

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное агентство по образованию  
ГОУ ВПО  
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ  
(РГГМУ)

На правах рукописи

УДК [551.509.33:551.509.314] (678)

**Чанга Ладислаус Бенедикт**

Долгосрочный прогноз осадков для Танзании  
физико-статистическим методом

Специальность 25.00.30 – метеорология, климатология, агрометеорология

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертация на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук

Санкт-Петербург 2006

Диссертация выполнена на кафедре Метеорологических прогнозов  
Российского государственного гидрометеорологического университета.

Научный руководитель:

- Профессор, доктор физико-математических наук  
Репинская Раиса Петровна .

Официальные оппоненты:

- Доктор технических наук, профессор, Заслуженный деятель науки РФ  
Дегтяренко Галина Анатольевна.
- Кандидат физико-математических наук,  
доцент Смирнов Игорь Александрович.

Ведущая организация:

- Государственное учреждение “Арктический и Антарктический НИИ”

Защита диссертации состоится “18” мая 2006 г. в 15 часов 30 минут на заседании диссертационного совета Д.212.197.01 в Российском государственном гидрометеорологическом университете по адресу: 195196, г. Санкт-Петербург, Малоохтинский пр., 98, тел. 812.444-41-63.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Российского государственного гидрометеорологического университета по адресу:  
195196, г. Санкт-Петербург, Малоохтинский пр., 98.

Автореферат разослан “5” апреля 2006 г.

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



А. Д. Кузнецов

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы

Республика Танзания расположена между  $1 - 12^{\circ}$  ю.ш. и  $29 - 40^{\circ}$  в.д. На её территории находятся такие озера, как Виктория на севере, Танганьика на западе и Ньяса на юге, а на востоке расположен Индийский океан. Площадь страны составляет  $940000 \text{ км}^2$ . Лишь небольшая ее часть, включающая острова Пемба и Занзибар, города Танга, Дар-эс-Салам и Мтвара, занимает территорию, не превышающую 200 м над уровнем моря, а остальная часть – гористая.

Экономическое развитие Танзания по существу определяется сельскохозяйственным производством [M. S. Mhita, 1990]. Причем продуктивность сельскохозяйственных культур зависит от даты начала, количества, характера и продолжительности сезона дождей. Кроме того, количество, характер и продолжительность дождей оказывают большое влияние на флору и фауну, а также на работу гидроэлектростанций и дорожное хозяйство.

Из всех характеристик погоды и климата важнейшее значение имеют атмосферные осадки, так как экстремальная изменчивость годовых, сезонных и месячных осадков, продолжительные неперидические засухи, нередко приобретающие характер экологические катастроф [J. O. Odiyo, 1994], приводят к серьезным экономическим проблемам. Хотя другие элементы климата также меняются, однако наиболее изменчивым климатическим элементом во времени и пространстве являются осадки [L. J. Ogallo, 1981].

Годовые значения осадков меняются в пределах от 500 мм в центральной части страны и более 2400 мм на некоторых южных метеостанциях [L. J. Ogallo, 1981]. В северной части страны и на восточном побережье в годовом ходе осадков имеется два максимума: первый в марте – мае, второй в октябре – декабре [E. Zorita, F. T. Faustine, 2002]. Для южных, западных и центральных районов характерен один максимум, который приходится на ноябрь – апрель [D. H. Johnson, 1962, E. Vazira, 2000].

Осадки в Танзании связаны не только с циркуляциями синоптического масштаба (ВЗК, муссонной циркуляцией), но и с мезомасштабными циркуляциями, вызванными региональными факторами, такими, как наличие больших водоемов и сложного рельефа. ВЗК мигрирует, следуя за движением Солнца с временным запаздыванием на один месяц [L. J. Ogallo, 1982]. В период с декабря по февраль она располагается на  $10 - 15^{\circ}$  ю. ш., причем преобладающий северо-восточной муссон, меняет свое направление после пересечения экватора и становится северо-западным [S. Nieuwort, 1979]. Этот поток воздуха довольно сухой, за счет чего в северной части страны наблюдается относительно сухая погода. Здесь и на побережье Индийского океана осадки возникают только за счет бризовой циркуляции и орографического подъема воздуха. Орографические подъемы и конвергенция воздушных масс в области ВЗК вызывают в этот период значительное выпадение осадков в южной части страны [J. O. Odiyo, 1994]. В период с марта по май ВЗК вторгается в Танзанию с юга. За счет крупномас-

штабной конвергенции и неустойчивости преобладающих воздушных масс индоокеанского происхождения выпадает много конвективных осадков. Эти осадки называют продолжительными [V. V. Mistry., D. Conway, 2003]. С мая по сентябрь преобладающим является сухой и достаточно прохладный юго-восточный муссон [S. Nieuwort, 1979]. Это объясняется тем, что муссон зарождается в области антициклона, расположенного в районе Маскаренских островов, и теряет часть влаги при переваливании через меридионально расположенные горы на о. Мадагаскар. В период с сентября по декабрь ВЗК мигрирует с севера на юг намного быстрее по сравнению с движением в северном направлении [S. Nieuwort, 1979]. В этот период на севере страны и на восточном побережье отмечается сезон коротковременных дождей. С этих позиций особенно актуален долгосрочный прогноз осадков, а решение проблемы прогноза является одной из приоритетных задач не только африканских метеорологов, но и мировой метеорологической науки. Даже частичное решение проблемы имеет большую научную и практическую ценность, особенно при планировании работ в сельском хозяйстве, на водном и железнодорожном транспорте, в строительстве и других отраслях хозяйственной деятельности.

#### **Цель и задачи исследования.**

Цель диссертационной работы заключается в разработке множественной регрессионной модели для долгосрочного прогноза осадков для Танзании на основе физико-статистического подхода [М. И. Юдин, 1968].

Для достижения этой цели применяемые физико-статистические методы сводятся к решению следующих задач :

1 Описание пространственно-временной структуры полей месячных сумм осадков (предиктант) различными аналитическими методами с целью выявления ее особенностей; расчет временных последовательностей коэффициентов разложения или главных компонент (ГК), а также анализ периодичности и предсказуемости последних. В качестве основного способа описания горизонтальных метеорологических полей применяется метод эмпирических ортогональных составляющих (ЭОС) [Н. А. Багров, 1959]. Кроме того, применяются вейвлет-анализ и корреляционные методы.

а) Анализ результатов представления полей месячных сумм осадков над территорией Танзании по ЭОС. Этот метод использовался для исследования и прогноза полей осадков в основном для Северной Африки [Р. П. Репинская, 1996]. Нами предпринята попытка описать структуру осадков для всех месяцев года. При этом разложение полей велось для каждого месяца по собственному базису.

б) Исследованы зависимости структуры осадков от размерности пространственного базиса и объема выборок. Однако практический интерес представляет выделение ГК, характеризующих эволюцию полей осадков в Танзании от месяца к месяцу, с целью их прогноза по авторегрессионным моделям.

в) С помощью пакета прикладных статистических программ (ППСП) [С. Torrence., G. P. Combo, 1998] проведен ряд численных экспериментов по приме-

нению вейвлет–преобразования для анализа свойств временных рядов осадков, включающих в себя:

- анализ амплитуд и периодичности в ходе коэффициентов разложения посредством вейвлет–преобразования с помощью базисного вейвлета Morlet;
- изменение масштаба по времени с целью выделения интервала периодов сильных колебаний, имеющих значимые амплитуды месячных сумм осадков за 1960 – 2002 гг.;

г) Оценка статистической предсказуемости ГК, полей месячных сумм осадков по ЭОС горизонтальных координат и по времени, описывающих эволюцию естественных колебаний (ЕК) при переходе от месяца к месяцу и от года к году;

к) Синтез параметров разложения полей месячных сумм осадков, характеризующих отдельные годы выборочной совокупности, с целью:

- разделения коррелированной и случайной составляющих и оценки дисперсионной нагрузки флуктуаций, описывающих изменения климата;
- получения новых количественных характеристик структуры атмосферных движений на основе имеющихся параметров разложения полей месячных сумм осадков по ЭОС.

2 Подготовка гидрометеорологической информации, используемой в качестве потенциальных предикторов в физико-статистической схеме долгосрочного прогноза осадков с большой заблаговременностью, и описание полей предикторов методом ЭОС для выделения ГК.

3 Рассмотрение средних значений осадков для отдельных районов, вместо осадков по отдельным пунктам, представляющих собой достаточно однородную в физико–географическом отношении информацию. Проведение с этой целью климатического районирования территории Танзании с помощью метода ЭОС и кластерного анализа [И. Н. Эзау, 1995].

4 Расчет асинхронных статистических связей между сезонными осадками (предиктант) и потенциальными предикторами и выбор с помощью ряда критериев предикторов, имеющих значимые статистические связи с предиктантами.

5 Из комплекса отобранных предикторов выделяются наиболее информативных из них посредством иерархического комплекса решающих правил.

6 По данным зависимой выборки строится и тестируется регрессионная модель для каждого предиктанта.

7 Оценивается успешность методических долгосрочных прогнозов осадков на независимой выборке по каждому климатическому району с помощью ряда критериев, используемых в метеорологической практике.

#### **Научная новизна работы**

*Новые результаты, полученные в диссертации, состоят в следующем:*

1 Впервые для всей территории Танзании осуществляется разработка физико–статистического метода прогноза сезонных осадков большой заблаговременности. Полученные результаты, дают основание полагать, что разработанная методика физико–статистического прогноза осадков может быть использована

при составлении оперативных прогнозов для территории Танзании и Восточной Африки. Кроме того, ее можно использовать и для прогноза других метеорологических параметров.

2 Обнаружено, что процессы, ответственные за формирование осадков и протекающие в период коротковременных дождей (октябрь – декабрь), мощнее по выборочной дисперсии, чем процессы, протекающие в период продолжительных дождей (март – май).

3 Показано, что использованный критерий засушливости, предложенный Д. А. Педем для исследования атмосферных засух и избыточного увлажнения, хорошо характеризует изучаемое явление и его можно успешно применять в практической работе.

4 Определена совокупность потенциальных предикторов для долгосрочного прогноза осадков на территории Танзании.

5 Методом вейвлет-анализа определены периодические составляющие полей месячных осадков, включающие годовые колебания, а также колебания с периодами 2 – 3 года, 3 – 6 и 10 – 11 лет.

**Научное и практическое значение диссертации** заключается в том, что

– разработанные модели могут быть внедрены в оперативную службу долгосрочного прогноза осадков для Танзании;

– полученные результаты могут быть использованы в учебном процессе при преподавании таких дисциплин, как долгосрочные методы прогноза погоды, методы статистической обработки гидрометеорологической информации и принятия статистических решений, а также климатология.

**Апробация результатов**

Наиболее значимые результаты диссертации докладывались на Итоговых сессиях Ученого совета РГГМУ (2004 – 2006 гг.); сессиях СНО РГГМУ (2000 – 2003 гг.); международной школе-конференции «Изменения климата и окружающая среда (РГГМУ, Санкт-Петербург, 2005 г); научных семинарах управления Метеорологической службы Танзании (Tanzania Meteorological Authority, 2004 г.); межфакультетском научном семинаре метеорологического факультета РГГМУ (март, 2006 г). По теме диссертации опубликовано 4 работы и 2 находятся в печати.

**На защиту выносятся:**

1) Особенности пространственно-временной структуры полей месячных сумм осадков по территории Танзании.

2) Климатическое районирование территории Танзании с целью долгосрочного прогноза сезонных осадков.

3) Результаты анализа показателя засухи и избыточного увлажнения в Танзании.

4) Совокупность потенциальных предикторов для долгосрочного прогноза осадков в Танзании.

5) Физико-статистический метод долгосрочного прогноза осадков для Танзании и результаты его апробации на независимых выборках.

### Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, шест глав, заключения, приложений и списка использованных источников, включающего 212 наименования. Общий объем работы составляет 251 страницы, включая 108 рисунков и 41 таблицу.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации; сформулированы цели и задачи исследования; приведены основные положения и результаты, выносимые на защиту, а также теоретическая новизна и практическая значимость работы.

В первой главе излагаются описание пространственно-временной структуры полей месячных сумм осадков (предиктант) различными аналитическими методами с целью выявления их особенностей, расчет временных последовательностей их главных компонентов (ГК), а также анализ периодичности и предсказуемости последних. В качестве основного способа описания метеорологических полей применяется метод эмпирических ортогональных составляющих (ЭОС). Выделяемые при разложении по ЭОС наиболее крупномасштабные составляющие полей одновременно характеризуются большим временем релаксации [М. И. Юдин, 1968]. Кроме того, применяются вейвлет-анализ и корреляционные методы.

Метод ЭОС заключается в том, что осадки (или другая метеовеличина) в каждом пункте поля представляются в виде следующей суммы:

$$\mathfrak{A}(x_i, y_i, t_k) = \sum_{j=1}^n T_j(t_k) X_j(x_i, y_i), \quad (1)$$

где  $\{T_j(t_k)\} = \{T_{jk}\}$  – коэффициенты разложения (ортогональные случайные функции времени), описывающие амплитуду естественных колебаний (ЕК) поля метеовеличины при переходе от одной синоптической ситуации к другой;  $\{X_j(x_i, y_i)\} = \{X_{jk}\}$  – система ЭОС, зависящих только от размерности базисного пространства  $N$ .

Основой определения неизвестных ЭОС  $\{X_{jk}\}$  и коэффициентов  $\{T_{jk}\}$  является условие минимума среднеквадратической ошибки разложения по всей выборке полей [Н. А. Багров, 1959]:

$$\Delta = \sum_i \sum_j \left( \mathfrak{A}_{ij} - \sum_k T_k X_{kj} \right)^2 = \min \quad (2)$$

Составляющие  $X_j$  определяется из системы уравнений

$$\sum A_{is} X_s = \lambda X_i, \quad (s=1,2,\dots,n), \quad (3)$$

в которой  $A_{is}$  – элементы корреляционной матрицы ( $A$ ), получаемые по совокупности полей для пунктов  $i$  и  $s$ ;  $\lambda$  – собственные числа квадратной симметричной матрицы ( $A$ ) определяются из характеристического уравнения. Получается  $n$  значений  $\lambda_j$  ( $j=1,2,\dots,n$ ), где  $n$  равно размерности базисного простран-

ва. Из системы (3) для каждого значения  $\lambda_j$  находится  $\ell$  различных решений  $X_j$ , ( $\ell = 1, 2, \dots, n$ ). Совокупность таких значений  $X_j$ , представляет собой ЭОС  $X_j(x, y)$ . Каждое отдельное  $\lambda_j$  определяет ту часть общей дисперсии, которая учитывается  $j$ -тым слагаемым разложения полей. Временные функции  $T_{jk}$ , соответствующие собственным векторам  $X_j$ , ( $j = 1, 2, \dots, n$ ) определяются с использованием условия нормирования  $\sum_{j=1}^n X_j^2 = 1$  по соотношению

$$T_{jk} = \sum_{j=1}^n \lambda_j X_j \quad (4)$$

Понятно, что значимость каждого слагаемого в разложении (1) неодинакова. Наиболее значимыми ЭОС будут те, которые соответствуют наибольшим значениям  $\lambda_j$ . Наибольший интерес представляют ЭОС  $X_j$  и функции  $T_{jk}$ , описывающие наиболее мощные ЕК.

Для выявления погодообразующих ЕК, был использован критерий "Kaiser" [С. Р. К. Basalirwa et.al, 1999], где все ЭОС, собственные значения которых  $\lambda_j \geq 1$ , считаются погодообразующими; после чего использован графический подход "Scree test" [С. Р. К. Basalirwa et.al, 1999] для уточнения результатов. Согласно теории метода ЭОС, вклад каждого ЕК в выборочную дисперсию ( $D_j$ ) определяется величиной соответствующего собственного числа  $\lambda_j$  пространственной корреляционной матрицы:  $D_j = \left( \lambda_j / \sum_{j=1}^n \lambda_j \right) 100\%$ . Доля общей дисперсии,

описываемая суммой  $n$  слагаемых ряда, находится по формуле

$$D_{\text{sum}} = \left( \sum_{j=1}^n \lambda_j / \sum_{j=1}^n \lambda_j \right) \cdot 100\%.$$

Рассматриваются результаты, аппроксимации полей месячных сумм осадков над территорией Танзании по ЭОС. Этот метод использовался для анализа и прогноза полей осадков, в основном, для Северной Африки [Р. П. Репинская, 1996]. Нами предпринята попытка описать структуру осадков для всех месяцев года. При этом разложение полей велось для каждого месяца по собственному базису.

Исследованы зависимость структуры осадков от размерности пространственного базиса и объема выборок. Однако практический интерес представляет выделение ГК, характеризующих эволюцию полей осадков в Танзании от месяца к месяцу, с целью их прогноза по авторегрессионным моделям.

Показано, что если отсечь ЭОС, для которых  $\lambda_j \geq 1$ , то над территорией Танзании погодообразующие ЕК в полях осадков будут описывать от 74 % (декабрь, семь ЕК) до 83 % выборочной дисперсии (июль, 10 ЕК). Тот факт, что погодообразующие ЕК над территорией Танзании составляют от семи (ноябрь, декабрь) до 10 (апрель, июль, сентябрь) ЕК, подтверждает вывод [М. Indeje, 2000] о чрезвычайно важной роли региональных процессов в формировании режима осадков в Танзании.

С помощью ШПСИ был проведен ряд численных экспериментов по применению вейвлет–преобразования для анализа свойств временной последовательности значений осадков, включающих в себя: анализ амплитуд и периодичности в ходе коэффициентов разложения посредством вейвлет–преобразования при использовании базисного вейвлета Morlet; изменение масштаба по времени с целью выделения интервалов периодов сильных колебаний, имеющих значимые амплитуды месячных сумм осадков за 1960 – 2002 гг. Обнаружены годовые колебания, а также колебания с периодами 2–3 года, 3–6 лет и 10–11 лет;

**Во второй главе** рассмотрены результаты II – го этапа разложения полей месячных сумм осадков в двойные ряды по ЭОС горизонтальных координат и по времени (ЭОСВ). Проведена оценка статистической предсказуемости коэффициентов разложения по ЭОСВ месячных сумм осадков. Сильная зашумленность рядов ГК месячных сумм осадков для Танзании, требует применения адекватных эффективных фильтрующих процедур к их рядам для рассмотрения тонкой спектральной структуры естественных колебаний с целью: разделения коррелированной и случайной составляющих и оценки дисперсионной нагрузки флуктуаций, описывающих изменения климата; получения новых количественных характеристик структуры атмосферных движений на основе имеющихся параметров разложения полей месячных сумм осадков по пространственным ЭОС, несущих информацию о дисперсионной нагрузке при переходе от месяца к месяцу. Такой фильтрующей процедурой послужил алгоритм разложения полей в ряды по ЭОСВ [Р.П. Репинская, 1969, 1971].

$$T_j(t_{m',n'}) = \sum_{l=1}^{l=m+2} \beta_{jl}(t_n) Y_{jl}(t_m) \quad (5)$$

Здесь  $n$  – номер года в исходной выборке ( $n = 43$ );  $m$  – номера месяца ( $m = 12$ );  $Y_{jl}(t_m)$  – собственные векторы временной ковариационной матрицы (по аналогии с ЭОС  $X_{jl}$ ), зависящие от расчетных точек на временной оси, т.е. в данном случае ЭОСВ рассматриваются как собственные векторы матриц 12–го порядка;  $\beta_{jl}$  – коэффициенты разложения в ряд по ЭОСВ, которые вычислялись формуле

$$\beta_{jl}(t_n) = \sum_{l=1}^l T_j(t_{m,n}) Y_{jl}(t_m). \quad (6)$$

Коэффициенты  $\beta_{jl}$  рассчитывались только для первых трех коэффициентов  $T_j$ , полученных при разложении полей по ЭОС. Результаты оценки статистической предсказуемости коэффициентов  $\beta_{jl}$  показали, что предел предсказуемости сигнала при аппроксимации ЕК моделью «сигнал плюс шум» [ Парзен ] даже для тех коэффициентов, в ходе которых сигналы выделяются, определить не удается, так как линейная авторегрессия первого порядка с наложенным на нее «белым шумом» не соответствует реальной эволюции спектральных компонентов осадков.

**В третьей главе** выполнено климатическое районирования территории Танзании по комплексу параметров. В качестве исходных данных были использованы: сезонная сумма осадков по 41 пункту наблюдений, равномерно покры-

вающих территорию Танзании, и средние сезонные максимальная температура и минимальная по 20 пунктам наблюдений за 1972 – 2002 гг.. Нами был применен метод ЭОС [Н. А. Багров, 1959]. Расчеты проводились отдельно по каждому из метеорологических параметров за каждый сезон года. Несколько первых ЭОС, соответствующих наибольшему собственным значениям корреляционных матриц, использовались для проведения предварительных границ районов. Границам в этом случае соответствуют нулевые изолиния ЕК, а наложение на карту нескольких ЕК позволяет выделить относительно однородные районы [О. М. Покровский, А. Г. Пятигорский, 1995]. Далее полученные предварительные границы были уточнены на основе процедуры автоматической классификации по методу Уорда. Окончательный вариант районирования представлен на рисунке 1. Видно, что территория страны подразделяется на 10 однородных районов. Далее, нами описаны основные факторы, определяющие особенности район и оценена информативность отдельных станций.

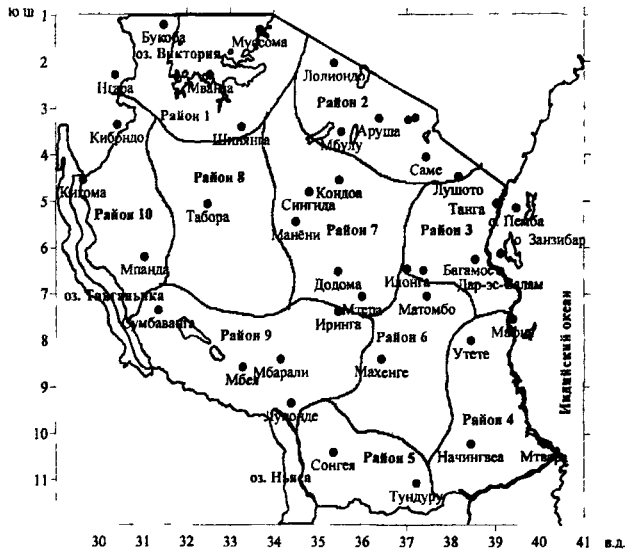


Рисунок 1 – Результаты климатического районирования территории Танзании.

**В четвертой главе** рассматривается вопрос о показателе засухи и избыточного увлажнения в Танзании. С 1870 по 1990 г. больше 70% из всех катастрофических явления в Танзании были связаны с засухами и избыточным увлажнением. Проводится исследование атмосферных засух и избыточного увлажнения на основе количественного параметра, предложенного Д. А. Педем:  $S_i(\tau) = \Delta T / \sigma_T - \Delta R / \sigma_R$ , где  $i$  - пункт, для которого вычисляется индекс;  $\Delta T$  - аномалия температуры воздуха, а  $\Delta R$  - аномалия количества осадков за рассматриваемый интервал времени  $\tau$ ;  $\sigma_T$  и  $\sigma_R$  - соответственно средние квадратиче-

ские значения величин  $\Delta T$  и  $\Delta R$ . В нашей работе  $\tau$  равно одному месяцу. Таким образом, индекс  $S_i$  представляет собой разность нормированных значений аномалий температуры и количества осадков в отдельные месяцы года в пункте  $i$  и указывает на потенциальную возможность засух и избыточного увлажнения за счет атмосферных факторов, а именно: чем меньше выпадает осадков и чем выше температура воздуха, тем выше оценка значения индекса  $S_i$  и, следовательно, вероятности засухи, и наоборот.

Значение  $S_i$  определялось для каждого года и каждого 20 – ти пунктов отдельно за октябрь, ноябрь и декабрь (сезон OND) и марта, апреля и мая (сезон MAM). Полученные результаты усреднялись по 10 районам и рассчитывались повторяемости засух и избыточного увлажнения разной интенсивности (таблица 1): чем больше  $S_i$ , тем явление сильнее, и наоборот [Д. А. Педь, 1975].

Таблица 1 – Повторяемость (%) засухи и избыточного увлажнения разной интенсивности по районам Танзании за 1972 – 2002 гг. в октябре – декабре

Район страны	Увлажнение			Около нормы	Засуха		
	очень сильное $S_i < -3$	сильное $-3 \leq S_i < -2$	слабое $-2 \leq S_i < -1$		слабая $1 < S_i \leq 2$	сильная $2 < S_i \leq 3$	очень сильная $S_i > 3$
1	0	9.7	12.9	54.8	12.9	6.5	3.2
2	6.5	0	12.9	48.4	25.8	6.5	0
3	3.2	6.5	12.9	48.4	16.1	12.9	0
4	3.2	12.9	3.2	54.8	16.1	9.7	0
5	6.5	6.5	6.5	54.8	16.1	0	9.7
7	3.2	9.7	12.9	45.1	29.0	0	0
8	0	12.9	19.4	38.7	19.4	6.5	3.2
9	3.2	12.9	12.9	38.7	22.6	6.5	3.2
10	0	9.7	16.1	48.4	16.1	6.5	3.2

Результаты анализа засухи и избыточного увлажнения за исследуемый период в Танзании показали, что территория Танзании подвержена воздействию как засухи, так и избыточного увлажнения, следовательно, изучение условий возникновения этих явлений необходимо в равной степени; ареал распространения как сильных засух, так и сильного увлажнения, в основном, локальный, хотя в отдельные годы может быть значительным по площади; использованный нами критерий засушливости достаточно хорошо характеризует изучаемое атмосферное явление и им можно успешно пользоваться в практической работе.

**В пятой главе** рассматриваются потенциальные предикторы для долгосрочного прогноза осадков в Танзании. Большое внимание уделяется влиянию крупномасштабного взаимодействия атмосферы и океана, процессам Эль-Ниньо, южное и североатлантическое колебания и индексу пассатного ветра на уровне

850 гПа над тропической частью Тихого океана, а также квазидвухлетнему циклу стратосферных переносов в экваториальной зоне и возможности воздействия космических факторов на региональные тенденции режима осадков. С целью нахождения предикторов для долгосрочного прогноза осадков рассматриваются асинхронные корреляционные связи между сезонными осадками и потенциальными предикторами. Территория Индийского океана была разбита на 11 частей, поименованных нами как INDO1 – INDO11 (таблица 2). На основе данных по среднемесячным значениям температуры поверхности океана (ТПО) для каждой части Индийского океана и для южной части Атлантики, были вычислены ЭОС. Оценка точности сходимости разложения по ЭОС среднемесячных ТПО показала, что уже первые четыре ГК описывают более 95% дисперсии исходного поля ТПО, причем на долю первого приходится от 64% до 89%. Это означает, что практически вся информация об изменчивости ТПО сосредоточена в первых четырех ГК. Следовательно, для нахождения прогностических связей между сезонными осадками и потенциальными предикторами ТПО достаточно испытать не более четырех ГК. Коэффициент корреляции ( $R$ ) рассчитывался по формуле

$$R = \frac{\sum_i^4 (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_i^4 (x_i - \bar{x})^2 \sum_i^4 (y_i - \bar{y})^2}} \quad (7)$$

оценка эмпирического коэффициента корреляции (7) проводится с помощью  $Z$  - преобразования Фишера:

$$Z = 1/2 \ln((1 + R)/(1 - R)), \quad (8)$$

где  $X_i, Y_i$  - текущие значения предиктора и предиктанта соответственно, а  $\bar{X}, \bar{Y}$  - их средние значения за рассматриваемый месяц и период лет.

среднеквадратическое отклонение параметра  $Z$  равно  $\sigma_z = 1/\sqrt{N-3}$ , где,  $N$  - число членов в выборке, за которые имеются данные для предиктанта и предиктора. Для определения статистической значимости коэффициента корреляции применяется преобразование Фишера (8) и рассматривается критерий  $|Z/\sigma_z| \geq \alpha_{cp}$ ,

где  $\alpha_{cp}$  соответствует 5% - ному уровню значимости. Обнаружены хорошие связи между сезонными осадками в сезонах OND и MAM и первыми четырьмя главными компонентами ТПО Индийского и Атлантического океанов с заблаговременностью до 11 месяцев. Нами также выявлены связи между индексами NINO4, NINO3 и индексом пассатного ветра на уровне 850 гПа, SOI, САК и сезонными осадками.

Таблица 2 – Сведения о потенциальных предикторах (пред.)

ТПО Индийского океана				ТПО Атлантического океана (усредненные значения)		
Пред.	широта	долгота	кол.во узлов	пред.	широта	долгота
INDO1	0–10 <sup>0</sup> ю.ш	40–60 <sup>0</sup> в.д	60	NATL	5 – 20 <sup>0</sup> с.ш	60 – 30 <sup>0</sup> з.д
INDO2	0–10 <sup>0</sup> ю.ш	62–80 <sup>0</sup> в.д	60	SATL	0 – 20 <sup>0</sup> ю.ш	30 <sup>0</sup> з.д.–10 <sup>0</sup> в.д
INDO3	0–10 <sup>0</sup> ю.ш	82–102 <sup>0</sup> в.д	60	TATL	10 <sup>0</sup> ю.ш.–10 <sup>0</sup> с.ш	0 – 360 <sup>0</sup>
INDO4	12–20 <sup>0</sup> ю.ш	40–60 <sup>0</sup> в.д	42	ТПО Тихого океана (усредненные значения)		
INDO5	12–20 <sup>0</sup> ю.ш	62–80 <sup>0</sup> в.д	47	NINO12	0 – 10 <sup>0</sup> ю.ш	90 – 80 <sup>0</sup> з.д
INDO6	12–20 <sup>0</sup> ю.ш	82–120 <sup>0</sup> в.д	94	NINO3	5 <sup>0</sup> с.ш.–5 <sup>0</sup> ю.ш	150 – 90 <sup>0</sup> з.д
INDO7	20–30 <sup>0</sup> ю.ш	40–60 <sup>0</sup> в.д	56	NINO4	5 <sup>0</sup> с.ш.–5 <sup>0</sup> ю.ш	150 <sup>0</sup> з.д.–160 <sup>0</sup> в.д
INDO8	20–30 <sup>0</sup> ю.ш	62–80 <sup>0</sup> в.д	59	NINO34	5 <sup>0</sup> с.ш.–5 <sup>0</sup> ю.ш	120 – 170 <sup>0</sup> з.д
INDO11	12–24 <sup>0</sup> с.ш	52–72 <sup>0</sup> в.д	65	<i>Космические факторы</i>		
ТПО Атлантического океана				Среднемесячные значения чисел Вольфа		
ATL1	0–20 <sup>0</sup> ю.ш	38 <sup>0</sup> з.д.–10 <sup>0</sup> в.д	75			
ATL2	4 – 20 <sup>0</sup> с.ш	68 з.д.–10 <sup>0</sup> в.д	63			
<i>Атмосферные предикторы</i>						
КДЦ – Квазидвухлетние стратосферные циркуляции (QBO. 30 hPa Zonal wind, m/s)						
САК – Северо – атлантическое колебание (САК – NAO)						
Южное колебание (индекс SOI)						
WPW85 – Индекс пассатного ветра на уровне 850 гПа в западной части Тихого океана (135 <sup>0</sup> в.д.–180 <sup>0</sup> з.д., 5 <sup>0</sup> с.ш. – 5 <sup>0</sup> ю.ш)						
CPW85 – Индекс пассатного ветра на уровне 850 гПа в центральной части Тихого океана (175 <sup>0</sup> з.д.–140 <sup>0</sup> з.д., 5 <sup>0</sup> с.ш. – 5 <sup>0</sup> ю.ш)						
EPW85 – Индекс пассатного ветра на уровне 850 гПа в восточной части Тихого океана (135–120 <sup>0</sup> з.д., 5 <sup>0</sup> с.ш. – 5 <sup>0</sup> ю.ш)						
OLR – Уходящее длинноволновое излучение над Тихим океаном						

**Шестая глава** посвящена долгосрочному прогнозу сезонных осадков для Танзании физико–статистическим методом. Рассматриваются принципиальные особенности физико–статистического метода прогноза погоды; используемые эффективные методы отбора наиболее информативных предикторов (метод просеивания, метод случайного поиска с адаптацией и метод множественной линейной регрессии), а также процедура ортогонализации предикторов по Чебышеву. Проводится анализ результатов прогноза осадков и их уточнения.

При обработке большого объема данных, содержащих ошибки наблюдений и другие случайные погрешности, проводят статистическую оценку и выбирают оптимальное число предикторов, при достижении которого дальнейшее их увеличение не приводит к существенному уменьшению ошибки вычисления предиктанта  $S_{1,2,3...n} = \sigma \sqrt{1 - (r_{12}^2 + r_{13}^2 + \dots + r_{1n}^2)}$ ,

где:  $r_{12}, r_{13}, \dots, r_{1n}$  - коэффициенты парной корреляции, равные  $\sum x_i x_j / N \sigma_i \sigma_j$ ;  $N$  - общее число условных уравнений;  $\sigma_i = \sqrt{\sum x_i^2 / N}$  - дисперсия предиктанта. Остановимся на методе просеивания предикторов, суть которого следует из формулы

$$1 - R_{1,2,3, \dots, n}^2 = (1 - r_{12}^2)(1 - r_{13}^2)(1 - r_{14,2,3, \dots, n-1}^2) \dots (1 - r_{1n,2,3, \dots, n-1}^2). \quad (9)$$

Формулу (9) можно переписать иначе

$$1 - R_n^2 = (1 - R_{n-1}^2)(1 - r_n^2). \quad (10)$$

Здесь  $R_n, R_{n-1}$  - множественный коэффициент корреляции, полученный с учетом  $n$  и  $n-1$  предикторов, соответственно,  $r_n$  - частный коэффициент корреляции между искомой величиной  $x_1$  (предиктант) и  $x_n$  при учете остальных  $n-1$  факторов. Добавляя  $n$ -й предиктор, мы либо не изменяем оценку ( $r_n = r_{1n,2,3, \dots, n-1} = 0$ ), либо ее улучшаем ( $r_n \neq 0$ ). Эффективность  $n$ -го предиктора может быть оценена по разности  $R_n^2 - R_{n-1}^2 = \Delta R^2$ . Формулу (10) можно переписать в виде  $\Delta R = r_n^2 (1 - R_{n-1}^2)$ . Имея последовательно вычисленные значения множественного коэффициента корреляции и корреляционную матрицу парных коэффициентов корреляции, можно оценивать оптимальное число предикторов [М.И. Юдин, 1968].

Чтобы исключить избыточную дублирующуюся информацию, к предикторам применяется процедура ортогонализации [Ф.Р. Гантмахер, 1988]. Эта процедура близка к методу просеивания. Отличие заключается в том, что порядок предикторов в методе просеивания определяется величиной их вклада в сводный коэффициент корреляции. В методе ортогонализации вопрос о том, какой из предикторов считать первым, решается прогнозистом на основе анализа различных характеристик предикторов: величины  $|Z/\sigma_z|$ , длины ряда, устойчивости и определенности связи с предиктантом

Суть процедуры ортогонализации заключается в следующем: пусть для предиктанта  $y$  установлена последовательность предикторов  $x_1, x_2, \dots, x_k$  среди которых  $x_1$  считается первым. Длина выборки равна  $m$  годам. Ортогонализированные предикторы будем обозначать через  $x_i'$ . Таким образом  $x_1 = x_1'$ . Сначала берем  $x_2$  и ортогонализируем его по отношению к  $x_1'$ , то есть ищем  $x_2'$  такой, чтобы  $(x_1', x_2') = 0$ , где:  $x_2' = x_2 + \alpha_{21} x_1'$ ,  $\alpha_{21} = x_1' x_2 / (x_1')^2$  - ортогонализирующий коэффициент. Далее для преобразованного таким способом предиктора  $x_2'$  вновь вычисляется величина  $|Z/\sigma_z|$ , где  $Z$  - параметр Фишера, и сравнивается с критическим значением равным ( $\alpha_{kp} = 1,70$ ). Если значение  $|Z/\sigma_z| \geq \alpha_{kp}$ , то предиктор  $x_2'$  считается прошедшим ортогонализацию, в противном случае он исключается из рассмотрения. Если  $x_2'$  не отвечает предъявляемым требованиям, то  $x_3$  ортогонализируется только по отношению к  $x_1'$ . Пусть предиктор  $x_2'$

прошел ортогонализацию, тогда переходим к  $X_3$  и ищем  $X_3'$  такой, чтобы  $(X_3', X_1') = 0, (X_3', X_2') = 0$  где  $X_3' = X_3 + \alpha_{31}X_1' + \alpha_{32}X_2'$ ,  $\alpha_{31} = \overline{X_3 X_1'} / \overline{X_1'^2}$ ,  $\alpha_{32} = \overline{X_3 X_2'} / \overline{X_2'^2}$ .

Затем для  $X_3'$  вычисляется  $|Z/\sigma_z|$  и сравнивается с критическим. Если третий предиктор проходит, то оставляем его и переходим к четвертому. Аналогичные операции применяются ко всем предикторам для данного предиктанта. Обычно после всех этапов отбора связей сохраняется не более 3 – 5 предикторов для данного предиктанта.

**Метод множественной линейной регрессии.** Наиболее адекватным аппаратом построения прогностической модели между физически установленными предикторами и предиктантом является метод множественной регрессии. *Модель множественной линейной регрессии (МЛР) соответствует в уравнении*

$$Y_j = b_0 + \sum_{j=1}^m b_j X_{1j} + \varepsilon_j, \quad (11)$$

где  $b$  – коэффициенты уравнения регрессии;  $\varepsilon$  – вектор остатков (ошибок), не описываемых уравнением регрессии. Коэффициенты регрессии определяются с помощью метода наименьших квадратов (МНК), в соответствии с которым требуется минимизировать квадрат суммы разности фактических и вычисленных по уравнению (11) значений функции отклика, т.е.

$$S = \sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 = \sum_{i=1}^n (Y_i - \tilde{Y}_i)^2 = \sum_{i=1}^n [Y_i - (b_0 + b_1 X_{1i} + \dots + b_m X_{im})]^2 = \min,$$

где  $\tilde{Y}_i$  – вычисленные по уравнению МЛР значения функции отклика.

### **Основные критерии качества модели МЛР**

1. Множественный коэффициент линейной корреляции ( $0 \leq R \leq 1$ ) представляет собой аналог обычного парного коэффициента корреляции и характеризует меру линейной связи между фактическими и вычисленными по уравнению МЛР значениями функции отклика, т.е.

$$R = \frac{1}{n \sigma_y \sigma_{y(x)}} \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})(\tilde{Y}_i - \bar{Y}), \quad (12)$$

где  $\tilde{Y}_i$  – вычисленные по модели МЛР значения функции отклика;  $\sigma_{y(x)}$  – стандартное отклонение значений  $\tilde{Y}_i$ . При  $R=1$  имеем функциональную линейную модель (факторы полностью описывают дисперсию функции отклика), и остатки  $\varepsilon_i = 0$ . При  $R=0$  изменчивость функции отклика полностью определяется остатками  $\varepsilon_i$ .

2. Линейный коэффициент детерминации представляет квадрат множественного коэффициента корреляции  $R^2 = D_{y(x)} / D_y$ , где  $D_{y(x)}$  – дисперсия вычисленных по уравнению регрессии значений функции отклика. Коэффициент детерминации показывает часть объясненной дисперсии функции отклика.

3. Среднеквадратическое отклонение модели  $\sigma_{y(x)} = \sqrt{\sum (Y_i - \tilde{Y}_i)^2 / (n - m - 1)}$ .

4. Критерии Фишера используется для оценки адекватности (значимости) всей модели МЛР. С этой целью проверяется нулевая гипотеза вида  $H_0: D_{y(x)} = D_e$ , т.е. дисперсия вычисленных по уравнению МЛР значений функции отклика равна дисперсии ошибки. Нулевая гипотеза проверяется с помощью критерия Фишера:  $F = D_{y(x)}(n-m-1)/(D_e m)$ . Вычисленное значение критерия  $F$  сравнивается с критическим значением  $F_{\alpha p}(\alpha, \nu_1, \nu_2)$  при заданном уровне значимости  $\alpha$  и степенях свободы  $\nu_1 = m$ ,  $\nu_2 = n$ . Если  $F > F_{\alpha p}$ , то нулевая гипотеза отвергается и делается предположение, что дисперсия, описываемая моделью МЛР, неслучайным образом отличается от дисперсии ошибок. Это означает, что рассматриваемая модель является адекватной исходным данным функции отклика.

#### *Анализ результатов прогноза осадков для Танзании и его уточнение*

Весь архив сезонных осадков был разбит нами на две выборки: зависимую (1980 – 1999 гг.), по которой рассчитывались и тестировались модели, и независимую выборку (2000 – 2004 гг.), используемую для оценки оправдываемости опытных прогнозов. Для построения прогностических моделей использовался аппарат множественного регрессионного анализа.

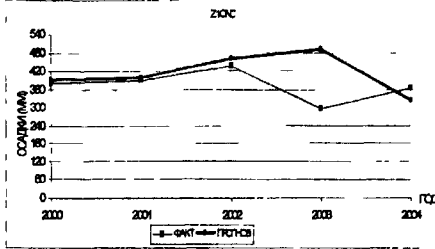
Основные параметры этих моделей приведены в таблице 3. Отметим, что все модели содержат малое число предикторов с заблаговременностью от 1 до 11 месяцев, описывают подавляющую часть дисперсии осадков, и имеют высокую значимость по всем параметрам. Все модели являются адекватными по критерию Фишера (таблица 3). Так как отношение  $\sigma_{y(x)}/\sigma_y$  существенно меньше 1,0, то естественно ожидать успешных результатов при оценке этих моделей на независимых данных.

Сопоставление опытных прогнозов осадков в сезоне OND с исходными данными по независимой выборке за период 2000 – 2004 гг. представлено на рисунке 2 и в таблице 4. Видно, что, в целом, наблюдается хорошее соответствие прогнозных осадков с фактическими.

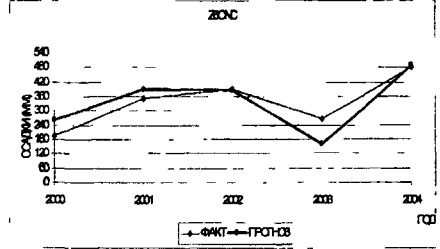
Таблица 3 – Оценки параметров регрессионных моделей по зависимой выборке (1980 – 1999 гг.) для районов Танзании в сезоне октябрь – декабрь

Район	Параметры прогностической модели				
	$R^2$	$F$	$\sigma_{y(x)}$ , мм	$\sigma_y$ , мм	$\delta = \sigma_{y(x)}/\sigma_y$
1	0,79	19,9	61,8	123,3	0,50
6	0,72	13,8	139,6	242,7	0,58
7	0,83	13,9	50,5	105,9	0,48
9	0,85	20,8	45,8	104,1	0,44

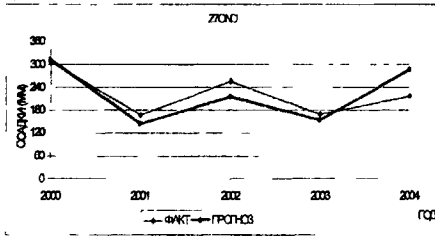
а) Район 1



б) Район 6



в) Район 7



г) Район 9

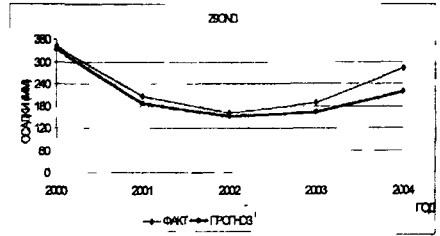


Рисунок 2 – Фактические и вычисленные по моделям значения осадков в сезоне октябрь – декабрь в районах 1(а), 6(б), 7(в) и 9(г).

Таблица 4 – Сопоставление опытных прогнозов осадков ( $\bar{Y}$ ) с их фактическими значениями ( $Y$ ) в сезоне октябрь – декабрь (OND) на независимой выборке (2000 – 2004 гг.).

Год	Район 1			Район 6		
	$Y$	$\bar{Y}$	$ Y - \bar{Y} $	$Y$	$\bar{Y}$	$ Y - \bar{Y} $
2000	381,4	394,0	12,6	197,3	261,4	64,1
2001	388,7	399,0	10,3	353,8	393,2	39,4
2002	436,4	459,0	22,6	392,9	388,8	4,1
2003	296,7	491,0	194,3	267,3	161,5	105,8
2004	366,2	325,0	41,2	482,9	490,9	8
$\delta = 56,2$			$\delta = 44,3$			
Год	Район 7			Район 9		
2000	306,4	311,0	4,6	340,3	333,0	7,3
2001	166,4	142,1	24,3	206,9	185,2	21,7
2002	257,3	214,6	42,7	161,1	151,7	9,4
2003	167,9	152,0	15,9	188,8	162,3	26,5
2004	216,0	285,7	69,7	283,3	218,4	64,9
$\delta = 31,5$			$\delta = 26,0$			

Примечание:  $\delta = 1/N \sum_{i=1}^N |Y_i - \bar{Y}_i|$  – средняя абсолютная ошибка прогноза.

**В заключении** сформулированы основные выводы диссертации и рекомендации.

**Основные выводы и результаты** заключаются в следующем:

В диссертации впервые осуществлена разработка для Танзании физико-статистического метода прогноза сезонных сумм осадков большой заблаговременности. Полученные результаты дают основание рекомендовать разработанную методику при составлении оперативных прогнозов осадков и других элементов погоды для территории Танзании и Восточной Африки.

***В процессе разработки физико-статистического метода долгосрочного прогноза сезонных осадков***

1. Проанализированы пространственная и временная статистическая структура полей осадков и характеризующие эту структуру корреляционные матрицы.

2. Показано, что для описания погодообразующих естественных колебаний (ЕК) над территорией Танзании необходимо учитывать не менее семи спектральных мод осадков (т.е. главных компонентов – ГК) и что размерность базиса заметно влияет на структуру ЕК. В частности, уменьшение числа метеостанций снижает возможность учета и описания мезомасштабных процессов, играющих важную роль в эволюции тропической атмосферы. Именно поэтому для эффективного описания структуры месячных сумм осадков над Танзанией необходимо стремиться к увеличению размерности базисного пространства (т.е. числа метеостанций).

3. Обнаружено, что процессы, ответственные за формирование осадков и протекающие в период коротковременных дождей (октябрь – декабрь), несут большую дисперсионную нагрузку, чем процессы, протекающие в период продолжительных дождей (март – май).

4. Показано: коррелированность месячных сумм осадков от месяца к месяцу очень низка; перспектива возможности прогнозирования коротковременных дождей в Танзании заметно большая, чем продолжительных дождей.

5. Анализ портретов вейвлет аппроксимации временных последовательностей главных компонентов месячных сумм осадков показал, что основная волновая мода месячных сумм осадков, несущая в течение года от 20% до 45% выборочной дисперсии, испытывала в течение 1960 – 2002 гг. различные колебания с периодами до 15 месяцев.

6. Показано, что помимо колебаний от 2 до 15 месяцев, существуют колебания с периодом до 20 лет, причем отмечается возможность связи 3 – 6 летних колебаний с явлением Эль-Ниньо, особенно в 1982 – 1984 гг. Кроме того, подтверждено проявление 11-летнего солнечного цикла в полях наиболее мощного первого спектрального компонента осадков.

7. Обнаружено, что временные последовательности месячных сумм осадков над Танзанией слабо предсказуемы на один месяц вперед.

8. Учитывая в значительной степени случайный характер локализации осадков во времени и в пространстве, первым шагом при реализации прогноза осадков были выделены однородные районы. Для этого было произведено климатическое районирование территории Танзании по комплексу атмосферных параметров, в результате которого территория разделена на 10 достаточно однородных районов.

9. Показано, что критерий засушливости, предложенный Д. А. Педем для исследования атмосферных засух и избыточного увлажнения, хорошо характеризует изучаемое явление, поэтому им можно успешно пользоваться в практической работе.

10. Ареал распространения как сильных засух, так и сильного увлажнения в Танзании, в основном, локальный, хотя в отдельные годы может быть значительным по площади.

11. Проведено разложение полей среднемесячной температуры воды (ТПО) по эмпирическим ортогональным составляющим (ЭОС) для Индийского и Атлантического океанов. Анализ таких разложений показал, что уже первые четыре главных компонента описывают более 95% дисперсии исходного поля ТПО, причем на долю первого ГК приходится от 64 до 89%.

12. Выявлены статистически значимые асинхронные связи между сезонными осадками и совокупностью потенциальных предикторов, включающих Эль-Ниньо и южное колебание (ЭНЮК); солнечную активность; квазидвухлетнюю цикличность; индекс пассатного ветра на уровне 850 гПа; первые четыре ГК разложения по ЭОС ТПО Индийского и Атлантического океанов.

13. Посредством иерархического комплекса решающих правил выявлены наиболее информативные тест-предикторы для прогноза осадков в сезоне октябрь – декабрь, включающие индекс пассатного ветра на уровне 850 гПа над восточной, центральной и западной частями тихоокеанских тропиков и первые четыре главных компонента ТПО Индийского океана в районах INDO3, INDO6 и INDO11.

14. Рассчитаны и протестированы уравнения множественной регрессионной модели для долгосрочного прогноза осадков в сезонах октябрь – декабрь и март – май для каждого из 10 районов Танзании, выявленных с помощью методов ЭОС и Уорда, на зависимой выборке. Все модели содержат не более 5 предикторов с заблаговременностью от 1 до 11 месяцев и описывают подавляющую часть дисперсии осадков, особенно в октябре – декабре (от 58% до 87% выборочной дисперсии осадков).

15. Проведено сопоставление опытных прогнозов осадков в сезоне октябрь – декабрь с исходными данными по независимой выборке за период 2000 – 2004 гг. и показано, что, в целом, наблюдается хорошее соответствие прогнозных осадков с фактическими. Высокое качество прогнозов с помощью оптимальных уравнений регрессии, полученных на зависимой выборке, и хорошее соответствие прогнозных и фактических осадков на независимой выборке позволяют рекомендовать данные модели для применения в оперативных условиях в Танзании.

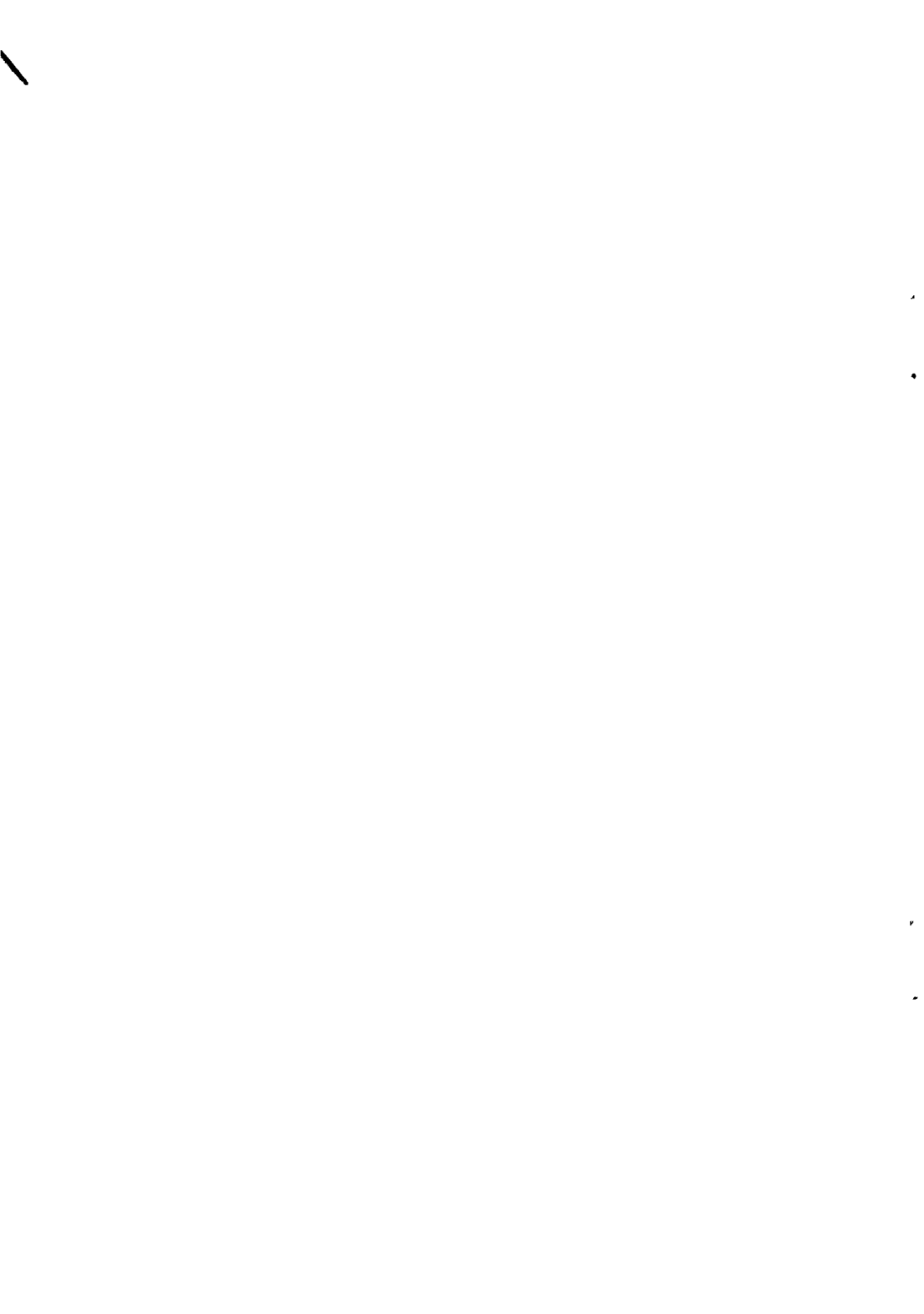
**По теме диссертации опубликованы следующие работы:**

1. Репинская Р. П., Чанга Л. Б. Аппроксимация полей осадков над Танзанией рядами по ЭОС // Материал итоговой сессии Ученого Совета РГГМУ, 27 – 28 января 2004 г. – СПб.: РГГМУ, 2004. – С. 50 – 52.
2. Репинская Р. П., Чанга Л. Б. Вейвлет-анализ полей месячных муссонных осадков // Материал итоговой сессии Ученого Совета РГГМУ, 27 – 28 января 2004 г. – СПб.: РГГМУ, 2005. – С. 65 – 66.
3. Чанга Л. Б. Климатическое районирование территории Танзании по данным за 1972 – 2002 гг. // Международная школа–конференция, Изменение климата и окружающая среда: Санкт–Петербург, РГГМУ, 6 – 9 декабря 2005 г.: СПб., РГГМУ, 2005.– С. 100 – 104.
4. Чанга Л. Б. О потенциальных предикторах для долгосрочного прогноза осадков в Танзании // Международная школа–конференция, Изменение климата и окружающая среда: Санкт–Петербург, РГГМУ, 6 – 9 декабря 2005 г.: СПб., РГГМУ, 2005.– С. 96 – 100.

**АВТОРЕФЕРАТ**

**Чанга Ладислаус Бенедикт**





---

Подписано к печати 31.03.2006.  
Тираж 200 экз. Заказ № 155

---

Отпечатано в ООО «АРКУШ»  
191002, СПб, ул. Рубинштейна, д.2  
тел.: 319-97-36

2006A  
7350

№-7350

3

294