параметров, характеризующих режим атмосферных осадков.
3. Результаты прогноза динамики режима температуры воздуха в приземном слое атмосферы.
4. Результаты прогноза динамики режима атмосферных осадков.
5. Результаты анализа спектральной структуры временных рядов метеопараметров, характеризующих режимы температуры воздуха и осадков в степной зоне республики.
6. Математическая модель адаптации сельского хозяйства к изменениям температуры воздуха и режима осадков.

**Личный вклад автора.**

Постановка задачи осуществлена совместно с руководителем. Сбор информации, разработка алгоритмов ее анализа и прогноза изменений метеопараметров, разработка программных средств и проведение расчетов, а также анализ результатов расчетов осуществлены автором.

**Апробация работы.**

Основные результаты работы докладывались на Юбилейной научной конференции, посвященной 20-летию Кабардино-Балкарской государственной сельскохозяйственной академии (Нальчик, 2001 г), на Всероссийской конференции, посвященной 90-летию профессора Г.К Сулаквелидзе (Нальчик, 2002г), на четвертом Всероссийском симпозиуме (весенняя и осенняя сессии) по прикладной и промышленной математике (Москва, 2003 г), Международном форуме по проблемам науки, техники и образования (Москва, 2003г), на научных семинарах в КБГСХА и ВГИ.

**Структура и объем диссертации.**

Работа состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы. Общий объем работы составляет 152 страницы

машинописного текста, включая 41 таблицу, 25 рисунков, список используемой литературы из 117 работ.

## СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность темы исследования, формулируются цели и задачи диссертационной работы, характеризуются теоретические и методологические основы, объект и предмет исследования, раскрываются научная новизна и практическая значимость полученных результатов, а также апробация работы.

В первой главе представлены результаты анализа современных представлений об изменениях режима осадков и температурного режима в системе приземный слой атмосферы - подстилающая поверхность. Затронуты основные факторы, влияющие на динамику этих характеристик, а также характер их влияния.

Приводятся современные представления о возможных влияниях изменений различных природных факторов на одну из важнейших отраслей экономики - на производство сельскохозяйственной продукции.

Обсуждаются основные проблемы и существующие подходы к решению задачи адаптации сельского хозяйства к изменениям различных факторов и приведена математическая модель оптимизации структуры посевных площадей с учетом наличия орошаемых земель и возможности их расширения. Модель может быть использована для решения задачи адаптации сельского хозяйства степной зоны КБР и других регионов к изменениям природных характеристик.

Во второй главе приводятся алгоритм и результаты анализа динамики различных метеопараметров, характеризующих режим осадков и температурный режим в приземном слое атмосферы и почве в степной зоне территории КБР.

Подробно излагаются используемые для анализа данных методы, которые включают математико-статистический и фрактальный методы анализа временных рядов.

Для анализа изменений отмеченных характеристик рассматриваемой зоны использованы данные двух метеостанций (г. Прохладный, г. Терек) с 1955 года об отмеченных выше метеопараметрах. При этом для исследования динамических свойств этих метеопараметров временные ряды их значений представлялись в виде двух и трех частичных временных рядов, для которых вычислялись и сравнивались различные их числовые характеристики (среднее значение,

дисперсия, коэффициенты асимметрии и эксцесса, максимальное и минимальное значения и их разброс).

Остановимся на результатах анализа динамики суммарного количества осенних осадков. В таблице 1 приведены физико-статистические характеристики частичных временных рядов данного метеопараметра, соответствующие различным временным интервалам.

Как можно заметить из таблицы, среднее количество осенних осадков увеличивалось во времени, причем, увеличение значительное - на 43% на последнем временном интервале, по сравнению с его значением на первом. Значительно увеличилась и величина максимального значения осенних осадков, а также разброс между максимальным и минимальным их значениями.

**Таблица 1 - Статистические характеристики частичных временных рядов суммарного количества осенних осадков (г.Прохладный)**

Интервалы врем. ряда (гг)	Средн. знач. (мм)	Средн. квадр. откл.	Козф. асим.	Козф. эксцес- са	Мин. знач. (мм)	Максим. знач. (мм)	Разб- рос (мм)
1955-1970	74,21	26,12	10,69	46,353	38,0	138,0	100,2
1971-1986	90,98	23,42	11,52	51,17	51,17	150,0	90,8
1987-2002	106,1	42,31	18,53	72,25	44,0	225,0	181,0
1955-1978	78,80	26,99	20,98	85,61	38,0	150,0	112,0
1979-2002	102,3	36,70	32,92	143,5	44,0	225,0	181,0

Происходит увеличение с течением времени и значений других характеристик. Сравнение двух последних строк таблицы показывает, что и в случае, когда рассматриваются два временных интервала (1955-1978 гг. и 1979-2002 гг), отмеченные характеристики временных рядов сохраняют тенденцию к росту. Так, среднее значение суммарного количества осенних осадков во второй половине рассматриваемого периода увеличилось почти на 30%: 78,8 мм и 102,3 мм.

Такие же расчеты проводились и для остальных сезонов года. Они показали, что имеет место увеличение осадков во все сезоны. С учетом полученных результатов представляет интерес анализ динамики суммарного за год количества осадков.

В таблице 2 приведены результаты расчетов различных статистических характеристик частичных временных рядов данного метеопараметра. Можно заметить, что по сравнению с количеством годовых осадков на интервале 1955-1970 гг (442,2 мм) на последнем интервале оно увеличилось на 53,3 мм (или на 12%). А по сравнению с его значением в первой половине рассматриваемого периода это увеличение во второй половине меньше - 43,4 мм или 9,71%.

**Таблица 2 - Статистические характеристики частичных временных рядов годового количества осадков (г. Прохладный)**

Интервалы врем ряда (гг)	Средн знач (мм)	Средн квадр откл	Козф асим	Козф эксцес- са	Мин знач (мм)	Максим знач (мм)	Разб- рос (мм)
1955-1970	442,2	99,73	6,512	33,28	251,5	606	354,5
1971-1986	471,9	73,55	1,12	38,57	354	618,1	284,1
1987-2002	495,5	100,7	-10,84	41,46	286	654	368,0
1955-1978	446,6	93,57	2,868	56,29	251,5	618,1	366,6
1979-2002	489,9	89,61	-17,18	71,97	286	654	368,0

Наблюдается также увеличение максимума годового количества осадков.

Рассмотрим далее результаты анализа динамики количества осадков по данным метеостанции, расположенной в г. Терек

В таблице 3 приведены физико-статистические характеристики частичных временных рядов суммарного количества летних осадков.

**Таблица 3 - Статистические характеристики частичных временных рядов суммарного количества летних осадков (г. Терек)**

Интервалы врем ряда (гг)	Средн знач (мм)	Средн квадр откл	Козф асим	Козф эксцес- са	Мин знач (мм)	Максим знач (мм)	Разб- рос (мм)
1955-1970	224,3	70,52	6,673	31,32	123	363	240
1971-1986	215,5	62,25	-10,73	64,29	54	339,4	285,4
1987-2002	199,5	57,21	-0,462	36,14	102	314	212
1955-1978	219,0	73,71	1,175	61,41	54	363	309
1979-2002	206,5	52,43	-7,122	57,54	102	314	212

Как показывают данные этой таблицы, количество летних осадков в рассматриваемом районе степной зоны республики имеет тенденцию к уменьшению. По сравнению с периодом 1955-1970 гг., например, среднее количество летних осадков в 1987-2002 гг. было на 24,7 мм меньше, или уменьшилось на 11%. По результатам расчетов количества зимних и весенних осадков в этой части степной зоны меняются во времени примерно таким же образом.

Что касается количества осенних осадков, то результаты анализа его динамики указывают на наличие в ней тенденции к устойчивому увеличению (табл. 4). Но такое же устойчивое уменьшение с течением времени коэффициента асимметрии свидетельствует об ослаблении данного процесса.

**Таблица 4 - Статистические характеристики частичных временных рядов суммарного количества осенних осадков (г. Терек)**

Интервалы врем ряда (гг)	Средн знач (мм)	Средн квалр откл	Козф асим	Козф эксцес- са	Мин знач (мм)	Максим знач (мм)	Разб- рос (мм)
1955-1970	91,85	31,75	13,4	36,58	56,0	156,0	100,0
1971-1986	95,71	22,31	10,62	35,34	68,8	141,0	72,0
1987-2002	104,9	35,48	1,063	35,03	36,0	171,0	135,0
1955-1978	93,33	30,70	17,96	50,19	56,0	156,0	100,0
1979-2002	101,99	30,65	7,346	65,20	36,0	171,0	135,0

Остановимся далее на некоторых результатах анализа динамики суммарного за год количества осадков. В таблице 5 приведены физико-статистические характеристики частичных временных рядов данного метеопараметра.

Из таблицы можно заметить, что среднее значение метеопараметра, соответствующее частичным временным рядам, уменьшается с течением времени. По сравнению с 1955-1970 гг., например, в 1987-2002 гг. оно уменьшилось на 22,5 мм или на 4,14%. А по сравнению с 1955-1978 гг. в 1979-2002 гг. это уменьшение составило 20,0 мм или 3,7%.

**Таблица 5 - Статистические характеристики частичных временных рядов годового количества осадков (г. Терек)**

Интервалы врем ряда (гг)	Средн знач (мм)	Средн квалр откл	Козф асим	Козф эксцес- са	Мин знач (мм)	Максим знач (мм)	Разб- рос (мм)
1955-1970	543,8	97,42	-3,337	34,55	376,0	704,6	334
1971-1986	533,5	82,33	-1,648	45,88	385,9	714,6	328,7
1987-2002	521,3	95,12	4,481	42,07	349,0	725,0	376,0
1955-1978	542,6	97,45	-2,662	52,03	370	714,6	344,6
1979-2002	522,6	85,96	1,554	69,39	349	725	376

Интересно сравнить результаты анализа динамики годового количества осадков по данным метеостанций г. Прохладного и г. Терека (табл. 2 и 5).

По данным первой из них получено увеличение годового количества осадков, причем достаточно быстрыми темпами, а по данным второй - его уменьшение. Например, если в 1955-1970 гг. в г. Прохладном в среднем за год выпало 442,24 мм осадков, то в г. Тереке их выпало 543,8 мм, то есть больше на 101,6 мм. В 1987-2002 гг. эта разница составляет уже лишь 25,7 мм, то есть она уменьшилась почти в 4 раза.

Такие же расчеты были проведены для анализа динамики суточного максимума осадков и количества дней с осадками 5 мм и более в различные сезоны года.

Проведен также анализ динамики некоторых метеопараметров, характеризующих режимы температуры почвы и воздуха в приземном слое атмосферы: средней и максимальной температуры воздуха в различные сезоны, минимальной температуры почвы в различные месяцы.

Приведем результаты анализа изменения одного из этих метеопараметров - средней температуры воздуха в приземном слое атмосферы.

В таблице 6 приведены статистические характеристики частичных временных рядов средней зимней температуры воздуха. Как можно заметить из таблицы, она была минимальна на интервале 1971-1986 гг. На этом интервале минимальное значение средней зимней температуры воздуха также было меньше, а максимальное значение, наоборот, было существенно больше, чем на остальных интервалах. Соответственно и разброс между этими температурами был наибольший на этом интервале.

**Таблица 6 - Статистические характеристики частичных временных рядов средней зимней температуры воздуха (г. Прохладный)**

Интервалы врем ряда (гг)	Средн знач (°С)	Средн квлад откл	Коеф асим	Коеф эксцес -са	Мин знач (°С)	Максим знач (°С)	Разб- рос (°С)
1955-1970	-1,89	1,93	-8,27	40,13	-6,3	0,8	7,1
1971-1986	-2,55	1,86	-1,90	50,26	-6,7	1,4	8,1
1987-2002	-1,57	1,29	5,50	32,92	-3,4	0,8	4,2
1955-1978	-2,50	1,96	-6,65	59,24	-6,7	0,8	7,5
1979-2002	-1,52	1,37	8,32	54,76	-3,8	1,4	5,2

По результатам анализа последних двух частичных временных рядов вторая половина рассматриваемого периода оказалась теплее, чем первая (средняя температура воздуха выше на один градус). Что касается коэффициентов асимметрии и эксцесса, то значение первого из них с течением времени увеличивается, а второго убывает. Это указывает на то, что во временном ряду средней зимней температуры воздуха увеличивается число членов, значения которых превышают ее математическое ожидание. Соответственно происходит и расширение распределения данного метеопараметра в правую сторону.

Остановимся далее на результатах расчетов статистических характеристик частичных временных рядов средней летней температуры воздуха в приземном слое атмосферы, которые приведены в таблице 7.

Можно заметить, что имеет место рост среднего значения метеопараметра от интервала к интервалу. По сравнению с его значением на интервале 1955-1970 гг., например, на последнем оно увеличилось почти на 1°C, а по сравнению с его значением в первой половине рассматриваемого периода во второй половине это увеличение составляет 0,63°C.

Таблица 7 - Статистические характеристики частичных временных рядов средней летней температуры воздуха (г. Прохладный)

Интервалы врем ряда (гг)	Средн знач (°C)	Средн квандр откл	Козф асим	Козф эксцес -са	Мин знач (°C)	Максим знач (°C)	Разб- рос (°C)
1955-1970	21,75	0,77	7,40	41,58	20,4	23,3	2,9
1971-1986	21,89	0,95	4,81	34,13	20,4	23,7	3,3
1987-2002	22,66	1,04	6,59	40,07	21	24,9	3,9
1955-1978	21,80	0,91	12,52	53,83	20,4	23,7	3,3
1979-2002	22,43	1,01	12,37	66,21	20,8	24,9	4,1

Можно заметить, что рост средней летней температуры воздуха связан преимущественно с ростом ее максимальных значений. Так, нижняя граница данного метеопараметра изменилась за весь рассматриваемый период незначительно, а верхняя граница по результатам анализа ее значений на первых трех интервалах увеличилась на 1,6°C и на 1,2°C по результатам анализа ее значений для последних двух частичных рядов. Соответственно увеличился и разброс между максимальным и минимальным значениями средней летней температуры воздуха.

В заключительной части второй главы приводятся выводы, вытекающие из анализа изменений метеопараметров, характеризующих температурный режим воздуха в приземном слое атмосферы и почве и режим осадков.

В третьей главе приведена модель прогнозирования динамики рассмотренных во второй главе метеопараметров. При построении модели было предположено, что изменение значений метеопараметров во времени в общем случае описывается функцией вида:

$$P(t) = p_0 + k_0 t + \sum_{i=1}^N \left( a_i \cos \frac{2\pi t}{T_i} + v_i \sin \frac{2\pi t}{T_i} \right), \quad (1)$$

где  $p_0$ ,  $k_0$  - коэффициенты слагаемых, описывающих линейную составляющую в динамике параметра  $P(t)$ ;  $a_i$ ,  $v_i$  - коэффициенты слагаемых, описывающих циклические составляющие в динамике параметра  $P(t)$  (всего  $N$  составляющих с периодами  $T_i$ ).

Неизвестными параметрами модели, таким образом, являются коэффициенты  $p_0$ ,  $k_0$ ,  $a_0$ ,  $v_1$  и периоды  $T_i$  (всего  $3N+2$  неизвестных параметров).

При построении модели (1) предпочтительным является подход, который основан на нахождении значений  $T_i$  на первом этапе и остальных коэффициентов на втором.

Для нахождения  $T_i$  ниже используются фазовые портреты метеопараметров, а остальные коэффициенты находятся методом наименьших квадратов, что приводит к решению системы линейных алгебраических уравнений с  $2N+2$  неизвестными.

В качестве примера на рис.1 приведены фазовые портреты сезонных количеств осадков. На основе такого подхода, например, были выделены следующие значения  $T_i$ : 1,7; 2,7; 3,5; 4,6; 4,9; 6,6; 6,9; 8,5; 10,1. Во временных рядах других метеопараметров содержались примерно такие же цикличности.

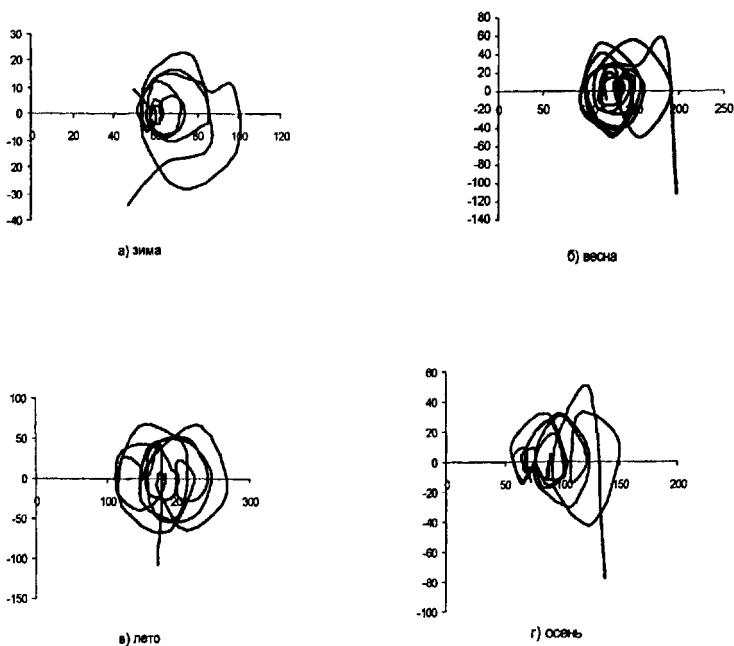


Рис. 1. Фазовые портреты сезонных количества осадков (г.Прохладный)

Работоспособность изложенного метода построения модели прогнозирования проверялась на тестовых задачах. В качестве одной из них был рассмотрен временной ряд, образованный значениями функции  $y(t)=2+0,5t+(sint+cost)+(sin2t+cos2t)$  (2)

в различные моменты времени  $t$ , ( $i=1,2,...30$ ).

Остановимся на результатах расчетов. В таблице 8 приведены временной ряд, образованный функцией (2) и используемый в качестве входных данных ( $y(t)$ ), и значения построенной функции (1) ( $y_N(t)$ ).

Как можно заметить из таблицы, фактические значения функции (2) достаточно хорошо совпадают со значениями построенной по 30 точкам функции (1).

**Таблица 8 - Значения функции (2)  $y(t)$  и функции (1)  $y_N(t)$ , построенной по 30 точкам (значения функции  $y_N(t)$  с 31 по 40 точки - прогнозные)**

№№	$y(t)$	$y_N(t)$		$y(t)$	$y_N(t)$
1	4,37	4,26	21	11,40	11,47
2	2,08	2,12	22	12,96	13,01
3	3,3	3,51	23	12,57	12,60
4	3,43	3,63	24	12,30	12,10
5	2,44	2,86	25	16,00	16,10
6	6,00	6,12	26	17,29	17,23
7	8,04	8,17	27	14,76	14,78
8	5,60	5,63	28	15,62	15,64
9	5,90	5,90	29	16,10	16,20
10	6,94	6,84	30	14,99	14,91
11	5,50	5,61	31	17,77	17,94
12	7,80	7,82	32	20,43	20,70
13	11,24	11,17	33	18,15	18,46
14	9,43	9,43	34	17,84	18,22
15	8,56	8,52	35	19,19	19,57
16	10,14	10,08	36	18,05	18,17
17	8,94	9,02	37	19,87	19,81
18	9,79	9,92	38	23,87	23,64
19	13,90	13,80	39	23,19	22,38
20	13,40	13,42	40	22,03	20,97

Отметим, что для построения функции (1) были использованы первые 30 точек, а значения функции (1) с 31 точки по 40 являются прогнозными. Сравнение прогнозных значений с фактическими

значениями функции  $y(t)$  показывает, что точность прогноза достаточна для решения задачи прогнозирования динамики различных метеопараметров.

Для исследования возможности прогнозирования временных рядов отмеченных метеопараметров был проведен анализ их фрактальных свойств. В результате было получено, что показатель Херста для этих рядов принимает значения, близкие к 1: 0,7; 0,8; 0,9. Это указывает на то, что временные ряды являются трендоустойчивыми.

Ниже остановимся на некоторых результатах прогнозирования изменения режима осадков в степной зоне республики с использованием изложенного подхода. Для этой цели были использованы данные о суммарном количестве осадков и о суточном максимуме осадков. При этом, как известно, важное значение для производства сельскохозяйственной продукции имеет распределение суммарного количества осадков по сезонам. В связи с этим проводилось прогнозирование изменения отмеченных метеопараметров в различные сезоны года.

На рис. .2 приведены результаты расчетов по прогнозированию изменений суммарного количества зимних осадков с использованием данных метеостанции г.Прохладного. Как можно заметить на рисунке, суммарное количество зимних осадков в будущем будет меняться сложным образом. В предстоящие годы (до 2010-2011 г.) по сравнению с его значением в 2000 г. оно будет увеличиваться. Такое увеличение количества зимних осадков будет продолжаться примерно до 2013-2014 гг.

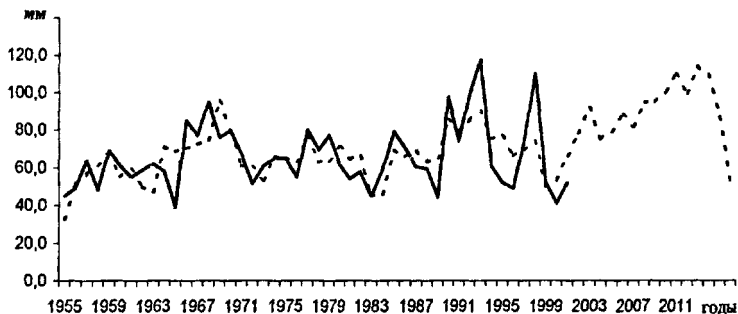


Рис. 2 - Фактические (сплошная линия) и прогнозные (пунктирная линия) значения суммарного количества зимних осадков

Максимальное значение метеопараметра на интервале упреждения (около 115 мм) незначительно меньше его абсолютного максимума, имевшего место в 1993 г. (117,2 мм). На рисунке видно, что суммарное количество зимних осадков в конце интервала упреждения быстро уменьшается. В целом среднее значение суммарного количества осадков на временном интервале с 1990 года до конца интервала упреждения заметно выше, чем на интервале с 1955 до конца 80-х годов. Можно отметить, что сложившаяся тенденция в динамике данного метеопараметра благоприятствует производству сельскохозяйственной продукции в рассматриваемой части степной зоны КБР.

Такие же расчеты были проведены для прогнозирования изменений количества весенних и летних осадков. Результаты расчетов для летних осадков приведены на рис.3.

Можно заметить, что, как и в случае количества весенних осадков, разброс между максимальным и минимальным значениями метеопараметра достаточно велик. Например, на интервале 1955-1970 гг. он равен 257,3 мм. Это влияет на точность прогнозирования значений данного метеопараметра в сторону ухудшения. В то же время, как отмечалось выше, значения показателя Херста временных рядов используемых метеопараметров близки к 1, что указывает на их трендоустойчивость.

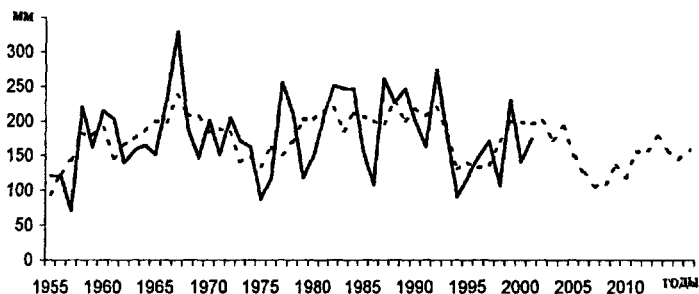


Рис. 3 - Фактические (сплошная линия) и прогнозные (пунктирная линия) значения суммарного количества летних осадков.

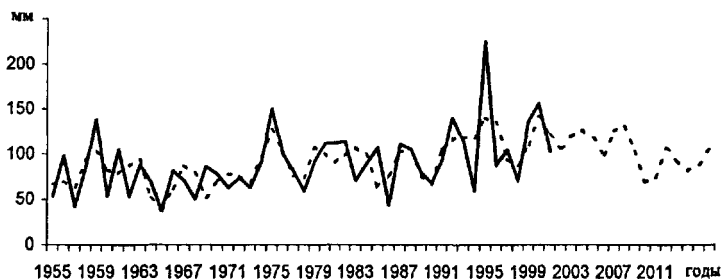
Как можно заметить на рисунке, начиная с 2006-2007 гг. будет иметь место уменьшение количества летних осадков (примерно до 100 мм в 2008 г.). Затем наблюдается постепенное увеличение его значений, но максимальное значение на интервале упреждения будет меньше абсолютного максимума количества осадков на исходном интервале. Кроме того, минимальное его значение на интервале упреждения

превосходит абсолютный минимум метеопараметра на исходном интервале времени.

В целом динамика суммарного количества осадков в летние сезоны, видимо, будет меньше подвержено изменениям, чем его значения в зимние и весенние сезоны.

Остановимся далее на результатах прогнозирования изменений суммарного количества осадков в осенние сезоны (рис. 4).

Можно заметить, что разброс между максимальным и минимальным значениями метеопараметра значительно меньше, чем разброс между ними для количества весенних и летних осадков. Это указывает на то, что в результате прогнозирования изменений данного метеопараметра можно достичь большей точности, чем при прогнозировании его значений в весенние и летние сезоны. По результатам расчетов, примерно до 2010 года значения количества осенних осадков не будут претерпевать значительных изменений и среднее значение будет находиться на достаточно высоком уровне - более 100 мм. Затем наблюдается уменьшение значения данного метеопараметра, после чего наступает опять период постепенного увеличения его значений.



**Рис. 4 - Фактические (сплошная линия) и прогнозные (пунктирная линия) значения суммарного количества осенних осадков.**

В целом среднее значение количества осенних осадков на интервале упреждения будет больше среднего на исходном интервале времени.

Таким образом, можно отметить, что количество осадков по данным метеостанции г. Прохладного происходит увеличение количества осадков с течением времени. Более четко эта тенденция наблюдается в динамике количества зимних и весенних осадков. В целом изменение

количества осадков будет благоприятствовать растениеводческой отрасли сельского хозяйства.

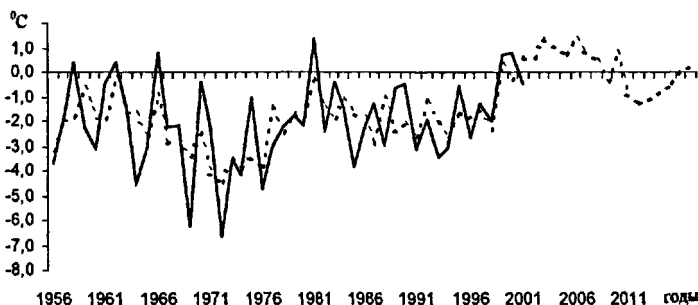
К природно-климатическим характеристикам, оказывающим наибольшее влияние на производство сельскохозяйственной продукции в конкретных регионах, наряду с количеством осадков, относится температурный режим воздуха в приземном слое атмосферы.

В связи с этим представляет интерес прогноз динамики данной характеристики на предстоящий период времени.

Ниже приводятся результаты прогнозирования динамики данной характеристики рассматриваемой климатической зоны республики на предстоящие годы (до 2015). При этом используются средняя и максимальная температуры воздуха в различные сезоны года.

На рисунке 5 приведены результаты расчетов для средней температуры воздуха в зимние сезоны.

Можно заметить, что данный метеопараметр принимал наименьшее значение в конце 60-х - в начале 70 годов. После этого периода началось постепенное повышение средней зимней температуры воздуха. По результатам расчетов оно будет продолжаться примерно до 2006 года.



**Рис. 5 - Фактические (сплошная линия) и прогнозные (пунктирная линия) значения средней зимней температуры воздуха.**

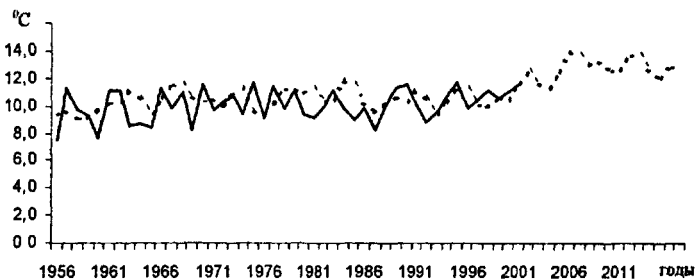
Обращает на себя внимание то, что, начиная с конца 90-х годов, и примерно до 2010 года, средняя зимняя температура воздуха в данной климатической зоне республики находится в области положительных значений. Затем ожидается, как можно заметить, кратковременное ее понижение примерно до  $-1^{\circ}\text{C}$  с последующим повышением.

Таким образом, можно заключить, что зимы в степной зоне республики будут достаточно теплыми.

Как было показано выше, в динамике средней весенней температуры воздуха в приземном слое атмосферы сложилась устойчивая тенденция к повышению. Результаты расчетов по прогнозированию изменений данного метеопараметра показывают, что такая тенденция сохранится и в будущем (рис. 6). Затем, начиная с 2005-2006 гг., наступит период, когда средняя температура воздуха останется примерно на одном уровне - на уровне примерно 13°C.

Таким образом, по сравнению с значением на исходном интервале времени средняя температура воздуха в весенние сезоны на интервале упреждения будет выше на 2-3°C.

Выше было получено, что динамика данного метеопараметра менее других подвержена климатическим изменениям. Такая тенденция, видимо, сохранится и в будущем. Как можно заметить на рисунке, значение данного метеопараметра на интервале упреждения в среднем останется на уровне предыдущих лет.



**Рис. 6 - Фактические (сплошная линия) и прогнозные (пунктирная линия) значения средней весенней температуры воздуха.**

Таким образом, тенденции, сложившиеся в динамике температурного режима воздуха в весенние сезоны в приземном слое атмосферы в степной зоне республики, сохранятся и в предстоящие годы.

В результате анализа изменений динамики средней температуры воздуха в летние сезоны было получено, что имеет место некоторое повышение ее значений на исходном интервале времени: (табл. 7) на интервале 1979-2002 гг. она выше на 0,63°C, чем на интервале 1956-1978 гг.

По результатам расчетов и в будущем средняя летняя температура воздуха в степной зоне республики не будет претерпевать

заметных изменений (рис. 8). В среднем на интервале упреждения, как можно заметить, она останется без существенных изменений.

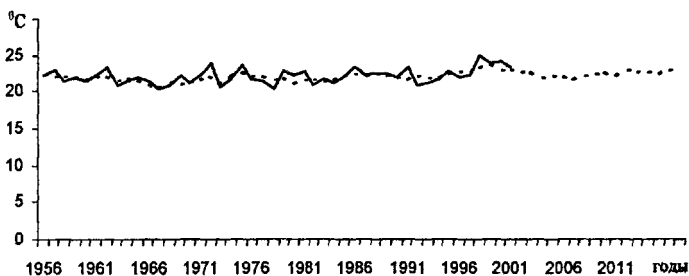


Рис. 7 - Фактические (сплошная линия) и прогнозные (пунктирная линия) значения средней летней температуры воздуха.

Рассмотрим далее результаты расчетов для средней осенней температуры воздуха в приземном слое атмосферы. В результате анализа ее динамики было получено, что среднее значение данного метеопараметра было максимальным на интервале 1971-1986 гг., а на интервале 1987-2002 гг. оно, хотя и незначительно, но было меньше.

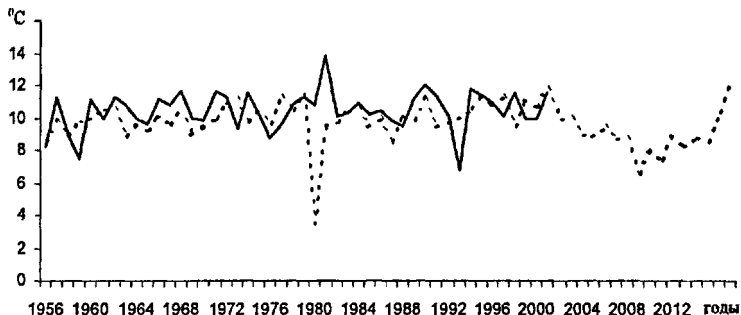


Рис. 8 - Фактические (сплошная линия) и прогнозные (пунктирная линия) значения средней осенней температуры воздуха

Значение коэффициента асимметрии также было меньше на последнем временном интервале. Такие изменения значений этих характеристик, видимо, указывают на то, что в динамике средней осенней температуры воздуха намечилась тенденция к ее уменьшению.

Результаты прогнозирования динамики данного метеопараметра указывают на наличие в ней такой тенденции. Как можно заметить на рисунке 8, до 2015 года среднее значение данного метеопараметра будет примерно на 1°С ниже среднего значения на исходном интервале.

Глава завершается выводами, полученными из результатов расчетов по прогнозированию динамики метеопараметров, характеризующих режим температуры воздуха в приземном слое атмосферы и режим осадков в степной зоне республики.

В заключении приводятся основные результаты и выводы, полученные в работе:

1. На основе анализа изменений режима атмосферных осадков получено, что в северной части степной зоны Кабардино-Балкарской Республики происходит увеличение количества осадков во все сезоны года. При этом более существенное (30-43%) его увеличение имеет место в динамике осенних осадков. Увеличение количества осадков в зимние, весенние и летние сезоны связано в большей степени с увеличением суточного максимума осадков, а в осенние - с увеличением количества дней с осадками. В южной части степной зоны, наоборот, происходит уменьшение годового количества осадков (на 4-7%). Такое его уменьшение связано с уменьшением, как суточного максимума осадков, так и количества дней с осадками.

2. Характер изменений температурного режима воздуха в приземном слое атмосферы и почве в северной и южной частях степной зоны территории КБР качественно одинаков. Средняя температура воздуха в данной климатической зоне повышается, и оно в основном обусловлено повышением ее значения в зимние и весенние сезоны. Наиболее существенное (39-60%) повышение средней температуры воздуха имеет место в зимние сезоны. Имеет также место повышение минимальной температуры почвы в зимние, весенние и осенние сезоны. Наиболее существенное повышение данного метеопараметра наблюдается в зимние сезоны. Во второй половине рассматриваемого периода (1979-2002гг.) она выше на 2°С, чем в первой половине (1956-1978гг.) всего периода наблюдений.

3. На основе исследований фрактальных свойств временных рядов количества атмосферных осадков и средней температуры воздуха в приземном слое атмосферы в степной зоне КБР показано, что эти ряды обладают трендоустойчивостью (показатель Херста  $H = 0,7 \div 1,0$ ).

4. Путем построения фазовых портретов исследованы спектральные структуры метеопараметров, характеризующих режим осадков и режим температуры воздуха в приземном слое атмосферы.

Получены периодичности, содержащиеся во временных рядах используемых метеопараметров. На основе этих результатов построена модель прогнозирования динамики метеопараметров.

5. Проведен прогноз динамики режима осадков в степной зоне КБР и получено изменение количества осадков, суточного максимума осадков и количества дней с осадками в различные сезоны года. Сложившаяся в последние десятилетия тенденция в динамике годового количества осадков сохранится и в предстоящий 15 летний период: годовое количество осадков в северной части степной зоны КБР и в будущем будет увеличиваться, а в южной части - уменьшаться.

6. Проведен прогноз динамики режима температуры воздуха в приземном слое атмосферы. Показано, что и в будущем будет иметь место повышение средней температуры воздуха в зимние и весенние сезоны. Важным, на наш взгляд, является тот факт, что по результатам прогноза, средняя зимняя температура воздуха примерно до 2010 г. будет находиться в области положительных значений. Средняя температура воздуха в летние сезоны на интервале упреждения практически останется без изменений, а средняя осенняя температура - незначительно понизится.

7. Для решения задачи адаптации сельского хозяйства к изменениям природно-климатических характеристик разработана модель оптимизации структуры посевных площадей. В модели учитываются возможности использования и расширения имеющейся в регионе оросительной системы.

Полученные в работе результаты могут найти применение для определения основных направлений развития сельского хозяйства в рассматриваемой зоне территории КБР с учетом изменений основных факторов, влияющих на производство сельскохозяйственной продукции.

В дальнейшем будут проведены исследования, направленные на решение данной проблемы. Будут проведены анализ динамики агроклиматических ресурсов степной зоны КБР, а также прогноз их изменений. Полученные результаты будут использоваться для проведения расчетов по предложенной в работе модели оптимизации структуры посевных площадей с учетом использования и расширения площади орошаемых земель.

## Результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. *Ашабоков БА, Литовка НИ, Хавцуков АХ.* Модель оптимизации использования финансовых ресурсов. // Материалы юбилейной конференции посвященной 20-летию К Б Г С Х А. - Нальчик 2001. с.79-81.
2. *Калов ХМ., Литовка НИ, Налоева Р.Х.* Математико-статистический анализ изменения режима атмосферных осадков в степной зоне центральной части Северного Кавказа. // Материалы 4<sup>го</sup> Всероссийского Симпозиума по прикладной и промышленной математике. 1-7 октября 2003.Обозрение прикладной и промышленной математики. Том 10 выпуск 1 с. 169.
3. *Калов ХМ, Литовка НИ, Налоева Р.Х.* Прогноз изменений температурного режима в степной зоне КБР. // Материалы 4<sup>го</sup> Всероссийского Симпозиума по прикладной и промышленной математике. 1-7 октября 2003.Обозрение прикладной и промышленной математики. Том 10 выпуск 3 с.662-663.
4. *Лапина ТИ, Литовка НИ.* Основные тенденции развития сельского хозяйства КБР на современном этапе. // Материалы юбилейной конференции посвященной 20-летию К Б Г С Х А. - Нальчик 2001. с.81-83.
5. *Литовка НИ, Налоева Р.Х.* Анализ динамики природно-климатических характеристик степной зоны КБР. Труды ВГИ, вып.92,2003.с.49-52.
6. *Литовка НИ, Налоева РХ, Хавцуков АХ.* Результаты исследования изменения режима атмосферных осадков на территории КБР. /Труды Международного Форума по проблемам науки, техники и образования. Том 2.. с 85-86.
7. *Литовка НИ, Хавцуков АХ.* Результаты анализа изменения температурного режима воздуха в приземном слое атмосферы на территории КБР. // Межвузовский сборник научных трудов. Ч. 3 г. Владикавказ, ГГАУ, 2003. - с. 62 - 65.

**№ 22 4 4 2**

**РББ Русский фонд**

**2005 - 4**

**2 4 1 2 8**

Сдано в набор 1.11.2004. Подписано в печать 2.11.2004.  
Гарнитура Таймс. Печать трафаретная. Формат 60x84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Бумага офсетная. Усл.п.л. 1,2. Тираж 100 экз. Заказ № 1002.

Типография Кабардино-Балкарской государственной  
сельскохозяйственной академии

Лицензия ПД № 00816 от 18.10.2000 г.

г. Нальчик, ул. Тарчокова, 1а