

УДК 551. 501 (470.64)

06.01.01 – Общее земледелие, растениеводство  
(сельскохозяйственные науки)**АНАЛИЗ И ПРОГНОЗ УРОЖАЙНОСТИ  
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР МЕ-  
ТОДАМИ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ**

Бисчоков Руслан Мусарбиевич  
к.ф.-м.н., РИНЦ SPIN-код: 4342-4994  
E-mail: [rusbis@mail.ru](mailto:rusbis@mail.ru)  
*Кабардино-Балкарский государственный аграрный  
университет имени В.М.Кокова», Нальчик, Россия*

Ахматов Мухадин Магомедович  
к.ф.-м.н., РИНЦ SPIN-код: 3620-2852  
E-mail: [m\\_ahmatov@mail.ru](mailto:m_ahmatov@mail.ru)  
*Кабардино-Балкарский государственный аграрный  
университет имени В.М.Кокова», Нальчик, Россия*

Совершенствование методов анализа, моделирования и прогноза урожайности сельскохозяйственных культур с учетом динамики изменения природно-климатических характеристик всегда актуально. Значения природно-климатических характеристики, по сути, являются нечеткими. В метеостанциях ежедневно по несколько раз проводятся наблюдения и, в итоге, берется среднее. Хотя эти характеристики могут меняться ежеминутно. В работе сделана попытка выбора конфигураций методики нечеткой логики для прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур. Проведенное предварительное статистическое оценивание, рассмотренных временных рядов, позволило выявить определенные закономерности. Обработка многолетних рядов наблюдений метеорологических характеристик подразумевает получение следующих оценок: однородности эмпирических распределений по статистическим критериям Диксона и Смирнова-Грэмса; стационарности средних значений и дисперсий по статистическим критериям Стьюдента и Фишера; наличия внутрирядной связанности, восстановление пропусков наблюдений и увеличение продолжительности рядов; построение дифференциальных и интегральных эмпирических распределений; расчет их параметров и квантилей на основе аналитических аппроксимаций. Данные многолетних наблюдений метеостанций, являясь биометрическими, часто имеют пропуски наблюдений. Пропущенный участок получают путём осреднения значений соседних интервалов. Существует и другая особенность временных рядов это – выбросы, т.е. наблюдения, являющиеся в том или ином смысле аномальными (скачки в виде резких пиков или падения значений). Например, резкое похолодание, или градовые осадки и т.д. На входе компьютерных моделей используются температура воздуха и сумма осадков за период вегетации культуры, а на выходе имеем урожайность сельскохозяйственной культуры. Применение совокупностей

UDC 551. 501 (470.64)

06.01.01 - General agriculture, plant growing (agricultural sciences)

**AGRICULTURAL CROPS ANALYSIS AND  
YIELD FORECAST BY FUZZY LOGIC  
METHODS**

Bischokov Ruslan Musarbievich  
Cand.Phys-Math.Sci.  
*Kabardino-Balkarian State Agricultural  
University named after V.M. Kokov», Nalchik, Russia*

Akhmatov Mukhadin Magomedovich  
Cand.Phys-Math.Sci.  
*Kabardino-Balkarian State Agricultural  
University named after V.M. Kokov», Nalchik, Russia*

Improving the methods of analysis, modeling and forecasting of crop yields, taking into account the dynamics of changes in natural and climatic characteristics, is always relevant. The values of natural and climatic characteristics are, in fact, fuzzy. In meteorological stations, observations are made several times every day and, as a result, the average is taken. Although these characteristics can change every minute. An attempt is made in the work to select the configurations of the fuzzy logic technique for predicting the yield of agricultural crops. The preliminary statistical evaluation of the considered time series made it possible to identify certain patterns. The processing of long-term observation series of meteorological characteristics implies obtaining the following estimates: homogeneity of empirical distributions according to the statistical criteria of Dixon and Smirnov-Grubbs; stationarity of mean values and variances according to the statistical tests of Student and Fisher; the presence of intra-row connectivity, restoration of observation gaps and an increase in the duration of rows; construction of differential and integral empirical distributions; calculation of their parameters and quantiles based on analytical approximations. The data of long-term observations of meteorological stations, being biometric, often have gaps in observations. The missing section is obtained by averaging the values of adjacent intervals. There is another feature of the time series - outliers, i.e. observations that are anomalous in one sense or another (jumps in the form of sharp peaks or drops in values). For example, a sharp cold snap, or hail precipitation, etc. At the input of computer models, the air temperature and the amount of precipitation for the growing season of the crop are used, and at the output we have the yield of the agricultural crop. The use of Fuzzy logic aggregates contributes to the effective forecasting of crop yields based on the analysis of climatic data. When training an adaptive computer model for predicting yield, a

Fuzzy logic способствует эффективному прогнозированию урожайности сельскохозяйственных культур на основе анализа климатических данных. При обучении адаптивной компьютерной модели для прогнозирования урожайности разрабатывается программный комплекс на основе полученных вариантов конфигураций Fuzzy logic. По метео данным многолетних наблюдений и значениям урожайности, выращиваемых на территории КБР создаются компьютерные нечетко-логические модели. Подставляя в модель рассчитанные ранее прогнозные данные метеопараметров на следующий сельскохозяйственный год, получим возможные значения урожайности культур

Ключевые слова: УРОЖАЙНОСТЬ, ОСАДКИ, ТЕМПЕРАТУРА ВОЗДУХА, ВЛАЖНОСТЬ ВОЗДУХА, СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ, ГОД-АНАЛОГ, НЕЧЕТКАЯ ЛОГИКА, ИНТЕГРАЛЬНОЕ ЭМПИРИЧЕСКОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ, ОЦЕНКА СЛУЧАЙНЫХ ПОГРЕШНОСТЕЙ, СРОКИ ВЕГЕТАЦИИ

software package is developed based on the obtained options for Fuzzy logic configurations. According to meteorological data of long-term observations and the values of the yield grown in the territory of the KBR, computer fuzzy-logical models are created. Substituting the previously calculated forecast data of meteorological parameters for the next agricultural year into the model, we obtain the possible values of crop yields

Keywords: YIELD, PRECIPITATION, AIR TEMPERATURE, AIR HUMIDITY, STATISTICAL ANALYSIS, ANALOG YEAR, FUZZY LOGIC, INTEGRAL EMPIRICAL DISTRIBUTION, ESTIMATION OF RANDOM ERRORS, VEGETATION PERIODS

DOI: <http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-168-020>

**Введение.** Прогнозирование урожайности сельскохозяйственных культур остаётся и будет актуальной на все времена, ибо относится к продовольственной безопасности страны и населения практически любого её субъекта, муниципального образования, населённого пункта и отдельных людей.

Агроклиматические ресурсы Кабардино-Балкарской республики способствуют разностороннему развитию сельского хозяйства. В области преимущественно выращивают следующие яровые культуры: пшеница, ячмень, овес, просо, горох, вика, люпин, подсолнечник, лен-кудряш, соя, горчица, рапс, кукуруза на корм, однолетние и многолетние травы.

Вегетационный период у сельскохозяйственных культур начинается весной с повышением средней температуры воздуха выше  $5^{\circ}\text{C}$ , наблюдающимся в области примерно с 28 апреля. Вегетация растений прекращается при понижении среднесуточной температуры воздуха ниже  $5^{\circ}\text{C}$  с 30 сентября.

Примерный вегетационный период основных сельскохозяйственных культур на территории области можно привести в виде таблицы с указанием примерных дат посева и уборки.

Таблица 1. Дата посева и уборки сельскохозяйственных культур в Кабардино-Балкарской республике

Культуры	Посев	Уборка
Яровая пшеница	15.04	10.08
Ячмень яровой	25.04	12.08
Овес	10.04	05.08
Просо	24.04	05.08
Горох	28.04	05.08
Вика на зерно	03.04	01.08
Люпин кормовой	03.04	01.08
Подсолнечник на зерно	15.04	15.09
Лен-кудряш (масличный)	05.04	01.08
Соя	25.04	12.09
Горчица	28.04	18.08
Яровой рапс	25.04	05.08
Кукуруза на корм	10.04	30.09
Однолетние травы	10.04	01.08
Многолетние травы	10.04	01.08

Таким образом, за исходные данные климатических характеристик будем брать данные с апреля по сентябрь. Вегетационный период разобьем их на 3 периода:

- апрель-май: период подготовки почвы, посева и появление первых листьев;
- июнь-июль: период активного роста культур;
- август-сентябрь: созревание и уборка.

Для исследования представляются ежегодное значение урожайности сельскохозяйственных культур на период 2008-2018 гг. По данным метеопараметров (среднемесячные и декадные температура воздуха и суммарное количество осадков) по территории Кабардино-Балкарской республики за период 2008-2018 гг. и агротехнических данных (площадь посева, валовой сбор и урожайность) сельскохозяйственных культур (зерновые

(яровая пшеница, ячмень яровой), овес, просо, горох, вика на зерно, люпин кормовой, масличные (подсолнечник на зерно, лен-кудряш, соя, горчица, яровой рапс), кукуруза на корм (на силос и на зеленый корм), однолетние травы (на сено, на зеленый корм, сенаж), многолетние травы (на сено, на зеленый корм, сенаж) требуется разработать проект прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур на следующие годы с учетом динамики изменения климатических характеристик.

Таблица 2. Средняя урожайность сельскохозяйственных культур на период 2008-2018 гг. приводятся в таблице.

Культура	Урожайность			Культура	Урожайность		
	сред	мин	макс		сред	мин	макс
Яровая пшеница	14,9	10,3	21	Соя	5,5	1,8	10
Ячмень яровой	15,1	10,9	22,6	Горчица	7,4	1,3	15
Овес	14,7	9,1	21,7	Яровой рапс	11,1	7,3	16,6
Просо	8,5	3,8	17,6	Кукуруза на корм	121,8	67,7	157,8
Горох	16,3	9,3	27,3	Однолетние травы на сено	12,7	8,3	23,1
Вика на зерно	15,9	7	27,2	Однолетние травы на зеленый корм, сенаж	53,5	33,2	82,4
Люпин кормовой	10,5	6,7	14,5	Многолетние травы на сено	9,4	5,7	13,4
Подсолнечник на зерно	6,3	4,3	8	Многолетние травы на зеленый корм, сенаж	55,3	34	68,1
Лен-кудряш (масличный)	8,0	1,4	11				

Климат в Кабардино-Балкарской республике (КБР) весьма своеобразный. Почти ежегодно на разных частях территории КБР проходят градовые осадки или ливневые дожди, которые уничтожают множество посевов сельскохозяйственных культур и садов. Еще наблюдаются такие аномальные явления, когда ранней весной повышается температура воздуха и у многих плодово-ягодных деревьев распускаются почки. Не успеют они окрепнуть, как происходит резкое похолодание и урожай погибает. Резкие перепады температуры воздуха и атмосферного давления пагубно отражаются на здоровье людей, жизнедеятельность животных и растений. Зимы

стали теплые, осадков в этот период выпадают мало или бывают сухие морозы, от которых страдают озимые культуры. Оросительные системы, созданные в период СССР полностью уничтожены. В период жаркой весны и лета без влаги у кукурузы листья сворачиваются и развитие останавливается [1, 2].

Цель работы – осуществить конкретный прогноз урожайности сельскохозяйственных культур путём моделирования влияния климатических характеристик на урожайность сельскохозяйственных культур на посевных площадях КБР.

Для достижения указанной цели необходимо решить следующие задачи:

- статистические оценивания временных рядов по данным многолетних наблюдений МС Нальчик за период 1955-2018 гг. среднемесячной температуры воздуха, относительной влажности воздуха и суммарного количества осадков;

- разработка адаптивной нечетко-логической модели зависимости урожайности сельскохозяйственных культур с учетом изменения природных факторов, обучения и тестирование;

- прогноз урожайности сельскохозяйственных культур на предстоящие годы с учетом прогнозных значений метеопараметров.

**Методика.** Ежемесячно Центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды по КБР предоставлял данные о метеонаблюдениях, данные по антропогенным процессам и природным катаклизмам на территории КБР были получены в Главном управлении МЧС России по КБР, а Министерство сельского хозяйства - данные об урожайности всех сельскохозяйственных культур [3, 4].

В работе проведен статистический анализ динамики изменения метеопараметров; рассчитаны статистические моменты эмпирических функций распределений; получены оценки значимости параметров и их погрешностей;

по критериям Диксона и Смирнова-Грabbса – оценка однородности и выделение резко отклоняющихся экстремумов, а по критериям Стьюдента и Фишера – оценка стационарности средних значений и дисперсий двух частей временного ряда [5].

**Результаты.** Приведем динамики изменения осадков, температуры воздуха и урожайности в графической форме.

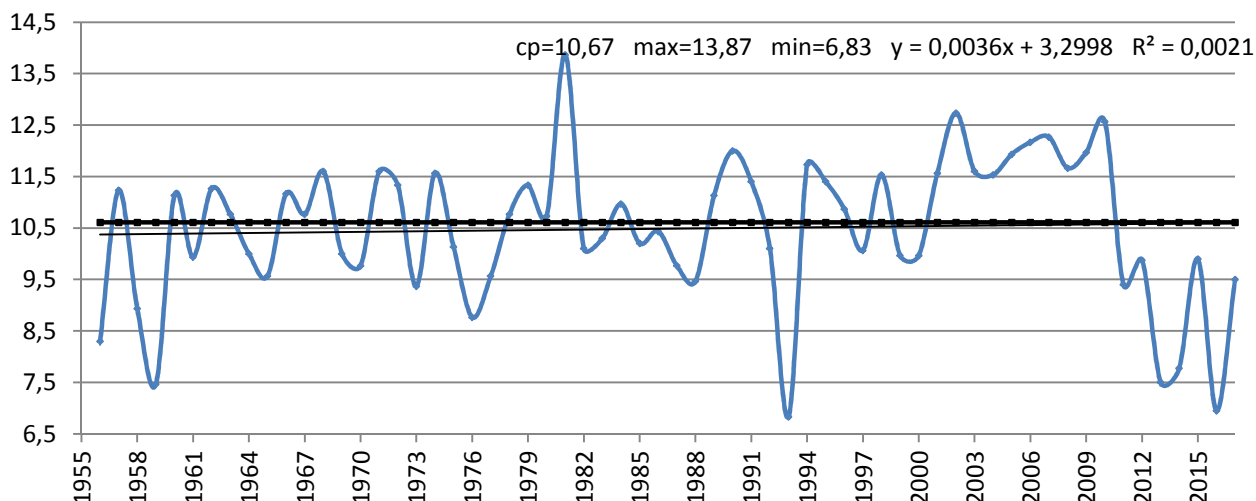


Рисунок 1 – Динамика изменения осенней температуры воздуха по данным МС Нальчик, ° С

На рисунке 1 резкие экстремальные отклонения от климатической нормы наблюдались в 1959, 1960, 1981, 1982, 1993, 1994, 2010, 2013 и 2016 годах, т.е в этих годах были высокая или низкая температура воздуха.

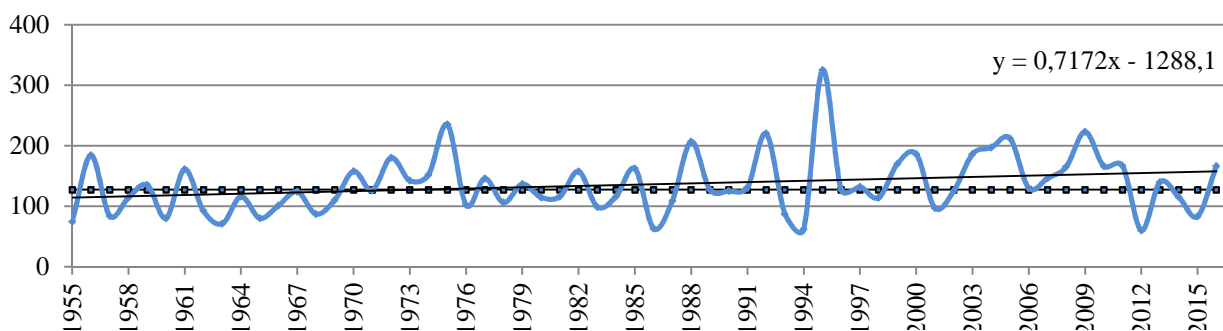


Рисунок 2 – Динамика изменения осенних осадков по данным МС Нальчик, мм

Из рисунков можно предположить, что 1981 году была высокая температура воздуха и низкие осадки; 1993, 2012 и 2015 годах были низкая температура воздуха и осадков; 1975 и 1995 годах выпали достаточно вы-

сокие осадки, которые указывают о возможном затоплении сельскохозяйственных угодий. Эти резкие экстремальные отклонения предполагают о наличии в приведенных годах возможных погодных катаклизмов.

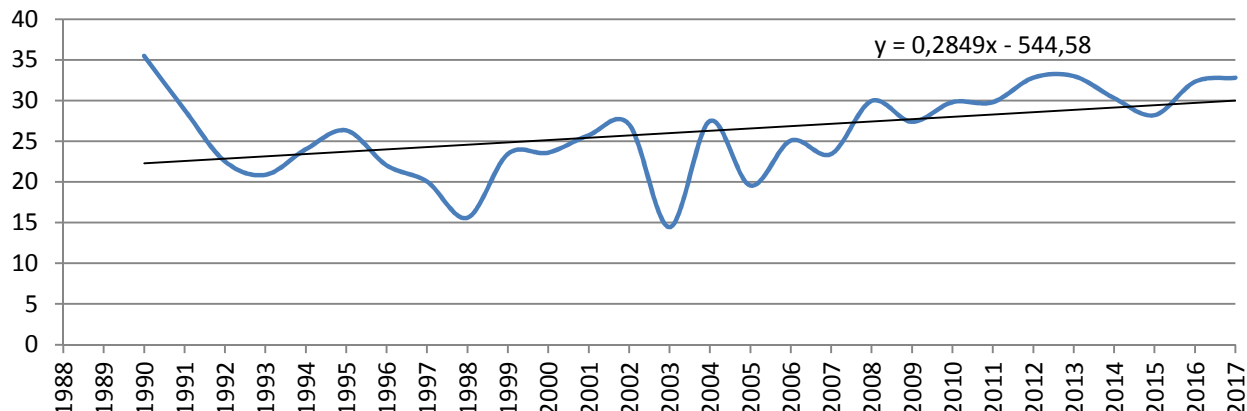
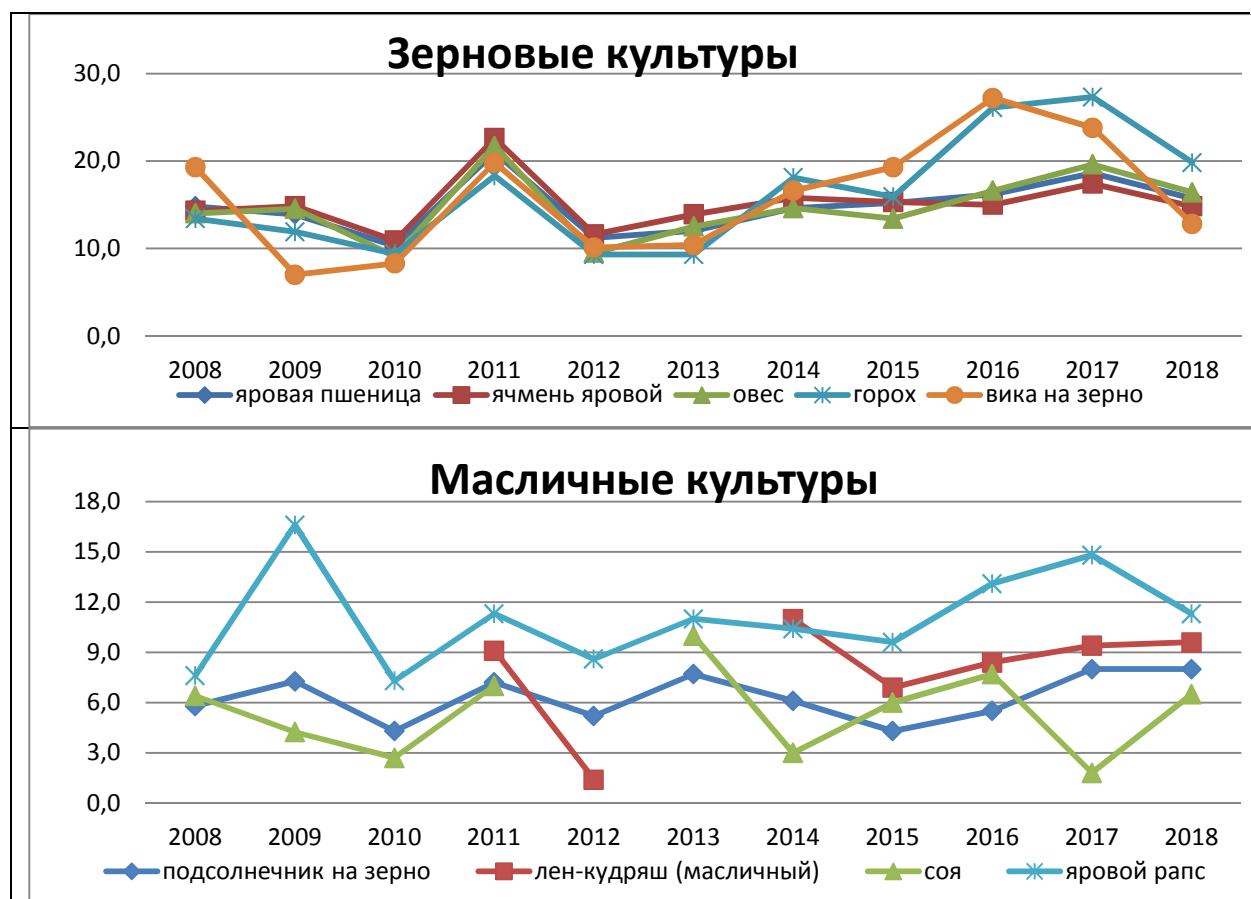


Рисунок 3 – Динамика изменения урожайности озимой пшеницы с 1 га, ц  
 На рисунке 4 приведем динамику изменения урожайности культур.



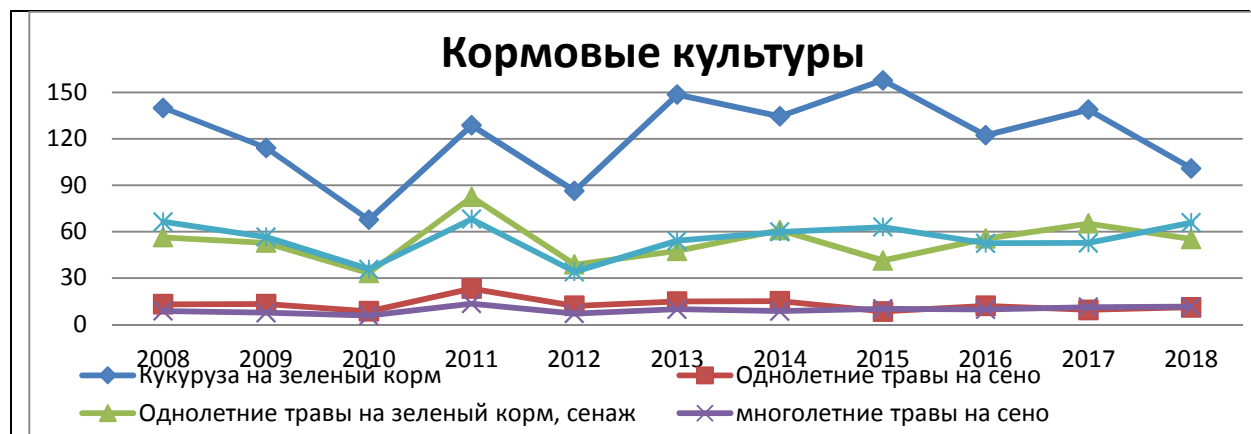


Рис. 4 Динамика изменения урожайности культур

Из рисунка 4 видно, что урожайность всех сельскохозяйственных культур по тренду возрастают во времени упреждения. Этому способствует увеличение осадков с каждым годом.

Согласно изложенной схеме получены расчеты статистической обработки по климатическим сезонам и за год (таблица).

Таблица – Физико-статистические характеристики временных рядов сезонных значений метеопараметров по данным метеостанции «Нальчик» за период

1955-2018 гг. и урожайности пшеницы за 2008-2018 гг.

Сезон	Среднее значение	Дисперсия	Коэффициент асимметрии	Коэффициент автокорреляции	Минимум	Максимум и размах
Среднемесячная температура воздуха (°C)						
Зима	-1,85	3,31	-0,32	1,08	-6,67	1,70/5.
Весна	9,42	1,64	-0,28	1,07	6,37	11,93/5.6
Лето	21,10	1,37	0,21	1,07	18,90	24,03/5.1
Осень	10,26	1,80	-0,38	1,10	6,50	13,30/6.8
Год	9,74	0,98	-0,17	1,05	7,66	11,67/4.0
Суммарное количество осадков (мм)						
Зима	70,88	304,98	0,542	0,970	31,0	115,3/84.3
Весна	189,83	3182,44	0,115	0,968	63,3	348,0/284.7
Лето	235,78	5002,62	0,016	0,978	97,0	378,0/281
Осень	134,93	2408,46	1,059	0,952	59,8	325,0/265.2
Год	631,58	12069,52	0,040	0,976	404,0	893,3/489.3
Урожайность озимой пшеницы						
2008-2018	26,14	27,74	-0,34	0,45	14,44	35,48/21,04

Наибольшая среднемесячная температура воздуха достигается летом, а осень теплее, чем весна. Осадки также больше всего выпадает летом, а весна более дождливая чем осень. Наибольшие рассеивания значений от-



носителем математического ожидания у средней температуры воздуха отмечаются в зимнее время, а осадков - летом. Для среднемесячной температуры воздуха, кроме летнего сезона, асимметрия принимает отрицательные значения. Коэффициент асимметрии для осадков зимой равен 0,542, а осенью равен 1. Коэффициенты автокорреляции принимают значение во всех случаях близко к 1, а это указывает на наличие стабильного тренда внутри исследуемых рядов.

Исследования с применением критерий Диксона, Смирнова-Грабба, Смирнова и Фишера указывают на то, что оценка однородности может быть принята только для эмпирических данных летних и годовых значений. Например, критерии Диксона для осенних данных:  $D1N(0.339;0.22)$ ,  $D2N(0.342;0.22)$ ,  $D3N(0.388;0.29)$ ,  $D4N(0.389;0.3)$ ,  $D5N(0.385;0.28)$ . Для установления причин отклонения гипотез однородности нужно провести генетический анализ, т.е. находим статистические характеристики и их случайные ошибки. По предложенной модели получаем восстановленные временные ряды метеопараметров [6, 7].

Результаты анализа динамики климатических характеристик указывают на стабильные условия за последние 15 лет, что благоприятствуют повышению урожайности озимой пшеницы.

По имеющимся исходным данным среднемесячной температуры воздуха, суммарного количества осадков и урожайности озимой пшеницы строим адаптивную нечетко-логическую модель описания урожайности с учетом изменения природных факторов (рисунок 5).

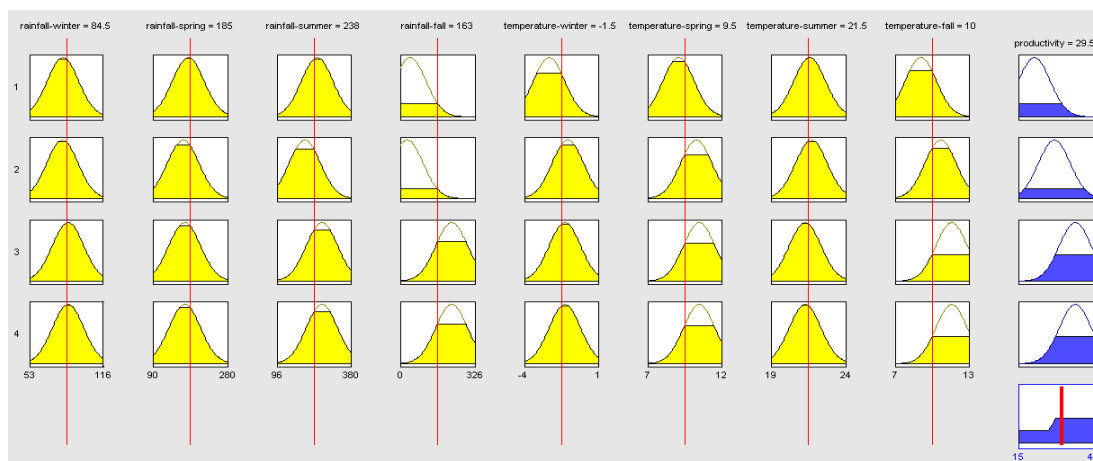


Рисунок 5 – Модель зависимости урожайности озимой пшеницы от изменения сезонных осадков и температуры воздуха Fuzzy logic

В построенной модели нужно отметить заранее полученные прогнозные значения сезонных метеопараметров, выставляя по вертикальным линиям (красные в желтых фигурах). В правой части автоматически производится расчет 4 вариантов и средней возможных значение урожайности озимой пшеницы на следующий сельскохозяйственный год. Из рисунка 5 можно отметить, что при одновременном снижении осадков и температуры воздуха до определенных значений урожайность повышается, а при остальных условиях снижается.

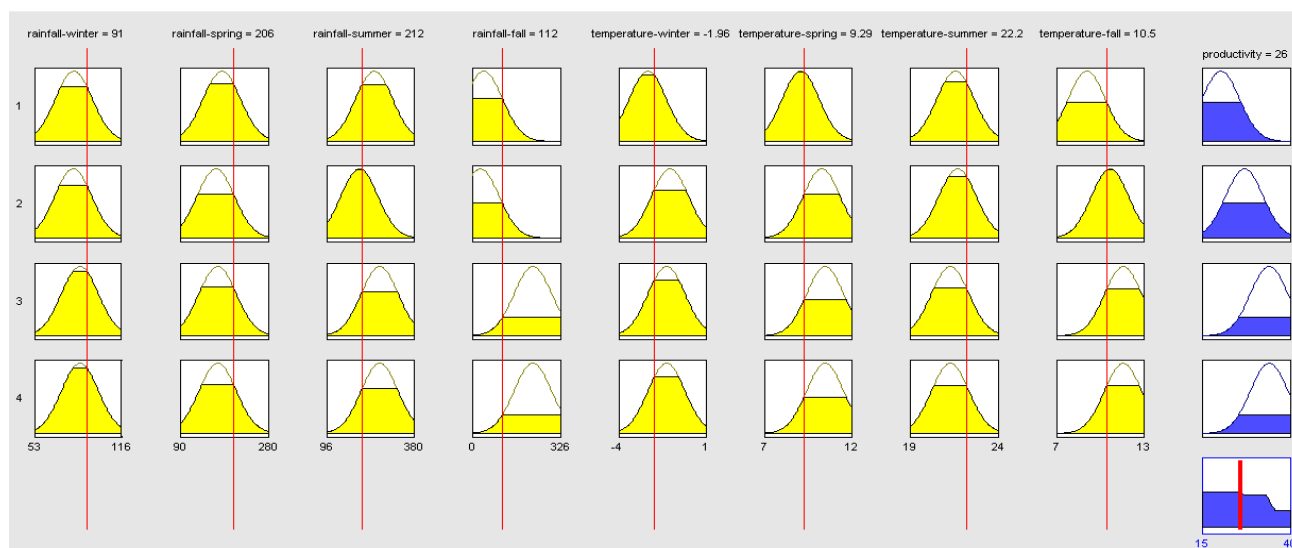


Рисунок 6 – Нечетко-логическая модель зависимости урожайности озимой пшеницы от изменения сезонных осадков и температуры воздуха на следующий год

При условии, если расчетные значения урожайности низкие, то нужны дополнительные исследования для выявления возможных погодных аномалий и разработки рекомендации по принятию управленческих решений. Для этого определяется аналог-год прошлых лет будущего года. Затем исследуются аномальные погодные процессы и принимаются агротехнические меры минимизации риска ущерба производства продукции сельского хозяйства. Одним из таких рекомендаций может быть использование другой культуры с коротким сроком вегетации, для которой вегетация и уборка пройдет до наступления аномалии или после [8, 9].

На рисунке 7 приводится влияние осадков и температуры воздуха на урожайности в каждом сезоне (зима, весна, лето, осень).

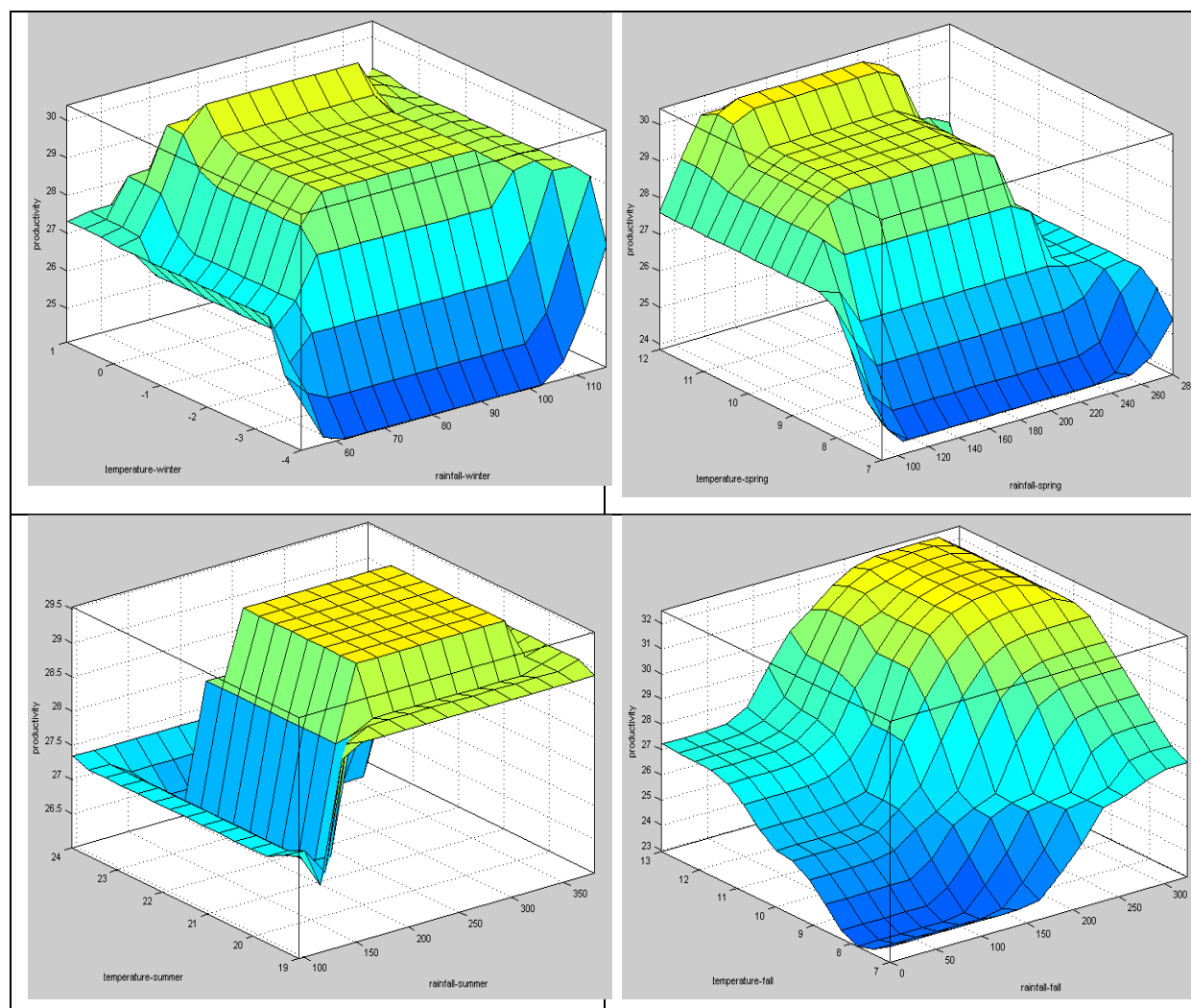


Рисунок 7 – Графическое представление урожайности (z) в соответствии с изменением сезонных осадков (x) и температуры воздуха (y)

Подобные расчеты сделаны и для таких сельскохозяйственных культур, как кукуруза, просо, овес, подсолнечник. Можно рекомендовать в следующем сельскохозяйственном году выращивание в степной зоне пшеницу, просо, овес и подсолнечник, а в предгорной зоне урожайность кукурузы повысится при соблюдении агротехнических технологий.

**Выводы.** Из вышеизложенных расчетов можно заключить, что:

– среднемесячная температура воздуха и суммарное количество осадков в сезонные периоды на территории Кабардино-Балкарской республики в следующем сельскохозяйственном году относительно стабильны без резких скачков, т.е. близки к климатическим нормам (1986-2018 гг.);

– погодные условия степной зоны в следующем сельскохозяйственном году будут благоприятствовать выращиванию озимой пшеницы и получению высокого урожая (более 33 ц/га);

– в предгорной зоне из-за сухого мороза желательно озимую пшеницу поменять на кукурузу и расширить посевные площади для выращивания на зерно и на силос;

– в южной части степной зоны также можно высевать подсолнечник, т.к. климатические факторы будут способствовать получению высокого урожая.

#### Список литературы

1 Лобанов В.А., Смирнов И.А., Шадурский А.Е. Практикум по климатологии. Часть 1: учебное пособие. СПб.: РГГМУ. 2011. 150 с.[Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://studfiles.net/preview/3111463>).

2 Мирмович Э.Г., Жаренов А.Б. Анализ проблемы поддержки выработки решений на действия в кризисных ситуациях в условиях неопределенности // Технологии гражданской безопасности. 2007. № 3(13). С. 82-89.

3 Мирмович Э.Г. Прогнозирование чрезвычайных ситуаций и рисков как научно-практическая задача // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. 2003. № 1. С. 142-146.

4 Бисчоков Р.М., Аджиева А.А., Тхайцухова С.Р. Применение нечеткой логики для анализа рисков в аграрном секторе // Вестник Курганской ГСХА. 2014. № 3 (11). С. 57-60.

5 Методика минимизации риска снижения производства продукции сельского хозяйства: монография / Р.М. Бисчоков [и др.]. Нальчик: ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский ГАУ. 2014. 290 с.

6 Бисчоков Р.М. Климатические особенности предгорной, степной и горной зон Кабардино-Балкарской республики в зимний период // Вестник Курганской ГСХА. 2018. № 2 (26). С. 18-23.

7 Борисенков Е.П. Связь температуры и осадков с урожайностью // Труды ГГО. 1984. № 471. С. 46-50.

8 Заде Л.А. Основы полного подхода к анализу сложных систем и процессов принятия решений // Математика сегодня: сборник статей. М.: Знание, 1974. С. 5-19.

9 Тенденция в изменении климата, влияющие на земледелие / С.А. Замятин [и др.] // Земледелие. 2010. № 4. С. 13-14.

10 Штовба С.Д. Введение в теорию нечетких множеств и нечеткую логику [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.matlab.exponenta.ru>

11 Bischokov R.M. Method of minimizing the risk of reducing the production of agricultural products by means of fuzzy logic / A. Apazhev, V. Trukhachev, E. Didanova // Atlantis Press. Advances in Intelligent Systems Research, volume 167. International Scientific and Practical Conference “Digitization of Agriculture – Development Strategy” (ISPC 2019).

12 Fukui H. Climatic variability and agroculture in tropical moist regions // Proceedings of the world climate Conference. 1979. WMO № 537. Pp. 426-476.

### References

1 Lobanov V.A., Smirnov I.A., Shadurskij A.E. Praktikum po klimatologii. Chast' 1: uchebnoe posobie. SPb.: RGGMU. 2011. 150 s.[Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://studfiles.net/preview/3111463>).

2 Mirmovich Je.G., Zharenov A.B. Analiz problemy podderzhki vyrabotki reshenij na dejstvija v krizisnyh situacijah v uslovijah neopredelennosti // Tehnologii grazhdanskoj bezopasnosti. 2007. № 3(13). S. 82-89.

3 Mirmovich Je.G. Prognozirovanie chrezvychajnyh situacij i riskov kak nauchno-prakticheskaja zadacha // Problemy bezopasnosti pri chrezvychajnyh situacijah. 2003. № 1. S. 142-146.

4 Bischokov R.M., Adzhieva A.A., Thajcuhova S.R. Primenenie nechetkoj logiki dlja analiza riskov v agrarnom sektore // Vestnik Kurganskoj GSHA. 2014. № 3 (11). S. 57-60.

5 Metodika minimizacii riska snizhenija proizvodstva produkcii sel'skogo hozjajstva: monografija / R.M. Bischokov [i dr.]. Nal'chik: FGBOU VO Kabardino-Balkarskij GAU. 2014. 290 s.

6 Bischokov R.M. Klimaticheskie osobennosti predgornoj, stepnoj i gornoj zon Kabardino-Balkarskoj respubliki v zimnij period // Vestnik Kurganskoj GSHA. 2018. № 2 (26). S. 18-23.

7 Borisenkov E.P. Svjaz' temperatury i osadkov s urozhajnost'ju // Trudy GGO. 1984. № 471. S. 46-50.

8 Zade L.A. Osnovy polnogo podhoda k analizu slozhnyh sistem i processov prinjatija reshenij // Matematika segodnja: sbornik statej. M.: Znanie, 1974. S. 5-19.

9 Tendencija v izmenenii klimata, vlijajushhie na zemledelie / S.A. Zamjatin [i dr.] // Zemledelie. 2010. № 4. S. 13-14.

10 Shtovba S.D. Vvedenie v teoriju nechetkih mnozhestv i nechetkiju logiku [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <http://www.matlab.exponenta.ru>

11 Bischokov R.M. Method of minimizing the risk of reducing the production of agricultural products by means of fuzzy logic / A. Apazhev, V. Trukhachev, E. Didanova // Atlantis Press. Advances in Intelligent Systems Research, volume 167. International Scientific and Practical Conference “Digitization of Agriculture – Development Strategy” (ISPC 2019).

12 Fukui H. Climatic variability and agroculture in tropical moist regions // Proceedings of the world climate Conference. 1979. WMO № 537. Rp. 426-476.