

На правах рукописи



**Байдаев Эльдар Касимович**

**АНАЛИЗ И ПРОГНОЗ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ  
В МЕЗОРАЙОНЕ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К УПРАВЛЕНИЮ  
ПРОДУКТИВНОСТЬЮ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР  
В СТЕПНОЙ ЗОНЕ КБР**

25.00.30 - Метеорология, климатология, агрометеорология

**Автореферат**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук

НАЛЬЧИК 2005

Работа выполнена в ГУ «Высокогорный геофизический институт»  
Росгидромета

**Научный руководитель:** доктор физико-математических наук, профессор  
**Ашабоков Борис Азреталиевич**

**Официальные оппоненты:** доктор физико-математических наук, профессор  
**Сиротенко Олег Дмитриевич**

кандидат физико-математических наук  
**Созаева Лежинка Танашевна**

**Ведущая организация:** Кабардино-Балкарский государственный  
университет им. Х.М. Бербекова

Защита диссертации состоится «20» января 2006 года в 15<sup>00</sup> 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 13 декабря 2005 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
доктор физ.-мат. наук,  
проф.



А.В. Шаповалов

2006-4  
29651

2262489

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** Исследование изменения режима осадков и температурного режима воздуха в приземном слое атмосферы имеет важное значение в связи с глобальным потеплением климата. Результаты таких исследований необходимы для решения задач адаптации различных сторон человеческой деятельности, в частности, производства сельскохозяйственной продукции к изменению климата.

Следует отметить, что в последние несколько десятилетий исследованию различных вопросов изменения климата и его последствий уделяется значительное внимание и в этом направлении получены существенные результаты. Важнейшими задачами данного направления являются исследование изменений природно-климатических характеристик регионов и их влияния на производство сельскохозяйственной продукции.

Основной информацией, используемой для проведения исследований в этом направлении, являются многолетние данные о различных метеопараметрах, полученных на метеостанциях. Отсюда следует, что достоверность получаемой в результате их анализа информации зависит как от объема используемых данных, так и от используемого метода их анализа.

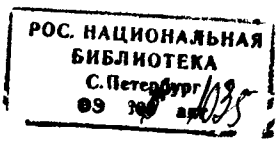
Данная задача не решена для большинства регионов не только КБР, но и РФ.

Следует отметить, что задача адаптации производства сельскохозяйственной продукции к изменению климата в конкретном регионе является достаточно сложной и требует проведения исследований по различным направлениям, из которых можно отметить следующие:

- анализ и прогноз изменений природно-климатических характеристик региона, в большей степени определяющих продуктивность сельскохозяйственных культур;
- разработка модели динамики агроклиматических ресурсов региона;
- прогноз изменений агроклиматических ресурсов региона;
- разработка модели адаптации производства сельскохозяйственной продукции к изменяющимся природно-климатическим условиям.

Отметим, что большинство из этих задач не решено для территории Кабардино-Балкарской республики и соседних регионов.

**Цель и задачи работы.** Цель диссертационной работы заключается в исследовании изменений количества атмосферных осадков и средней температуры воздуха в приземном слое атмосферы в различные сезоны года в степной зоне КБР, а также в анализе связанной с ними трансформации ее агроклиматических ресурсов, в экстраполяции исследуемых метеопараметров и агроклиматических характеристик данного региона.



Цель исследования предполагает решение следующих задач:

- провести математико-статистический и фрактальный анализ изменений количества атмосферных осадков и средней температуры воздуха в приземном слое атмосферы в различные сезоны года в степной зоне КБР;
- разработать модель и провести экстраполяцию временных рядов количества атмосферных осадков и средней температуры воздуха в приземном слое атмосферы;
- разработать математическую модель и провести анализ и прогноз динамики агроклиматических ресурсов данной климатической зоны КБР;
- разработать математическую модель адаптации сельского хозяйства региона к изменениям отмеченных метеорологических параметров.

**Научная новизна.** Проведенные в диссертационной работе исследования позволили получить изменение статистических и фрактальных характеристик временных рядов количества атмосферных осадков и средней температуры воздуха в приземном слое атмосферы в различные сезоны года.

В диссертационной работе впервые получены следующие результаты:

- изменение статистических и фрактальных характеристик временных рядов количества атмосферных осадков и средней температуры воздуха в приземном слое атмосферы в различные сезоны года в степной зоне республики;
- математическая модель агроклиматических ресурсов этой климатической зоны республики;
- прогноз временных рядов количества осадков и средней температуры воздуха в приземном слое атмосферы в различные сезоны года и экстраполяция соответствующих изменений агроклиматических ресурсов рассматриваемой территории республики;
- разработка математической модели адаптации производства сельскохозяйственной продукции в регионе к изменениям режима атмосферных осадков и температурного режима воздуха в приземном слое атмосферы.

**Практическая значимость работы.** Практическая значимость полученных результатов состоит в том, что для степной зоны КБР решены следующие задачи:

- с использованием данных за последние примерно 50 лет проведен анализ изменений статистических и фрактальных характеристик временных рядов количества атмосферных осадков и средней температуры воздуха в приземном слое атмосферы в различные сезоны года и выявлены тенденции изменения этих метеопараметров;

- проведен прогноз временных рядов отмеченных метеопараметров на период до 2017 г.;
- разработана математическая модель агроклиматических ресурсов данной климатической зоны республики и проведена их экстраполяция на период до 2017 г.;
- разработана математическая модель адаптации сельского хозяйства региона к изменению агрометеорологических факторов производства.

Основные подходы и методы, используемые в диссертационной работе, могут быть использованы для исследования и прогноза изменений режима осадков и температурного режима воздуха, а также агроклиматических ресурсов и в других регионах.

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

1. Результаты анализа изменений количества атмосферных осадков в различные сезоны года в степной зоне КБР.
2. Результаты анализа изменений средней температуры воздуха в приземном слое атмосферы в различные сезоны года и минимальной температуры почвы в различные месяцы.
3. Результаты прогнозирования временных рядов этих же метеорологических параметров.
4. Математическая модель динамики агроклиматических ресурсов степной зоны КБР и результаты их экстраполяции.
5. Математическая модель адаптации сельского хозяйства региона к изменению метеорологических условий производства.

**Степень обоснованности** научных положений и выводов, сформулированных в диссертационной работе, подтверждается использованием эффективных методов и моделей анализа и прогноза временных рядов, хорошей согласованностью полученных результатов и следствий из них с известными литературными данными.

**Личный вклад автора.** Математико-статистический и фрактальный анализ изменений количества атмосферных осадков и средней температуры воздуха в приземном слое атмосферы проведен автором лично. Модель прогноза динамики природно-климатических характеристик и математическая модель адаптации сельского хозяйства региона к изменениям природно-климатических факторов разработаны под руководством научного руководителя, проведение расчетов и анализ результатов осуществлены автором лично.

**Апробация работы.** Основные результаты работы докладывались на VI Всероссийском симпозиуме по прикладной и промышленной математике (осенняя сессия 2005 г.), Всероссийской конференции молодых ученых, посвященной 90-летию Г.К. Сулаквелидзе (Нальчик, 2003г), Юбилейной Научной конференции, посвященной 20-летию Кабардино-Балкарской государственной сельскохозяйственной академии (Нальчик, 2001г), на научных семинарах в ВГИ и КБГСХА.

**Публикации.** По результатам исследования опубликовано 5 работ общим объемом 1,85 п.л.

**Структура диссертации.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных источников в количестве 104 наименований. Диссертация изложена на 154 страницах машинописного текста, включает 37 таблиц и 35 рисунков.

### **Основное содержание работы**

**В первой главе** проводится краткий анализ современного состояния исследований, посвященных изменениям климата и проблеме адаптации сельского хозяйства к этим изменениям.

Проводится анализ зависимости продуктивности сельскохозяйственных культур от различных составляющих агроклиматических ресурсов.

Как показано в главе, природно-климатические характеристики региона, в частности режим температуры воздуха и почвы, режим осадков и содержание  $\text{CO}_2$  в атмосфере, относятся к одному из важнейших факторов, влияющих на формирование урожая в сельском хозяйстве. Ими обуславливаются межгодовые колебания урожайности сельскохозяйственных культур, они также влияют на пространственную структуру мирового сельского хозяйства.

**Вторая глава** посвящена анализу динамики природно-климатических характеристик степной зоны Кабардино-Балкарской республики.

В качестве таких характеристик рассмотрены средняя температура воздуха и количество осадков в различные сезоны, минимальные температуры почвы в различные месяцы в рассматриваемой климатической зоне республики, которые определяют продуктивность сельскохозяйственных культур. Для проведения такого анализа используются данные двух метеостанций, начиная с 1955 года.

В настоящей работе нами был проведен анализ динамики изменений физико-статистических и фрактальных характеристик отмеченных

метеопараметров для степной зоны республики. Ниже кратко остановимся на алгоритме проведения такого анализа. На первом этапе временные ряды метеопараметров, описывающих эти характеристики (значения метеопараметров известны примерно за 50 лет), представлялись в виде трех частичных временных рядов и для каждого из них вычислялись основные статистические характеристики, проводился их сравнительный анализ. Такой подход позволяет исследовать динамические свойства временных рядов. Для проведения анализа использовались следующие физико-статистические характеристики рядов: средние значения частичных временных рядов, их дисперсии (среднеквадратические отклонения), максимальные и минимальные значения метеопараметров на каждом интервале и их разбросы, значения коэффициентов асимметрии и эксцесса. На втором этапе эти же операции повторялись, но для случая, когда исходные временные ряды метеопараметров были представлены в виде двух частичных временных рядов.

Далее кратко остановимся на результатах анализа изменений физико-статистических характеристик временных рядов метеопараметров, характеризующих режим осадков в степной зоне КБР - одного из важнейших для сельского хозяйства климатических факторов. Для исследования этого вопроса был проведен анализ данных двух метеостанций, расположенных в степной зоне КБР (гг. Прохладный и Терек), о суммарном количестве осадков в различные сезоны года и за год. Ниже в таблице 1 приведены результаты расчетов характеристик частичных временных рядов суммарного количества зимних осадков по МС г. Терек.

Из таблицы можно заметить, что, хотя и незначительное, но имеет место некоторое уменьшение среднего количества зимних осадков с течением времени.

Таблица 1 - Статистические характеристики частичных временных рядов суммарного количества зимних осадков (г. Терек).

Интер времен ряда (гг).	Средн знач. (мм)	Средне квадр. отклон. (мм)	Коефф асимм.	Коефф эксцесса	Мин. знач. (мм)	Макс знач (мм)	Разброс (мм)
1955-1971	64,09	14,81	13,69	81,94	35	106	71
1972-1988	53,95	11,01	3,49	28,71	38	71	33
1989-2004	65,92	22,10	8,95	29,59	40	105	65

1955-1979	62,85	13,67	17,53	128,21	35	106	71
1980-2004	59,55	20,15	27,00	72,79	38	105	67

Вместе с тем, на интервале 1989 – 2004гг. наблюдается увеличение среднеквадратического отклонения, коэффициента асимметрии, минимальных и максимальных значений количества зимних осадков, а также их разброса, по

сравнению с их значениями во втором интервале. Это может являться свидетельством того, что процессы образования и выпадения зимних осадков в последние годы становятся более интенсивными.

Качественно такие же результаты получаются в результате сравнения статистических характеристик двух частичных временных рядов (1955 -1979 гг. и 1980-2004 гг.) исходного временного ряда значений зимних осадков. Но в этом случае, как можно заметить из таблицы, среднее количество зимних осадков во второй половине рассматриваемого временного периода незначительно меньше, чем его значение в первой половине. Но изменения других характеристик временных рядов могут указывать на то, что в настоящее время происходит рост этой характеристики.

Для исследования изменения температуры воздуха и почвы были использованы данные этих же метеостанций о средней температуре воздуха в различные сезоны года и минимальной температуре поверхности почвы в различные месяцы. Из таблицы 2, можно заметить, что имеет место рост среднего значения метеопараметра от интервала к интервалу. По сравнению с его значением на интервале 1956-1971 гг., например, на последнем оно увеличилось почти на  $1^{\circ}\text{C}$ , а по сравнению с его значением в первой половине рассматриваемого периода во второй половине это увеличение составляет  $0,65^{\circ}\text{C}$ . Можно также 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 для первых трех частичных рядов увеличилась на  $1,63^{\circ}\text{C}$  и на  $1,17^{\circ}\text{C}$  по результатам анализа ее значений для последних двух частичных рядов. Соответственно увеличился и разброс между максимальным и минимальным значениями средней летней температуры воздуха.

Таблица 2 - Статистические характеристики частичных временных рядов средней летней температуры воздуха (г. Прохладный)

Интервалы времени (гг)	Средн значен $^{\circ}\text{C}$	Средне квадр отклон. $^{\circ}\text{C}$	Коефф асимм	Коефф эксцес	Мин знач $^{\circ}\text{C}$	Макс знач $^{\circ}\text{C}$	Разброс $^{\circ}\text{C}$
1956-1971	21,76	0,75	5,99	43,73	20,40	23,27	2,87
1972-1988	22,00	0,96	1,88	35,61	20,40	23,73	3,33
1989-2004	22,73	1,11	5,86	34,13	21,00	24,90	3,90

1956-1979	21,83	0,92	10,64	58,75	20,40	23,73	3,33
1980-2004	22,48	1,04	13,50	67,43	20,77	24,90	4,13

Далее остановимся на некоторых результатах анализа изменений минимальной температуры почвы за различные сезоны.

В таблице 3 приведены результаты расчетов статистических характеристик частичных временных рядов средней за зимние месяцы минимальной температуры почвы.

Средние значения параметра на первых трех интервалах относительно мало отличаются друг от друга и имеют стойкую тенденцию к увеличению. Минимальные значения на этих интервалах практически не изменяются.

Таблица 3 - Статистические характеристики частичных временных рядов средней зимней минимальной температуры поверхности почвы (г. Прохладный)

Интер врем (гг).	Средн знач. °С	Средне квадр отклон °С	Коефф асимм	Коефф эксцес	Мин знач. °С	Макс. знач. °С	Разброс °С
1956-1971	-17,16	4,05	-5,40	37,70	-25,00	-10,00	15,00
1972-1988	-16,78	4,28	7,54	55,77	-23,67	-6,00	17,67
1989-2004	-15,95	4,16	-8,04	37,48	-25,00	-10,40	14,60

1956-1979	-17,87	3,94	-2,41	49,96	-25,00	-10,00	15,00
1980-2004	-15,44	4,09	-4,03	77,44	-25,00	-6,00	19,00

Что касается значений характеристик на интервалах 1956-1979 гг. и 1980-2004 гг., то имеет место заметное увеличение как среднего, так и максимального значений метеопараметра. Среднее значение данного метеопараметра, например, увеличилось более чем на 2<sup>0</sup>С, а максимальное значение – на 4<sup>0</sup>С.

Увеличение среднего значения, как можно заметить, связано с повышением максимального значения средней температуры. Минимальное значение практически не изменилось за весь рассматриваемый период времени. Это подтверждается и поведением коэффициента асимметрии. Такое изменение максимального значения метеопараметра приводит к увеличению разброса между максимальным и минимальным его значениями и среднеквадратического отклонения.

Таким образом, с учетом результатов анализа динамики средней зимней температуры воздуха можно отметить, что изменение теплового режима воздуха и почвы в степной зоне КБР не будет оказывать существенного влияния на растениеводческую отрасль сельского хозяйства.

Подводя итоги, результатов физико-статистического анализа метеопараметров, можно сделать следующие выводы:

- Количество осадков по результатам анализа данных по метеостанции г. Прохладный с течением времени увеличивается, а по метеостанции г. Терек – уменьшается.
- Характер изменения температурного режима в степной зоне республики по результатам анализа данных обеих метеостанций одинаков. Средняя температура воздуха в данной климатической зоне, видимо, имеет тенденцию к повышению.
- Имеет также место существенное повышение минимальной температуры поверхности почвы.

Остановимся далее на результатах фрактального анализа временных рядов используемых в работе метеопараметров в различные сезоны года. Отметим, что наличие фрактальных свойств для случая, когда поведение временного ряда не подчиняется нормальному закону распределения, дает ценную информацию об изучаемом процессе. В этих случаях, чем больше фрактальная размерность ряда (чем меньше показатель Херста), тем сложнее выявить такие особенности ряда как наличие тренда, наличие скрытых периодичностей и др.

Когда фрактальная размерность ряда уменьшается (соответственно увеличивается показатель Херста), тогда временной ряд становится менее зашумленным. Следствием этого является удлинение таких отрезков ряда, которые сохраняют один и тот же знак приращений.

Как известно, численное значение фрактальной размерности определяется с помощью так называемого R/S – анализа.

На рис. 1 приведены результаты R/S – анализа временных рядов сезонных количеств осадков по данным метеостанции г. Прохладный.

На этом и последующих рисунках по оси ординат отложены значения  $\log(R/S)$ , а по оси абсцисс – значения  $\log(a \cdot n)$ . При проведении расчетов было предположено  $a=0,5$ .

Обращает на себя внимание тот факт, что траектории показателя Херста для данного метеопараметра во все сезоны года меняются достаточно сложным образом. Это может указывать на наличие цикличностей во временных рядах этих метеопараметров. Можно еще заметить, что показатель Херста быстро увеличивается примерно с 0,2 до значений, близких к единице. Это указывает на то, что с увеличением количества членов временные ряды отмеченных метеопараметров меняются качественным образом и становятся трендоустойчивыми.

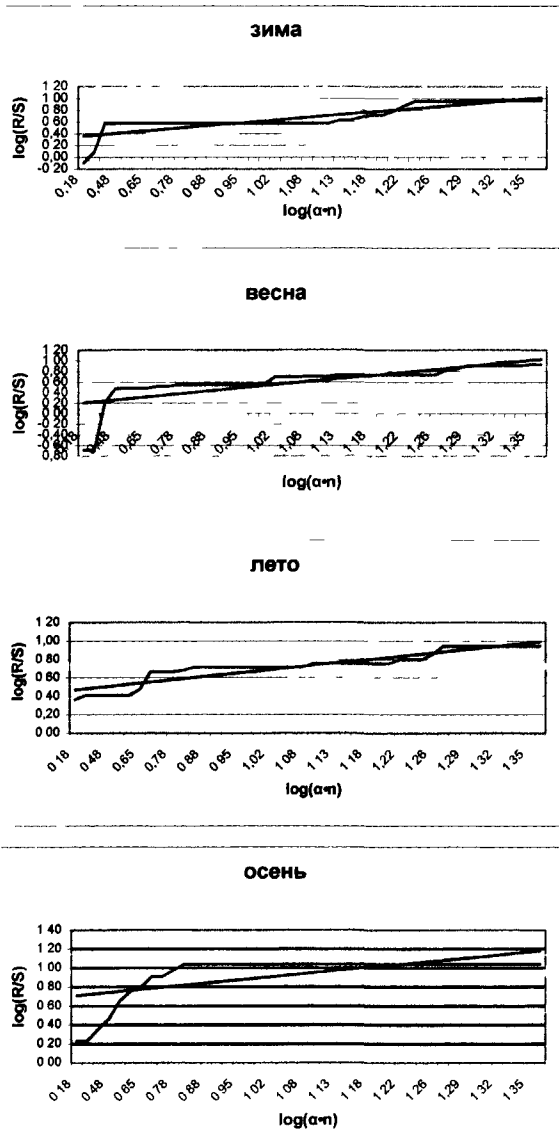


Рис. 1. Результаты R/S – анализа временных рядов сезонных количеств осадков по данным метеостанции г. Прохладный

В целом, как можно заметить, трендоустойчивость временных рядов всех метеопараметров достаточно высокая ( $H \approx 1$ ).

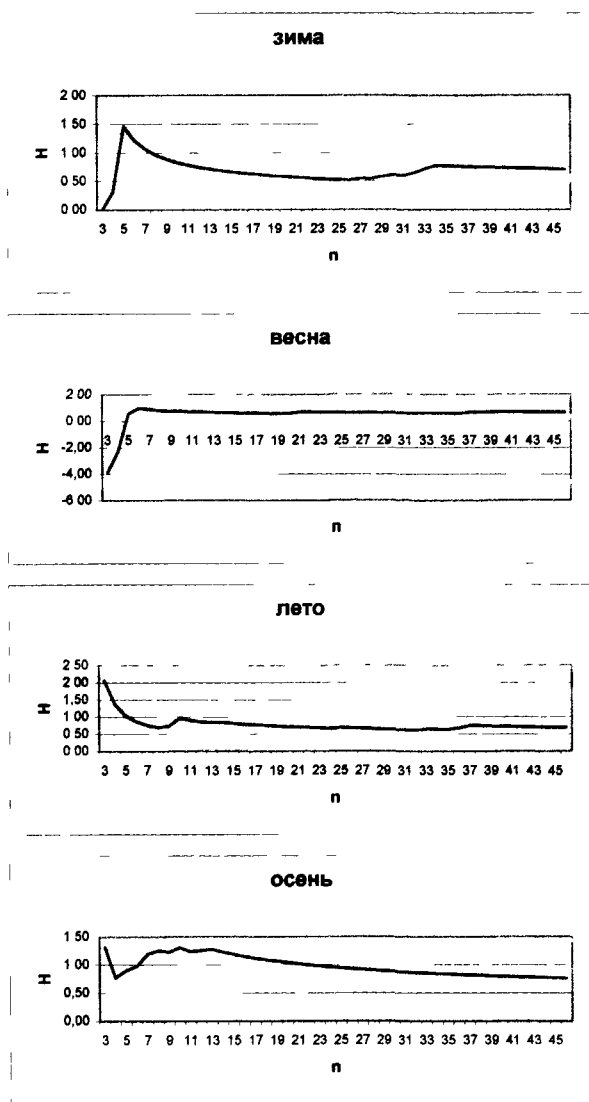


Рис. 2. Изменение значений показателя Херста в зависимости от количества членов во временных рядах сезонных количеств осадков

На рис. 2 показано изменение значений показателя Херста временных рядов метеопараметров с увеличением количества членов.

Можно заметить, что при малых значениях  $n$  изменение значений  $H$  носит хаотический характер, затем, начиная примерно с  $n=10$ , он меняется достаточно плавно, оставаясь в пределах 0,6 – 0,8. Из этих временных рядов меньшей трендоустойчивостью обладает временной ряд зимнего количества осадков.

Видимо, это связано с тем, что изменение данного метеопараметра в зимние сезоны носит относительно существенный характер, чем в остальные сезоны года. Затем следуют временные ряды количества осадков в летние и осенние сезоны. Наибольшей трендоустойчивостью обладает временной ряд количества осадков в весенние сезоны ( $H > 0,8$ ).

Качественно такие же результаты получены в результате расчетов фрактальных свойств временных рядов количества сезонных осадков по данным метеостанции г. Терек.

Основное отличие временных рядов сезонных количеств осадков, полученных на метеостанции в г. Терек, заключается в том, что трендоустойчивость временного ряда весеннего количества осадков оказалась меньшей.

Трендоустойчивость временных рядов количества осадков в другие сезоны, полученная по данным МС г. Терек, оказалась более высокой по сравнению с трендоустойчивостью временных рядов этих же метеопараметров, полученных на метеостанции г. Прохладный.

Это может свидетельствовать о том, что значения метеопараметров меняются более интенсивно в северной части республики, чем в южной ее части.

Это подтверждается и результатами математико-статистического анализа динамики временных рядов этих метеопараметров.

**В третьей главе** приведены результаты прогнозирования изменений климатических характеристик степной зоны КБР.

В настоящей работе использован метод, который основан на представлении трендов временных рядов метеопараметров в виде:

$$Y(t) = a_0 t + b_0 + \sum_{i=1}^n \left( a_i \cos \frac{2\pi t}{T_i} + b_i \sin \frac{2\pi t}{T_i} \right),$$

где  $a_0, b_0, a_i, b_i$  - неизвестные коэффициенты, которые находятся методом наименьших квадратов,  $T_i$  - содержащиеся во временных рядах метеопараметров цикличности, выделяемые методом фазовых портретов.

Для исследования возможности прогнозирования временных рядов обозначенных метеопараметров, как уже отмечалось, 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.

Далее остановимся на некоторых результатах прогнозирования изменений режима осадков в степной зоне республики с использованием изложенного подхода.

В результате анализа данных метеостанций было показано, что суммарное количество осадков меняется с течением времени сложным образом. Поэтому важное значение имеет определение изменений данного метеопараметра в различные сезоны года и в будущем. Оно необходимо для принятия научно-обоснованных решений по адаптации сельского хозяйства к изменению условий производства сельскохозяйственной продукции.

В связи с этим с использованием данных метеостанций были проведены расчеты по прогнозированию динамики суммарного количества осадков и температуры воздуха в приземном слое атмосферы в различные сезоны.

На рисунке 3 приведены результаты прогнозирования изменений количества зимних осадков в южной части степной зоны КБР.

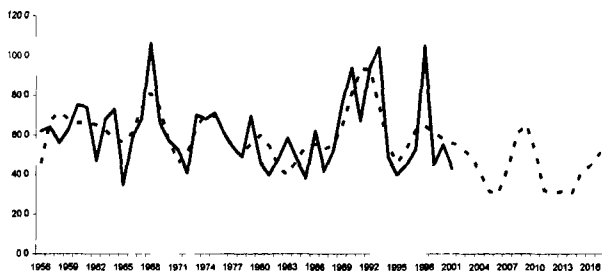


Рис. 3 - Фактические (сплошная линия) и прогнозные (пунктирная линия) значения суммарного количества зимних осадков. (г. Терек)

Как можно заметить на рисунке, тенденция уменьшения количества зимних осадков и в будущем будет иметь место. На этом рисунке обращает на себя внимание то, что периоды увеличения количества осадков чередуются периодами их уменьшения. С начала 2000-х годов, видимо, наступил период, когда количество зимних осадков будет незначительным.

Очевидно, что такой режим осадков не будет благоприятствовать производству озимых культур.

На рисунке 4 приведены результаты расчетов по прогнозированию динамики суммарного количества весенних осадков в этой же части степной зоны республики.

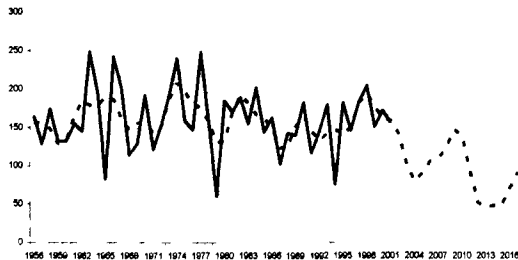


Рис. 4 - Фактические (сплошная линия) и прогнозные (пунктирная линия) значения суммарного количества весенних осадков. (г. Терек)

По результатам расчетов, такая тенденция в динамике данного метеопараметра в будущем будет сохраняться. Такое изменение режима осадков неблагоприятным образом может повлиять на всю растениеводческую отрасль и в целом на сельское хозяйство данной части степной зоны республики.

Результаты расчетов по прогнозированию количества летних осадков приведены на рисунке 5. Как можно заметить, после периода уменьшения значений данного параметра (2001-2006 гг.) наступит период заметного их увеличения. Максимальное значение метеопараметра на интервале упреждения будет меньше его абсолютного максимума на исходном интервале, а минимальное значение - незначительно больше абсолютного минимума на этом же интервале.



Рис. 5 - Фактические (сплошная линия) и прогнозные (пунктирная линия) значения суммарного количества летних осадков. (г. Терек)

Таким образом, влияние динамики данного параметра на производство сельскохозяйственной продукции в рассматриваемой части степной зоны республики на интервале упреждения будет отличаться значительной неустойчивостью.

На рисунке 6 приведены результаты расчетов по прогнозированию изменений количества осенних осадков. По результатам расчетов (рис. 6) наступил период уменьшения значений данного метеопараметра, подобный примерно периоду, охватывающему шестидесятые годы. Затем будет иметь место увеличение количества осенних осадков.

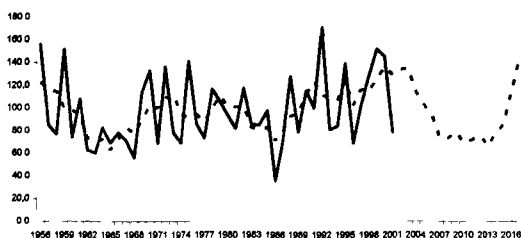


Рис. 6 - Фактические (сплошная линия) и прогнозные (пунктирная линия) значения суммарного количества осенних осадков. (г. Терек)

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

В связи с этим были проведены аналогичные расчеты по прогнозированию изменений температурного режима воздуха в степной зоне КБР на предстоящий период времени. Результаты расчетов показывают, что зимы в степной зоне республики будут достаточно теплыми: средняя зимняя температура воздуха несколько лет находится в области положительных значений и эта тенденция будет продолжаться.

Отметим, что такой характер изменения средней температуры воздуха не будет способствовать образованию устойчивого снежного покрова. Поэтому понижение температуры в этих условиях может привести к гибели озимых культур.

В целом можно отметить, что изменения природно-климатических характеристик в северной части степной зоны республики будут оказывать благоприятное влияние на производство сельскохозяйственной продукции, в южной части оно будет неблагоприятным.

**В четвертой главе** рассмотрены проблемы организации производства сельскохозяйственной продукции в степной зоне КБР с учетом изменения природных факторов.

Одной из важнейших задач адаптации сельского хозяйства к изменению климата является установление зависимости урожайности сельскохозяйственных культур от природных факторов. Знание этой зависимости представляет интерес и для принятия научно-обоснованных решений при планировании производства сельскохозяйственной продукции и проведении других мероприятий, связанных с функционированием АПК.

Решение этой задачи встречает трудности, связанные с многообразием природных факторов и чрезвычайно сложным характером их влияния на продуктивность растений.

Отметим, что при получении такой зависимости важную роль играют объем и качество используемой информации. Как известно, на урожайность сельскохозяйственных культур помимо природных факторов значительное влияние оказывают и так называемые факторы интенсификации: внесение удобрений, орошение, борьба с болезнями и вредителями и другие.

В связи с этим детальное изучение взаимосвязи между урожайностью растений и природными факторами требует проведения тщательно спланированных полевых экспериментов.

Ниже приводятся результаты исследования зависимости урожайности основных сельскохозяйственных культур степной зоны республики от природных факторов. При этом для снижения роли отмеченных выше факторов интенсификации на получаемые результаты были использованы данные об урожайностях культур с 1991 г, начиная с которого роль этих факторов фактически свелась к минимуму. Исследовалась зависимость урожайности таких культур как зерновые и зернобобовые, озимая пшеница, кукуруза на зерно, ячмень озимый, ячмень яровой, рожь озимая, гречиха, просо, овес, горох от различных природных факторов. В качестве таких факторов рассматривались количества зимних, весенних, летних и осенних осадков, а также средние температуры воздуха в эти же сезоны.

Таким образом, было предположено, что урожайность сельскохозяйственных культур является функцией отмеченных природных факторов. Тогда для урожайности конкретной культуры можно записать выражение вида:

$$Y = a_0 + a_1 W^{(0)} + a_2 W^{(3)} + a_3 W^{(4)} + a_4 W^{(A)} + a_5 \theta^{(0)} + a_6 \theta^{(3)} + a_7 \theta^{(4)} + a_8 \theta^{(A)} \quad (1)$$

где,  $a_i$ , ( $i=0, 1, \dots, 8$ ) подлежащие определению коэффициенты;  
 $W^{(0)}, W^{(3)}, W^{(b)}, W^{(\Lambda)}$  - количества осенних, зимних, весенних и летних осадков;  
 $\theta^{(0)}, \theta^{(3)}, \theta^{(b)}, \theta^{(\Lambda)}$  - средние осенние, зимние, весенние и летние температуры воздуха.

Для определения значений неизвестных коэффициентов в выражении (1) для перечисленных выше сельскохозяйственных культур использовался метод наименьших квадратов. При этом использовались данные об урожайности культур с 1991 года и о природных факторах, входящих в (1).

Остановимся далее на результатах расчетов.

Для озимой пшеницы была получена следующая зависимость урожайности от отмеченных природных факторов:

$$Y^{\Pi} = 4941 - 6,71 \cdot 10^3 W^{(0)} - 121 \theta^{(0)} W^{(b)} + 6,87 \cdot 10^2 W^{(b)} - 4,56 \cdot 10^2 W^{(\Lambda)} + 1,86 \theta^{(0)} + 0,66 \theta^{(3)} - 2,94 \theta^{(b)} - 0,46 \theta^{(\Lambda)} \quad (2)$$

В таблице 4 приведены фактические значения урожайности озимой пшеницы и значения, вычисленные по формуле (2).

Таблица 4  
 Фактические ( $Y_{\phi}$ ) и вычисленные ( $Y^{\Pi}$ ) урожайности озимой пшеницы.

годы	1991	1992	1994	1995	1996	1997	1999	2000	2001	2002
$Y_{\phi} \left( \frac{y}{га} \right)$	32,1	27,7	11,8	27,1	25,1	23,7	25,6	9,8	13,3	34,7
$Y^{\Pi} \left( \frac{y}{га} \right)$	31,98	27,53	11,72	26,74	25,13	24,63	24,74	10,67	12,58	35,15

Как можно заметить из таблицы, вычисленные по формуле (2) урожайности озимой пшеницы достаточно хорошо совпадают с фактическими, т.е. выражение (2) достаточно хорошо описывает зависимость урожайности данной культуры от природных факторов.

Для остальных культур были получены аналогичные зависимости урожайности от этих же природных факторов.

Остановимся далее на некоторых результатах расчетов по прогнозированию урожайности основных сельскохозяйственных культур в степной зоне КБР. При этом используются полученные выше их зависимости от количества осадков и средней температуры воздуха в различные сезоны и полученные прогнозные значения этих факторов.

На рисунке 7. приведены практические и прогнозные значения урожайности озимой пшеницы в Прохладненском районе на период с 2003 по 2017 год.

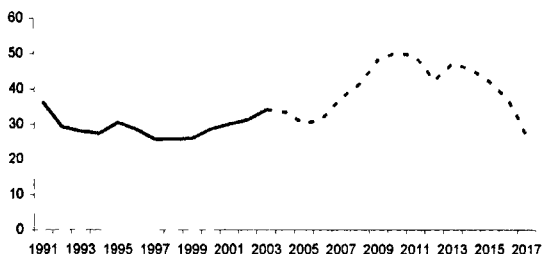


Рис. 7 - Фактические (сплошная линия) и прогнозные (пунктирная линия) значения урожайности озимой пшеницы в Прохладненском районе.

Как можно заметить на этом рисунке, урожайность озимой пшеницы на всем интервале упреждения в целом остается достаточно высокой. При этом наблюдается ее рост до 2009-2011 гг, затем имеет место постепенное ее уменьшение. Но, несмотря на это, среднее ее значение, соответствующее интервалу 2013-2017 гг (39,6 ц/га) остается выше среднего значения, соответствующего первой пятилетке (2003-2007 гг) (33,4 ц/га).

Рассмотрим результаты прогнозирования урожайности данной сельскохозяйственной культуры в Терском районе. На рисунке 8 приведены значения урожайности озимой пшеницы на исходном временном интервале (1991-2002 гг) и на интервале упреждения.

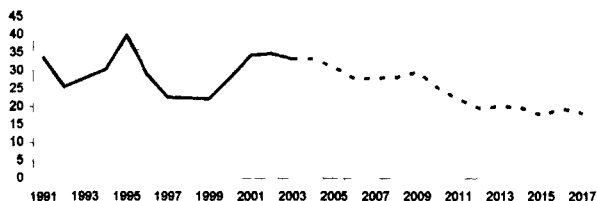


Рис. 8 - Фактические (сплошная линия) и прогнозные (пунктирная линия) значения урожайности озимой пшеницы в Терском районе.

Как можно заметить на рисунке, имеет место практически стабильное уменьшение урожайности озимой пшеницы. Сравнение рисунков показывает, что урожайность озимой пшеницы в северной части степной зоны республики существенно выше, чем в южной ее части.

Из всех культур менее чувствительным к изменениям природных условий производства оказался овес, значения урожайности которого (по

Прохладенскому району) на предстоящий 15-летний период приводятся на рисунке 9.

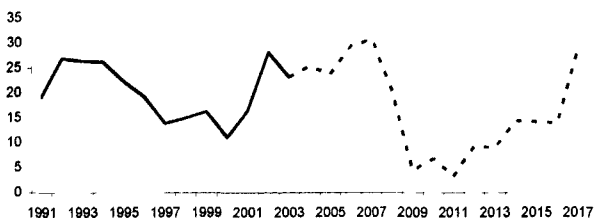


Рис. 9 - Фактические (сплошная линия) и прогнозные (пунктирная линия) значения урожайности овса в Прохладенском районе.

Кроме того, предложена математическая модель адаптации сельского хозяйства к изменению природных факторов.

**В заключении** перечислены полученные в диссертационной работе основные результаты :

1. По данным с 1955-1956 гг. проведен детальный анализ изменений количества осадков в степной зоне КБР в различные сезоны года. Получено, что в северной части данной климатической зоны республики происходит увеличение количества осадков во все сезоны года. При этом более существенное его увеличение имеет место в динамике осенних осадков. В южной части степной зоны, наоборот, происходит уменьшение годового количества осадков.
2. Проведен анализ изменения температурного режима воздуха в различные сезоны года и почвы в различные месяцы. Получено, что средняя температура воздуха в данной климатической зоне повышается. Наиболее существенное повышение средней температуры воздуха по результатам анализа имеет место в зимние сезоны. Имеет также место повышение минимальной температуры почвы в зимние, весенние и осенние сезоны, причем, наиболее существенное повышение наблюдается в зимние сезоны.
3. Методами фрактального анализа исследовано трендоустойчивость временных рядов основных природных факторов, которые определяют производство растениеводческой продукции. Получено, что показатель Херста  $H$  - временных рядов принимает значения от 0,7 и выше, что указывает на их трендоустойчивость.
4. Путем построения фазовых портретов исследованы спектральные структуры временных рядов метеопараметров, определяющих продуктивность сельскохозяйственных культур. Полученные таким образом периодичности используются для построения модели прогнозирования динамики природных факторов.

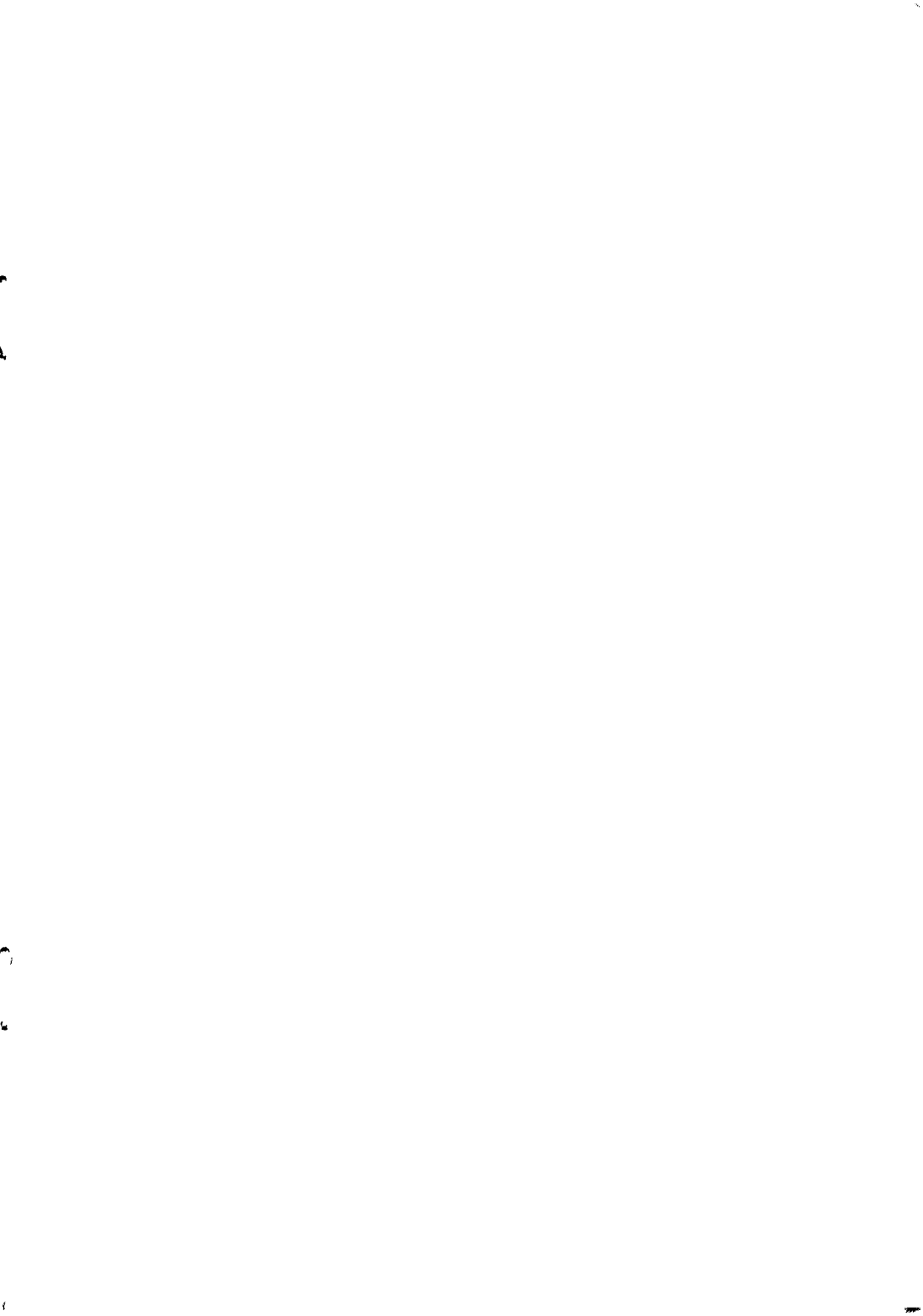
5. Разработана модель для различных районов степной зоны КБР и проведен прогноз динамики основных агрометеорологических факторов (количество осадков и средняя температура воздуха в различные сезоны года), определяющих продуктивность сельскохозяйственных культур. Показано, что и в предстоящие годы будет иметь место повышение средней температуры воздуха преимущественно в зимние и весенние сезоны. Важным для сельского хозяйства является, на наш взгляд, 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 останется практически без изменений, а средняя осенняя температура – незначительно понизится.
6. С использованием данных с 1991 по 2003 гг. об урожайностях основных сельскохозяйственных культур в степной зоне КБР и значений отмеченных факторов (количества осадков и средние температуры воздуха в различные сезоны года) на этом же интервале времени построены зависимости продуктивности культур от природных факторов. С использованием этих зависимостей и прогнозных значений метеопараметров получены прогнозные значения урожайностей основных для степной зоны КБР культур до 2017 года.
7. Разработана математическая модель оптимизации производства сельскохозяйственной продукции с учетом климатических изменений количества атмосферных осадков и температуры воздуха в приземном слое атмосферы.

Полученные в работе результаты могут быть использованы для определения приоритетных направлений развития сельского хозяйства в степной зоне КБР с учетом изменений основных факторов, влияющих на производство сельскохозяйственной продукции.

Приведенные в работе методы также можно использовать для решения таких же задач и для других климатических зон республики и других регионов.

**Результаты диссертации опубликованы в следующих работах:**

1. Байдаев Э.К. Применение математического моделирования в агрометеорологии // Материалы юбилейной конференции посвященной 20-летию КБГСХА.– Нальчик, 2001.- С.106-108.
2. Байдаев Э.К., Налоева Р.Х. Анализ динамики агрометеорологических факторов степной зоны КБР. -Нальчик: ФГОУ ВПО «Кабардино-Балкарская государственная сельскохозяйственная академия», 2005.-16С.
3. Байдаев Э.К. Анализ фрактальных свойств временных рядов количества осадков и средней температуры воздуха. -Нальчик: ФГОУ ВПО «Кабардино-Балкарская государственная сельскохозяйственная академия», 2005.-16С.
4. Ашабоков Б.А., Бисчоков Р.М., Байдаев Э.К. О проблеме адаптации сельского хозяйства к изменениям климата// VI Всероссийский симпозиум по прикладной и промышленной математике, Сочи. – ОППМ, 2005.- Т12, №4.- С. 902.
5. Ашабоков Б.А., Бисчоков Р.М., Байдаев Э.К. Климатические изменения режима осадков в КБР// VI Всероссийский симпозиум по прикладной и промышленной математике, Сочи. – ОППМ, 2005.- Т12, №4.- С. 902-903.



№ 25 8 72

РНБ Русский фонд

2006-4

29651