

Бисчоков Р. М., Литовка Н. И.

Bischokov R. M., Litovka N. I.

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УРОЖАЙНОСТИ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР
ДЛЯ КАБАРДИНО-БАЛКАРСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

SIMULATION MODELING OF AGRICULTURAL CROPS YIELD
FOR THE KABARDINO-BALKAR REPUBLIC

Совершенствование методов анализа, моделирования и прогноза урожайности сельскохозяйственных культур с учетом динамики изменения природно-климатических характеристик всегда актуально. 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. На входе компьютерных моделей используются температура воздуха и сумма осадков за период вегетации культуры, а на выходе имеем урожайность сельскохозяйственной культуры. 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 культур, выращиваемых на территории КБР, создаются компьютерные нечетко-логические модели. Подставляя в модель рассчитанные ранее прогнозные данные метеопараметров на следующий сельскохозяйственный год, автоматически отображаются новые значения урожайности исследуемой культуры.

Ключевые слова: суммарное количество осадков, среднесуточная температура воздуха, оценка случайных погрешностей статистических характеристик, оценка однородности временных рядов, год-аналог, нечеткая логика,

вегетационный период, прогнозирование урожайности.

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. An attempt is made in the work 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. 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 facilitates efficient forecasting of grain yields 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 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, new values of the yield of the studied crop are automatically displayed.

Key words: total precipitation, average daily air temperature, assessment of random errors of statistical characteristics, assessment of the homogeneity of time series, year-analog, fuzzy logic, vegetation period, forecasting yield.

ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский ГАУ,
г. Нальчик
Тел.: 89604238923
E-mail: rusbis@mail.ru

Литовка Наталья Ивановна –
кандидат физико-математических наук, доцент
кафедры высшей математики и информатики,
ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский ГАУ,
г. Нальчик
Bischokov Ruslan Musarbievich –

Candidate of Physical and Mathematical Sciences,
Associate Professor of the Department of Higher
Mathematics and Informatics, FSBEI HE
Kabardino-Balkarian SAU, Nalchik
Tel.: 8 928 721 25 22
E-mail: rusbis@mail.ru

Litovka Natalya Ivanovna –
Candidate of Physical and Mathematical Sciences,
Associate Professor of the Department of Higher
Mathematics and Informatics, FSBEI HE
Kabardino-Balkarian SAU, Nalchik

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 [1-4].

Климат в Кабардино-Балкарской республике 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 плодовых 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 выпадает 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, 5, 6].

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

Материалы и методы исследования. Материалы для исследований получены в следующих ведомствах:

– Служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды по КБР – данные многолетних наблюдений с метеостанций метеорологических параметров;

– Главное управление МЧС России по КБР – информация по антропогенным процессам и природным катаклизмам на территории КБР;

– Министерство сельского хозяйства КБР – данные об урожайности сельскохозяйственных культур [2, 3].

В работе проведены статистические оценивания метеопараметров: статистический анализ динамики изменения среднемесячной температуры воздуха, относительной влажности воздуха и суммарного количества осадков по данным многолетних наблюдений; рассчитаны статистические моменты эмпирических функций распределений; получены оценки значимости параметров и их погрешностей; оценка однородности временных рядов и определение экстремумов (резко отклоняющихся) (критерии Диксона и Смирнова-Граббса); оценка стационарности средних значений и дисперсий двух частей временного ряда определяются (критерии Стьюдента и Фишера) [5].

Результаты моделирования и прогнозирования. На рисунках 1 и 2 приведены динамика изменения среднесуточной температуры воздуха и количества осадков в осенний период по данным МС «Нальчик».

Отсюда из рисунка 1 наглядно видно, что временной ряд во времени упреждения резко отклоняется как в сторону повышения, так и в сторону снижения температуры воздуха в осенний период от климатической нормы.

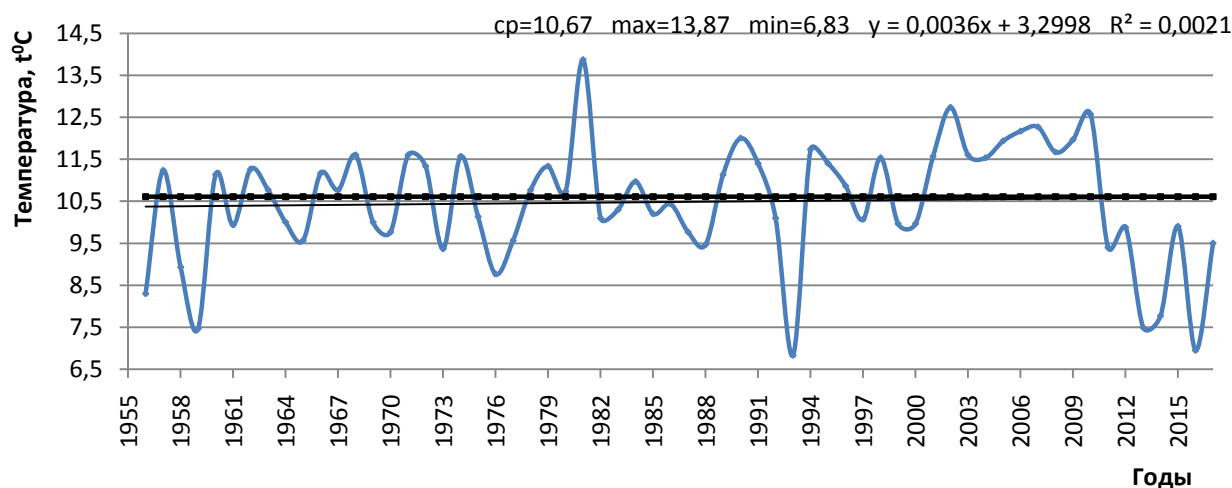


Рисунок 1 – Осенняя среднесуточная температура воздуха по данным МС «Нальчик»

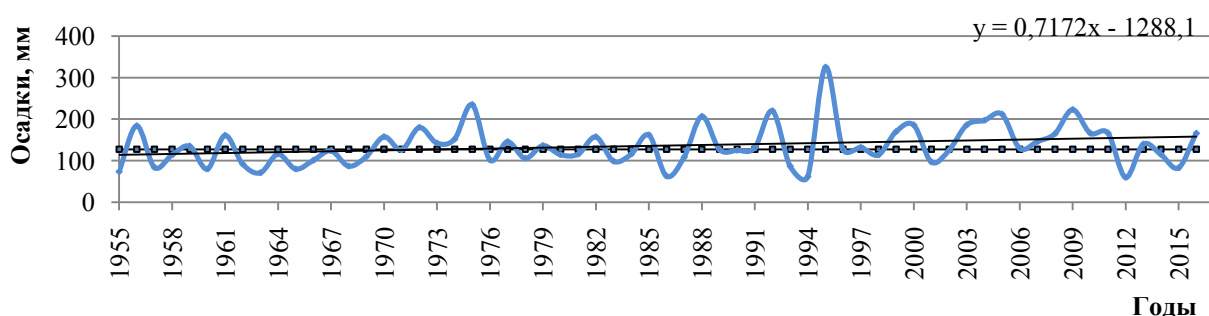


Рисунок 2 – Суммарное количество осенних осадков по данным МС «Нальчик»

Из рисунков можно предположить, что в 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 высокие осадки, которые указывают на

возможное затопление сельскохозяйственных угодий. Эти резкие экстремальные отклонения предполагают наличие в приведенных годах возможных погодных катаклизмов.

Таблица 1 – Физико-статистические характеристики временных рядов

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
-----------	-------	-------	-------	------	-------	-------	-------

В таблице 1 приведем результаты расчетов физико-статистических характеристик сезонных и за год значений осадков, температуры воздуха и урожайности озимой пшеницы.

Летний период – самое жаркое время, температура воздуха достигает 24°C . По сравнению с весной, осень теплее. Хотя весна и осень – это дождливые периоды, наибольшее количество осадков выпадает летом, следом весна, потом осень и зима. Результаты расчета дисперсии временных рядов осадков показывают, что наибольших

рассеяний относительно среднего значения наблюдается зимой, а в других сезонах близки друг к другу. 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. Такие значения показывают стабильность тренда внутри исследуемых рядов [5].

На рисунке 3 приведена динамика изменения урожайности озимой пшеницы.

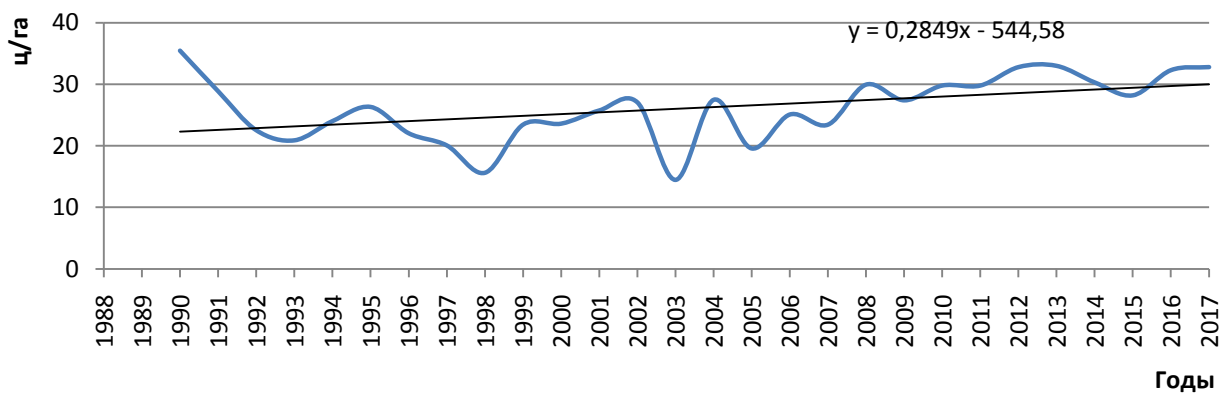


Рисунок 3 – Урожайность озимой пшеницы

Урожайность озимой пшеницы в последние 15 лет увеличивается из года в год. Этому благоприятствуют стабильные климатические условия.

Исследования временных рядов температуры воздуха с применением критериев Диксона, Смирнова-Грабба, Смирнова и Фишера указывают на то, что отклонена гипотеза оценки однородности для эмпирических данных осенних значений. Так как по критерию Диксона расчетные оценки больше табличных значений: $D1N(0.339;0.22)$, $D2N(0.342;0.22)$, $D3N(0.388;0.29)$, $D4N(0.389;0.3)$, $D5N(0.385;0.28)$, расчеты по количеству осадков дают тот же результат.

Следовательно, нужно провести генетический анализ, т.е. находим статистические характеристики и их случайные ошибки. По предложенной модели получаем восстановленные временные ряды метеопараметров [7, 8].

Следующим этапом строим имитационную компьютерную модель средствами нечеткой логики с входными

данными (сезонные осадки и температура воздуха), а на выходе урожайность озимой пшеницы [9-11].

На рисунке 4 приведена адаптивная нечетко-логическая модель зависимости урожайности озимой пшеницы от изменения сезонных осадков и температуры воздуха.

Слева задаются сезонные метеопараметры, а справа – урожайность озимой пшеницы в 4 вариантах.

В оперативном режиме с помощью вертикальных линий выставляем полученные предварительно прогнозные значения осадков и температуры воздуха на следующий год путем сдвига вправо или влево. Автоматически справа отображаются значения урожайности культуры, где можем увидеть о ее снижении или повышении. В данных расчетах показано, что при уменьшении осадков и снижении температуры воздуха относительно прошлого года урожайность повысится, а при остальных зависимостях снижается.

При условии, если расчетные значения урожайности низкие, то нужны

дополнительные исследования для выяснения причины такого результата. Выставляя значения осадков и температуры воздуха, ищем год-аналог из предыдущих годов. Затем изучаем климатические особенности найденного года по аналогии на наличие аномальных процессов и

вырабатываем рекомендации для принятия управленческих решений. Одним из таких рекомендаций может быть использование другой культуры с коротким сроком вегетации и высевать их до наступления аномалии или после [4, 11].

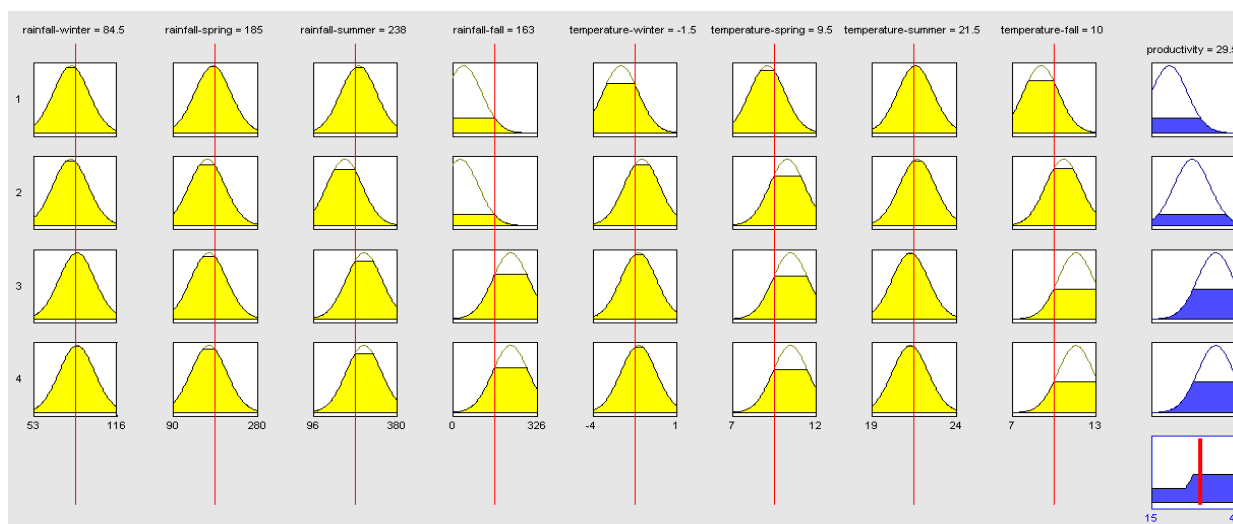


Рисунок 4 – Модель урожайности озимой пшеницы с учетом динамики изменения сезонных осадков и температуры воздуха

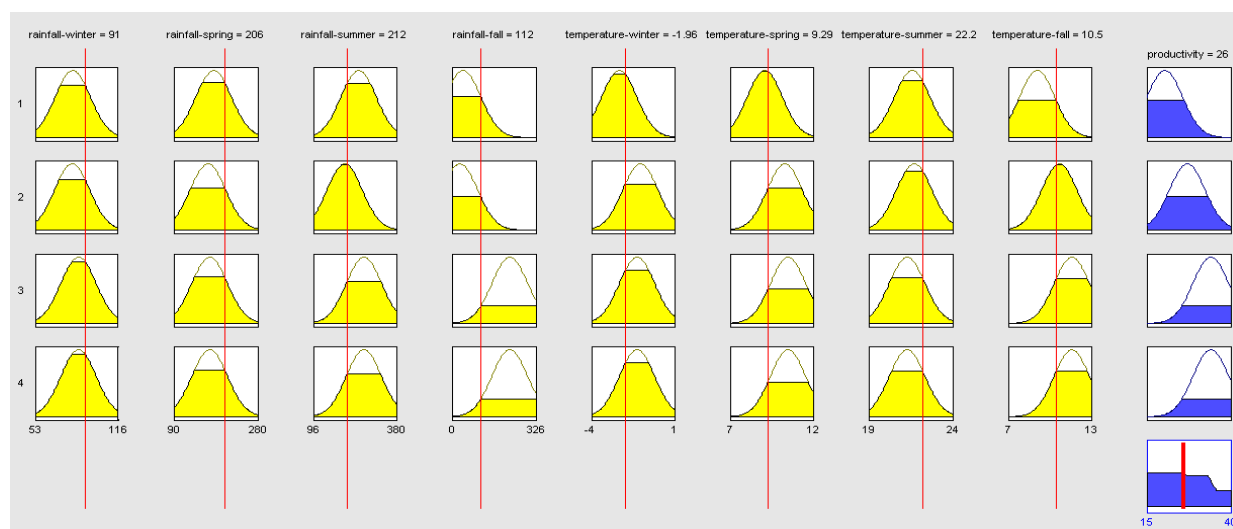


Рисунок 5 – Модель урожайности озимой пшеницы с учетом изменения сезонных осадков и температуры воздуха на следующий год

На рисунке 6 приводится динамика зависимости урожайности от осадков и температуры воздуха каждого сезона (зима, весна, лето, осень).

Подобные расчеты сделаны и для таких сельскохозяйственных культур, как кукуруза, просо, овес, подсолнечник. Можно рекомендовать в 2021 году выращивание в степной зоне пшеницы, проса, овса и

подсолнечника, а в предгорной зоне урожайность кукурузы повысится при соблюдении агротехнических технологий.

Заключение. Из вышеизложенных расчетов можно заключить, что:

- среднемесячная температура воздуха и суммарное количество осадков в сезонные периоды на территории Кабардино-

Балкарской республики в 2021 году

относительно стабильны, без резких скачков;

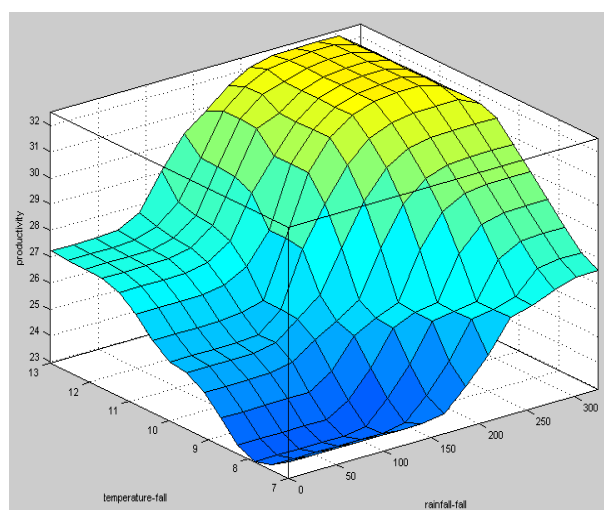
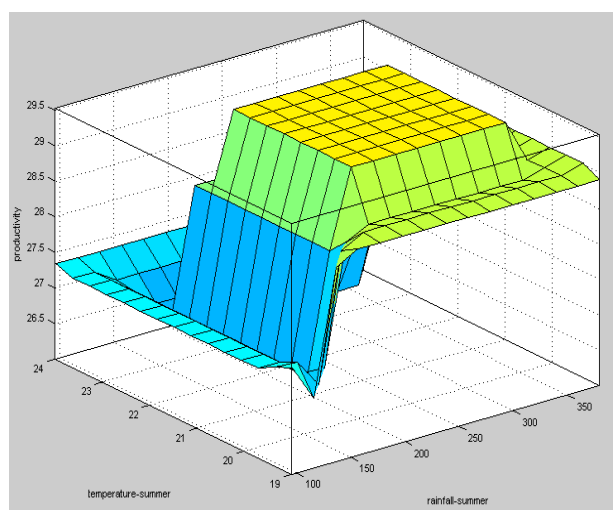
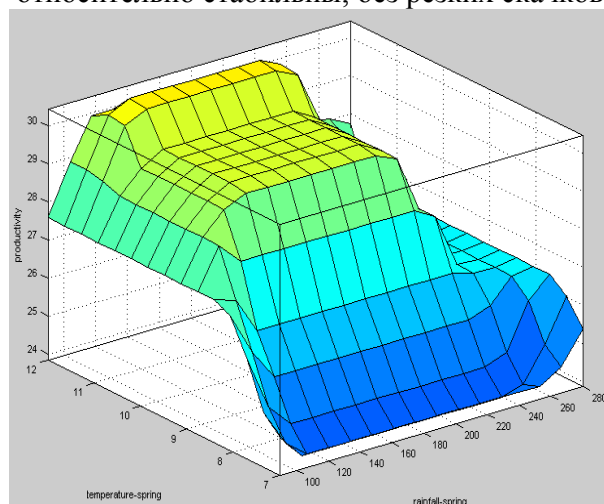
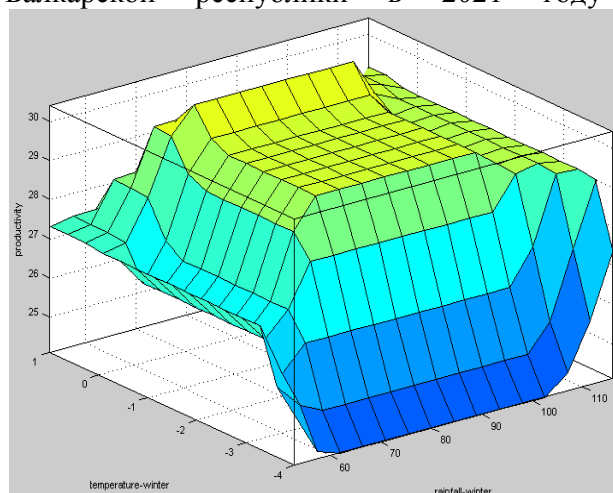


Рисунок 6 – Графическое представление соответствия сезонных осадков (x) и температуры воздуха (y), урожайность (z)

– погодные условия степной зоны в 2021 году будут благоприятствовать выращиванию озимой пшеницы и получению высокого урожая;

– в предгорной зоне 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.

использованием аппарата нечеткой логики // Вестник РУДН. – Серия Агрономия и животноводство. – № 15(2). – 2020.

Литература

1. *Посыпанов Г.С., Жеруков Б.Х.* Практикум по растениеводству: Учебное пособие для студентов сельскохозяйственных вузов. – Нальчик: Эль-Фа, 2004. – 397 с.

2. *Бисчоков Р.М.* Анализ, моделирование и прогноз урожайности сельскохозяйственных культур для Кабардино-Балкарской Республики с

References

1. *Posypanov G.S., Zherukov B.H.* Praktikum po rastenievodstvu: Uchebnoe posobie dlya studentov sel'skohozyajstvennyh vuzov. – Nal'chik: El'-Fa, 2004. – 397 s.

2. *Bischokov R.M.* Analiz, modelirovanie i prognoz urozhajnosti sel'skohozyajstvennyh

kul'tur dlya Kabardino-Balkarskoj Respubliki s ispol'zovaniem apparata nechetkoj logiki // Vestnik RUDN. – Seriya Agronomiya i zhivotnovodstvo. – № 15(2). – 2020.

3. *Bischokov R.M.* Method of minimizing the risk of reducing the production of agricultural products by means of fuzzy logic (статья Scopus) / *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).

4. *Борисенков Е.П.* Связь температуры и осадков с урожайностью / *Е.П. Борисенков и др.* // Труды ГГО. – 1984. – 471. – С. 46-50.

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

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

7. *Мирмович Э.Г., Жаренов А.Б.* Анализ проблемы поддержки выработки решений на действия в кризисных ситуациях в условиях неопределенности // Технологии гражданской безопасности: научно-технический журнал. М.: ФГУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), ООО ИПП «КУНА». – 2007. – № 3(13). – С. 82-89.

8. *Мирмович Э.Г.* Прогнозирование чрезвычайных ситуаций и рисков как научно-практическая задача // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. М.: ВНИТИ, 2003. – Вып. 1. – С. 142-146.

9. *Заде Л.А.* Основы полного подхода к анализу сложных систем и процессов принятия решений: математический сборник. – М.: Знание, 1974. – С. 5-19.

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

11. *Замятин С.А.* Тенденция в изменении климата, влияющие на земледелие / *С.А. Замятин, В.М. Изместьев, Г.М. Виноградов, Ю.А. Лапшин, И.А. Виноградова* // Земледелие. – 2010. – №4. – С. 13-14.

3. *Bischokov R.M.* Method of minimizing the risk of reducing the production of

agricultural products by means of fuzzy logic (stat'ya Scopus) / *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).

4. *Borisenkov E.P.* Svyaz' temperatury i osadkov s urozhajnost'yu / *E.P. Borisenkov i dr.* // Trudy GGO. – 1984. – 471. – S. 46-50.

5. *Lobanov V.A.* Praktikum po klimatologii. Chast' 1: uchebnoe posobie / *V.A. Lobanov, I.A. Smirnov, A.E. SHadurskij.* – SPb.: RGGMU. – 2011. – 150 s. [Elektr. resurs: <https://studfiles.net/preview/3111463>].

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

7. *Mirmovich E.G., Zharenov A.B.* Analiz problemy podderzhki vyrabotki reshenij na dejstviya v krizisnyh situacijah v usloviyah neopredelennosti // Tekhnologii grazhdanskoj bezopasnosti: nauchno-tekhnicheskij zhurnal. M.: FGU VNII GOCHS (FC), ООО ИПП «КУНА». – 2007. – № 3(13). – С. 82-89.

8. *Mirmovich E.G.* Prognozirovanie chrezvychajnyh situacij i riskov kak nauchno-prakticheskaya zadacha // Problemy bezopasnosti pri chrezvychajnyh situacijah. – М.: VINITI, 2003. – Вып. 1. – С. 142-146.

9. *Zade L.A.* Osnovy polnogo podhoda k analizu slozhnyh sistem i processov prinyatiya reshenij: matematicheskij sbornik. – М.: Знание, 1974. – С. 5-19.

10. *Shtovba S.D.* Vvedenie v teoriyu nechetkih mnozhestv i nechetkuyu logiku [Elektronnyj resurs <http://www.matlab.exponenta.ru>]

11. *Zamyatin S.A.* Tendenciya v izmenenii klimata, vliyayushchie na zemledelie / *S.A. Zamyatin, V.M. Izmest'ev, G.M. Vinogradov, Y.A. Lapshin, I.A. Vinogradova* // Zemledelie. – 2010. – №4. – С. 13-14.

