

УДК 551.501(470.64)
Код ВАК 06.01.01

DOI: 10.52463/22274227_2021_38_10

Р.М. Бисчоков

АДАПТИВНОЕ НЕЧЕТКО-ЛОГИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
УРОЖАЙНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР
ДЛЯ КАБАРДИНО-БАЛКАРСКОЙ РЕСПУБЛИКИФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «КАБАРДИНО-БАЛКАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ В.М. КОКОВА», НАЛЬЧИК, РОССИЯ

R.M. Bischokov

ADAPTIVE FUZZY-LOGICAL MODELING OF AGRICULTURAL CROP YIELDS FOR THE
KABARDINO-BALKAR REPUBLICFEDERAL STATE BUDGETARY EDUCATIONAL INSTITUTION OF HIGHER EDUCATION «KABARDINO-
BALKARIAN STATE AGRICULTURAL UNIVERSITY NAMED AFTER V.M. KOKOV», NALCHIK, RUSSIA**Руслан Мусарбиевич Бисчоков**

Ruslan Musarbievich Bischokov

кандидат физико-математических наук, доцент

AuthorID: 5957

rusbis@mail.ru

Аннотация. Цель исследования. Совершенствование методов анализа, моделирования и прогноза урожайности сельскохозяйственных культур с учетом динамики изменения природно-климатических характеристик всегда актуально. Значения природно-климатических характеристик, по сути, являются нечеткими. На метеостанциях ежедневно по несколько раз проводятся наблюдения и в итоге берется среднее значение, хотя эти характеристики могут меняться ежеминутно. **Методика.** В работе сделана попытка выбора конфигураций методики нечеткой логики для прогнозирования урожайности зерновых 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 внутрядной связанности, восстановления пропусков наблюдений и увеличения продолжительности рядов; построения дифференциальных и интегральных эмпирических распределений; расчета их параметров и квантилей на основе аналитических аппроксимаций. **Результаты.** Данные многолетних наблюдений метеостанций, являясь биометрическими, часто имеют пропуски наблюдений. Пропущенный участок получают путем 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 – урожайность сельскохозяйственной культуры. **Научная новизна.** Применение совокупностей Fuzzy logic способствует эффективному прогнозированию урожайности зерновых 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 метеоданным многолетних наблюдений и значениям урожайности выращиваемых на территории КБР создаются компьютерные нечетко-логиче-

ские 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.

Abstract. The purpose of the research. 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. At the meteorological stations, observations are made several times every day and, as a result, an average value is taken, although these characteristics can change every minute. **Methodology.** In the work the attempt is made to select the configurations of the fuzzy logic technique for predicting the yield of grain 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 Dixon and Smirnov-Grubbs statistical tests; stationarity of mean values and variances according to the statistical criteria of Student and Fisher; the presence of intra-row connectivity, restoration of observation gaps and increase in the duration of the rows; constructing differential and integral empirical distributions; calculation of their parameters and quantiles based on analytical approximations. **Results.** 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 time series - these are outliers, i.e. observations that are in one sense or another anomalous (jumps in the form of sharp peaks or falls in values). For example, a sharp cold snap or hail precipitation, etc. At the input of the computer models, the air temperature and the amount of precipitation during the growing season of the crop are used, and at the output, the yield of the agricultural crop. **Scientific novelty.** The use of Fuzzy logic aggregates facilitates effective forecasting of grain yield based on the analysis of climatic data. When training an adaptive computer model for predicting yield, a software package is developed based on the obtained options for Fuzzy logic configurations. According to the meteorological data of long-term observations and the values of the yield of those grown on 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, analogue year, fuzzy logic, integral empirical distribution, assessment of random errors, vegetation periods.

Введение. Прогнозирование урожайности сельскохозяйственных культур всегда будет актуальным, так как соотносится с продоволь-

ственной безопасностью страны и населения практически любого её субъекта.

Климат в Кабардино-Балкарской республи-

ке (КБР) весьма своеобразный. Почти ежегодно на разных частях территории КБР проходят градовые осадки или ливневые дожди, которые уничтожают множество посевов сельскохозяйственных культур и садов. Также наблюдаются такие аномальные явления, как повышение температуры воздуха ранней весной и распускание почек у многих плодово-ягодных деревьев. Не успеют они окрепнуть, как происходит резкое похолодание и урожай погибает. Резкие перепады температуры воздуха и атмосферного давления пагубно отражаются на здоровье людей, жизнедеятельности животных и растений. В последнее время наблюдаются теплые зимы, небольшое количество осадков в этот период или сухие морозы, от которых страдают озимые культуры. Оросительные системы, созданные в эпоху 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 тестирования;

– 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 предоставляло 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-Граббса – 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 динамику изменения осадков, температуры воздуха и урожайности в графической форме (рисунки 1, 2, 3).

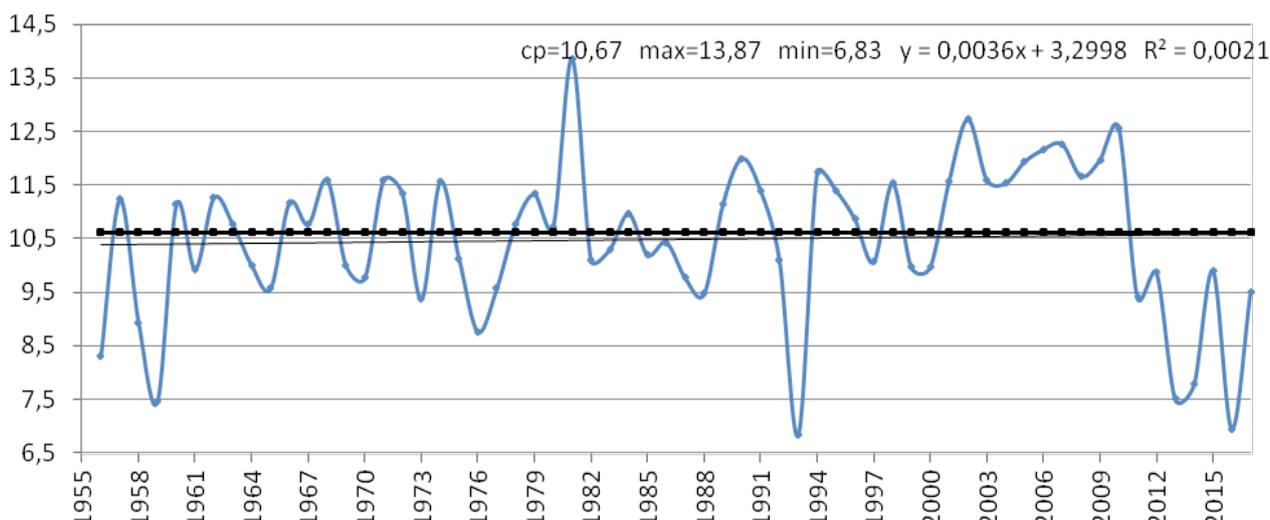


Рисунок 1 – Динамика изменения осенней температуры воздуха по данным МС Нальчик, °C

На рисунке 1 резкие экстремальные отклонения от климатической нормы наблюдались в 1959, 1960, 1981, 1982, 1993, 1994, 2010, 2013 и 2016 гг.

На основе анализа рисунков можно предположить, что 1981 г. была высокая температура воздуха и низкие осадки; в 1993, 2012 и 2015

гг. была низкая температура воздуха; в 1975 и 1995 гг. выпало достаточно большое количество осадков, что указывает на возможное затопление сельскохозяйственных угодий. Эти резкие экстремальные отклонения в рассматриваемых годах предполагают наличие возможных погодных катаклизмов.

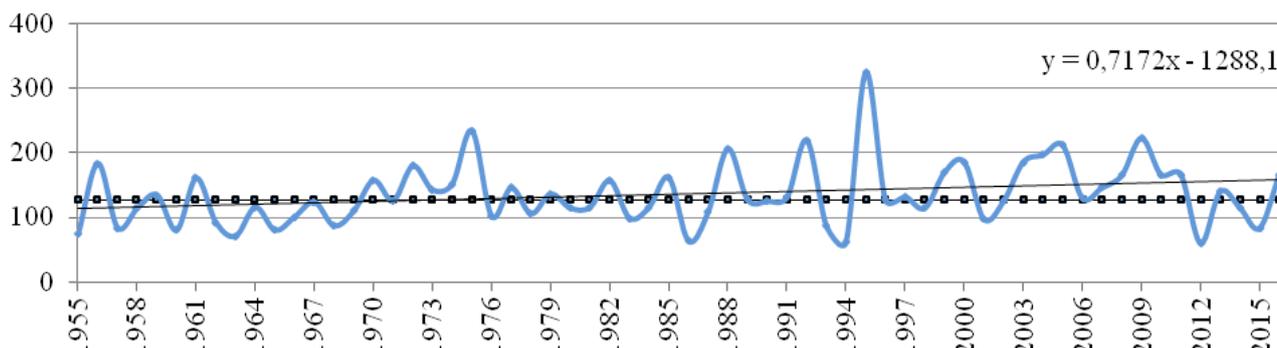


Рисунок 2 – Динамика изменения осенних осадков по данным МС Нальчик, мм

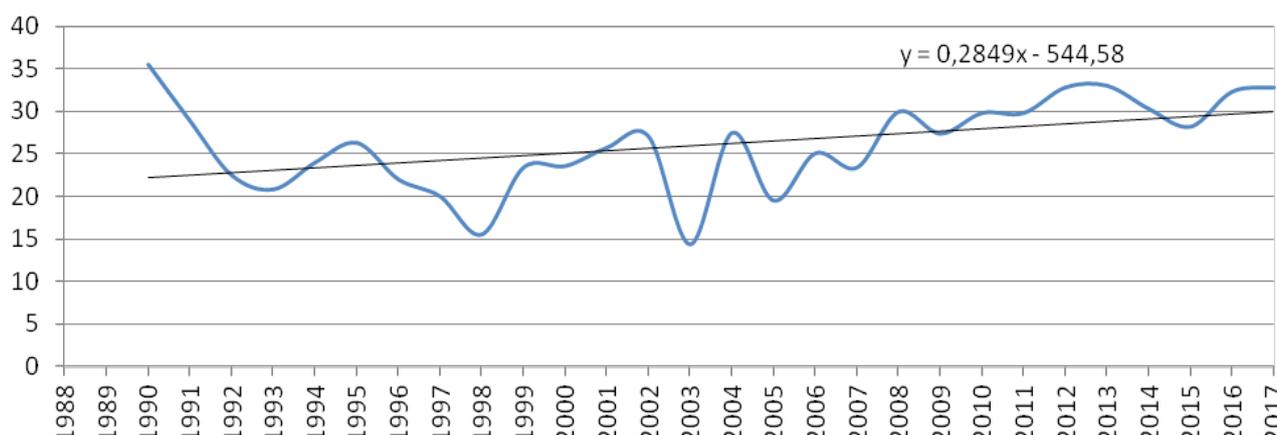


Рисунок 3 – Динамика изменения урожайности озимой пшеницы с 1 га, ц

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. Осадков также больше всего выпадает летом, а весна более дождливая, чем осень. Наибольшие рассеивания значений относительно математического ожидания у средней температуры воздуха отмечаются в зимнее время, а у 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 близкое к 1, а это указывает на наличие стабильного тренда внутри исследуемых рядов.

Исследования с применением критериев 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. найти статистические характеристики и их случайные ошибки. По предложенной модели получаем восстановленные временные ряды метеопараметров [6, 7].

Результаты анализа динамики климати-

ческих 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 была построена адаптивная нечетко-логическая модель описания урожайности с учетом

изменения природных факторов (рисунок 4).

В построенной модели нужно отметить заранее полученные прогнозные значения сезонных метеопараметров, выставляя по вертикальным линиям. В правой части автоматически производится расчет 4 вариантов и среднего возможного значения урожайности озимой пшеницы на следующий сельскохозяйственный год.

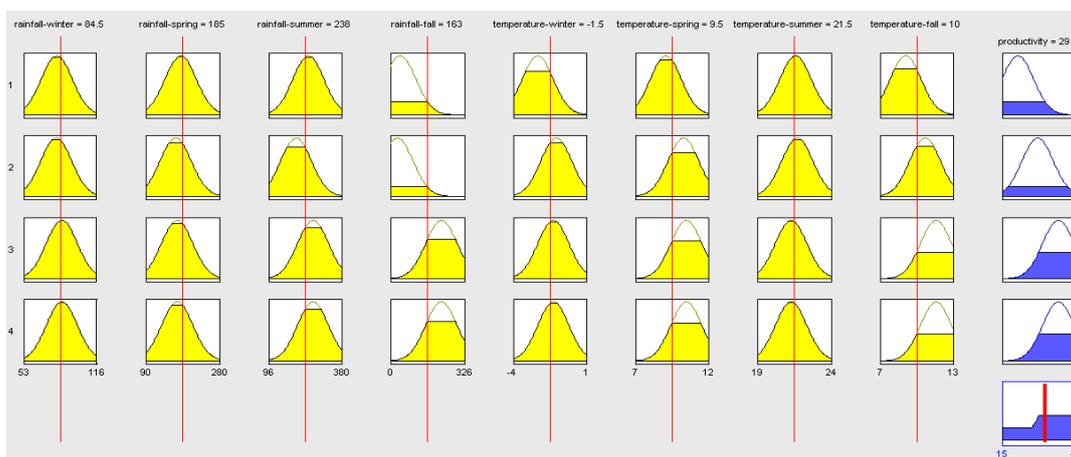


Рисунок 4 – Адаптивная нечетко-логическая модель зависимости урожайности озимой пшеницы от изменения сезонных осадков и температуры воздуха

По рисунку 5 можно сделать вывод, что при одновременном снижении температуры воздуха и количества осадков до определенных значе-

ний урожайность повышается, а при остальных условиях – снижается.

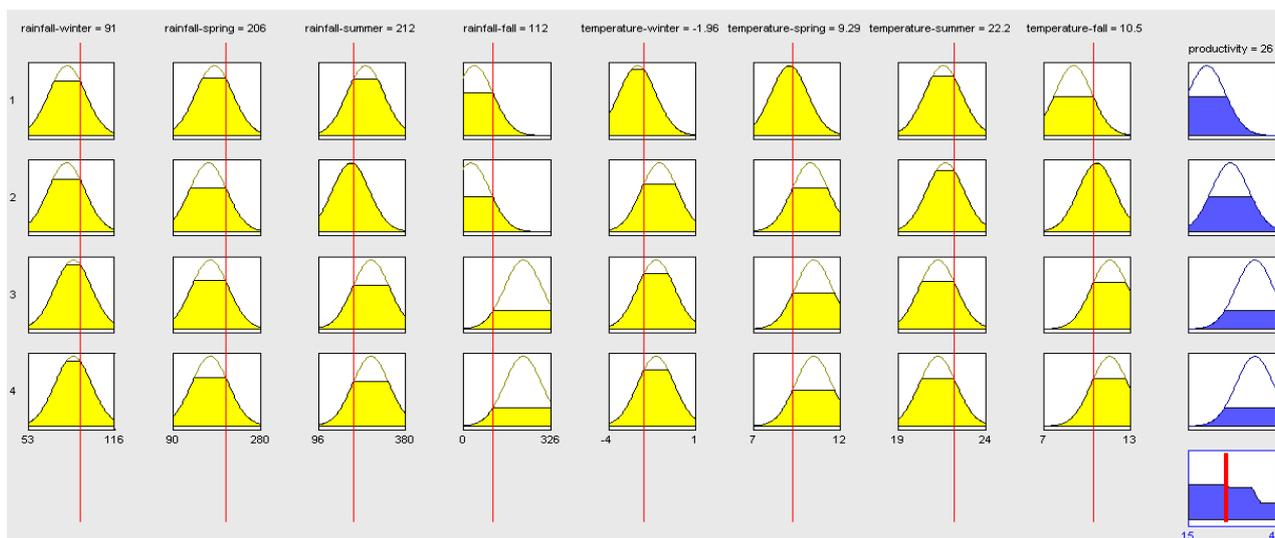


Рисунок 5 – Нечетко-логическая модель зависимости урожайности озимой пшеницы от изменения сезонных осадков и температуры воздуха на следующий год

При условии если расчетные значения урожайности низкие, 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 6 отражено влияние осадков и температуры воздуха на урожайность в каждом сезоне (зима, весна, лето, осень).

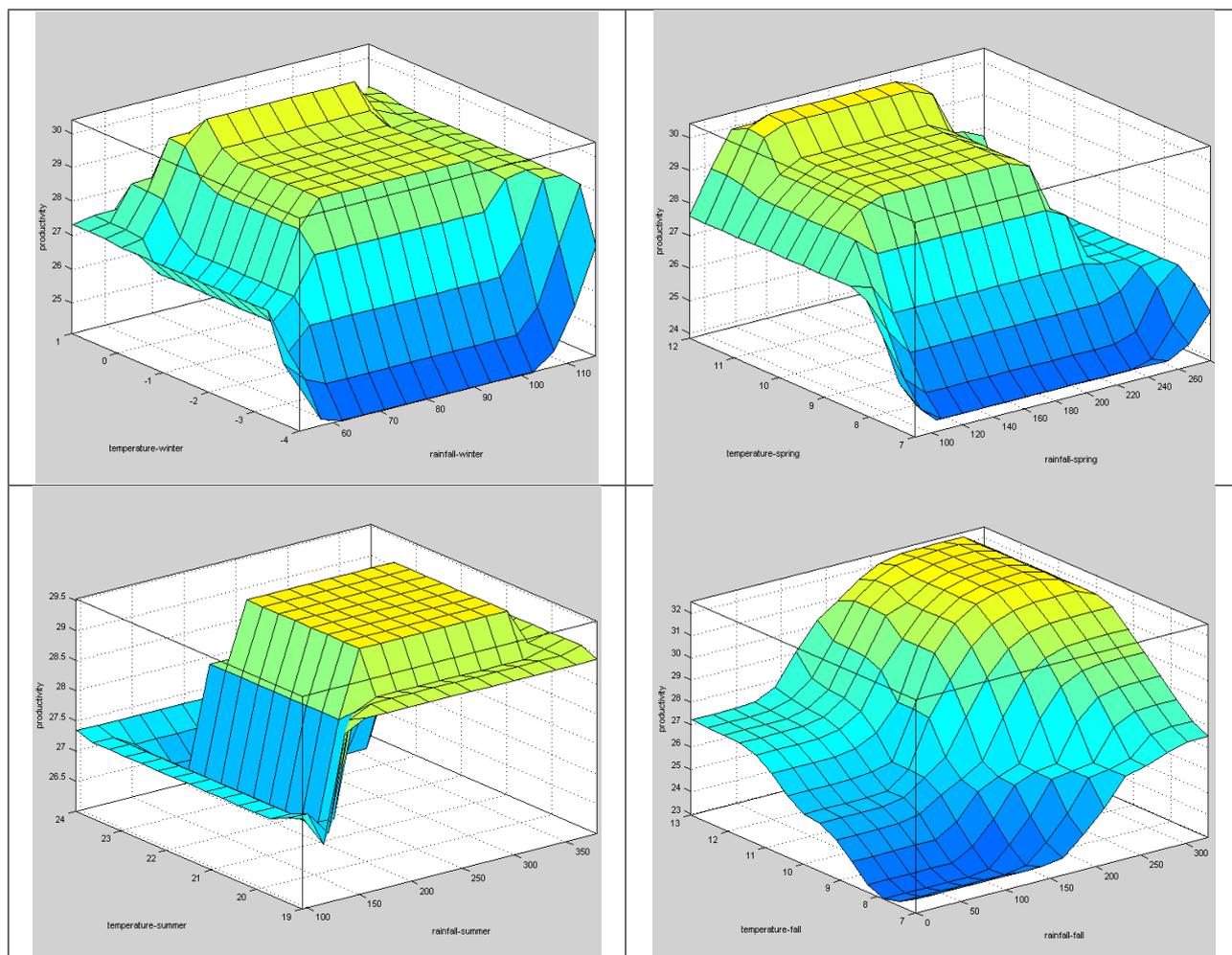


Рисунок 6 – Графическое представление урожайности (z) в соответствии с изменением сезонных осадков (x) и температуры воздуха (y)

Подобные расчеты сделаны и для таких сельскохозяйственных культур, как кукуруза, просо, овес, подсолнечник. Можно рекомендовать в следующем сельскохозяйственном году выращивание в степной зоне пшеницы, проса, овса и подсолнечника, а в предгорной зоне урожайность кукурузы повысится при соблюдении агротехнических технологий [10, 11, 12].

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 (1986-2015 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]. – URL: <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 и чрезвычайных ситуаций. 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 главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова. 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 Тенденции 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]. – URL: <http://www.matlab.exponenta.ru>

11 Bischokov R., Didanova E., Trukhachev V., Marzhokhova M. Method of minimizing the risk of reducing the production of agricultural products by means of fuzzy logic // Proceedings of the International Scientific and Practical Conference «Digital agriculture - development strategy» (ISPC 2019). Yekaterinburg. 2019. Pp. 401-404.

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

List of references

1 Lobanov V.A., Smirnov I.A., Shadursky A.E. Workshop on climatology. Part 1: Tutorial. St. Petersburg.: RGGMU, 2011. 150 p. [Electronic resource]. – URL: <https://studfiles.net/preview/3111463>.

2 Mirmovich E.G., Zharenov A.B. Analysis of the problem of supporting the development of solutions for crisis situations in conditions of uncertainty // Civil Security Technology. 2007. № 3 (13). Pp. 82-89.

3 Mirmovich E.G. Forecasting of emergencies and risks as a scientific and practical task // Safety and emergency problems. 2003. № 1. Pp. 142-146.

4 Bischokov R.M., Ajieva A.A., Thaytsukhova S.R. Application of fuzzy logic for risk analysis in the agricultural sector // Vestnik Kurganskoy GSKhA. 2014. № 3 (11). Pp. 57-60.

5 Methodology for minimizing the risk of reducing agricultural production: monograph / R.M. Bischokov [et al.]. Nalchik: FSBOU VO Kabardino-Balkarian GAU, 2014. 290 p.

6 Bischokov R.M. Climatic features of the foothill, steppe and mountain zones of the Kabardino-Balkarian Republic in winter // Vestnik Kurganskoy GSKhA. 2018. № 2 (26). Pp. 18-23.

7 Borisenkov E.P. Connection of temperature and precipitation with yield // Proceedings of the main geophysical observatory named after A.I. Voeikova 1984. № 471. Pp. 46-50.

8 Zade L.A. The basics of a complete approach to the analysis of complex systems and decision-making processes // Mathematics today: a collection of articles. M.: Knowledge, 1974. Pp. 5-19.

9 Trends in climate change affecting agriculture / S.A. Zamyatin [et al.] // Zemledelie. 2010. № 4. Pp. 13-14.

10 Shtovba S.D. Introduction to Fuzzy Set Theory and Fuzzy Logic [Electronic Resource]. – URL: <http://www.matlab.exponenta.ru>

11 Bischokov R., Didanova E., Trukhachev V., Marzhokhova M. Method of minimizing the risk of reducing the production of agricultural products by means of fuzzy logic // Proceedings of the International Scientific and Practical Conference «Digital agriculture - development strategy» (ISPC 2019). Yekaterinburg. 2019. Pp. 401-404.

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