

DOI 10.22363/2312-797X-2020-15-2-123-133

УДК 551.501 (470.64)

Научная статья / Research article

Анализ, моделирование и прогноз урожайности сельскохозяйственных культур для Кабардино-Балкарской Республики с использованием аппарата нечеткой логики

Р.М. Бисчоков*

Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет им. В.М. Кокова,
г. Нальчик, Российская Федерация
*rusbis@mail.ru

Аннотация. С применением ранее созданных компьютерных нечетко-логических моделей на основе погодно-климатических данных метеостанций Кабардино-Балкарской Республики предгорной (Нальчик и Баксан) и степной (Прохладный и Терек) зон и урожайности сельскохозяйственных культур (озимая и яровая пшеница, кукуруза, подсолнечник, просо, овес), выращиваемых на территориях, контролируемых этими станциями, проанализированы зависимости урожайности сельскохозяйственных культур от вариаций природно-климатических факторов и дан конкретный прогноз урожайности на сельскохозяйственный год вперед для предгорной зоны, хотя некоторые прогнозные рекомендации действительны и для других зон. Оригинальность метода состоит в том, что в виде входных параметров модели предикторов использованы рассчитанные ранее прогнозные значения метеопараметров на следующий сельскохозяйственный год, а на выходе в качестве предиктантов получены прогнозные значения урожайности культур.

Ключевые слова: урожайность, осадки, температура воздуха, влажность воздуха, статистический анализ, год-аналог, нечеткая логика, сезон, интегральное эмпирическое распределение, оценка случайных погрешностей, сроки вегетации, прогноз, Кабардино-Балкария

Заявление о конфликте интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

История статьи:

Поступила в редакцию: 25 марта 2020 г. Принята к публикации: 14 мая 2020 г.

Для цитирования:

Бисчоков Р.М. Анализ, моделирование и прогноз урожайности сельскохозяйственных культур для Кабардино-Балкарской Республики с использованием аппарата нечеткой логики // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агронимия и животноводство. 2020. Т. 16. № 2. С. 123–133. doi: 10.22363/2312-797X-2020-15-2-123-133

© Бисчоков Р.М., 2020.



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/1>

Fuzzy logic device for crop analysing, modeling and forecasting in the Kabardino-Balkarian Republic

Ruslan M. Bischokov*

Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov,
Nalchik, Russian Federation

*Corresponding author: rusbis@mail.ru

Abstract. Using computer fuzzy-logical models based on empirical values of climatic characteristics (rainfall, temperature and humidity) of long-term observations (1955—2018) from meteorological stations in the Kabardino-Balkarian Republic (Nalchik, Baksan, Prokhladny and Terek) and crop yields (winter wheat, spring wheat, corn, sunflower, millet, oats), dependence of crop yields on variations of climatic factors were analyzed and a specific forecast was given. Setting expected values of climatic characteristics in computer model, we received possible values of productivity for the next season. Uniformity assessment (Dixon and Smirnov — Grabbsa's criterion), stability (Student and Fischer's criterion), statistical importance of parameters of distribution and accidental errors were determined. Originality of the method is in the fact that in the form of input parameters of the model predictors, the previously calculated forecast values of the meteorological parameters for the next agricultural year were used, and at the output, the predicted values of crop productivity were obtained as predictants. Furthermore, recommendations on adoption of management decisions were developed.

Keywords: productivity, precipitation, air temperature, humidity, statistical analysis, analogous year, fuzzy logic, season, integral empirical distribution, random error estimation, growing season, forecast, Kabardino-Balkariya

Conflicts of interest

The authors declared no conflicts of interest.

Article history:

Received: 25 March 2020. Accepted: 14 May 2020

For citation:

Bischokov RM. Fuzzy logic device for crop analysing, modeling and forecasting in the Kabardino-Balkarian Republic. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2020; 15(2):123—133. doi: 10.22363/2312-797X-2020-15-2-123-133

Введение

Зависимость урожайности сельскохозяйственных культур от природно-климатических факторов не является новой проблемой, но остается и будет актуальной, так как связана с обеспечением продовольственной безопасности страны, любого ее региона, населенного пункта и каждого человека [1, 2].

Отметим, что от значительных климатических возмущений, таких как частые градовые осадки, ливневые дожди и другие погодные явления, которые охватывают иногда несколько населенных пунктов, в Кабардино-Балкарской республике (КБР) и других субъектах РФ на территории Северного Кавказа, уничтожаются сотни гектаров урожая сельскохозяйственных культур, погибают домашние птицы, гибнет даже крупный рогатый скот. При этом в последние десятилетия ранней весной наблюдаются аномальные повышения температуры воздуха и у косточковых деревьев распускаются почки, а затем происходит резкое похолодание, от

которого почки осыпаются и деревья урожая не дают. Часто в течение короткого времени наблюдаются всплески температуры воздуха, что также отражается на жизнедеятельности и урожайности растений. Зимой, если снега мало, а температура воздуха очень низкая, то нередко погибают озимые культуры. А из-за жары в период вегетации кукурузы ее листья сворачиваются и останавливается рост, в итоге значительно снижается урожай как кормовой зеленой массы, так и зерновой продукции [3, 4].

Цель исследования — провести анализ влияния вариаций климатических характеристик на урожайность сельскохозяйственных культур на посевных площадях КБР и осуществить конкретный прогноз урожайности посредством оригинального моделирования с использованием аппарата нечеткой логики.

Материалы и методы исследования

Необходимый набор климатических характеристик был получен в Кабардино-Балкарском республиканском центре по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, данные по антропогенным процессам и природным катаклизмам на территории КБР — в Главном управлении МЧС России, данные об урожайности всех сельскохозяйственных культур на территории КБР — в Министерстве сельского хозяйства КБР [4, 5].

Вариации метеопараметров среднемесячной температуры и относительной влажности воздуха, а также осадков за период наблюдений 1955—2018 гг. исследовались с учетом данных расположенных на территории КБР метеостанций предгорной (Нальчик и Баксан) и степной (Прохладный и Терек) зон, в качестве базовой для данного исследования избрана метеостанция «Нальчик».

Стандартные методы прогнозирования требуют филигранной работы с данными, начиная от фильтрации и выделения гармоник до построения уравнений регрессии, как это продемонстрировано, например, в [6]. Особую роль играют выбор репрезентативных входных параметров, предикторов, для прогнозного «черного ящика», которыми у нас явились прогностические характеристики будущей погоды, и адекватное задание ожидаемых характеристик выходных параметров, предиктантов [7, 8], которыми и будут индексы урожайности. Известно, что при долгосрочном прогнозе важнейшим и определяющим требованием, предъявляемым к системе характеристик, среди которых отыскиваются предвестники будущей погоды, является полнота информации. В [8] констатируется, что неустойчивость прогностических связей для температуры и районных осадков, особенно, зон недостаточного увлажнения, создает поле неопределенности предикторов, которые должны использоваться для следующей цепочки прогнозирования. Одним из приемов уменьшения неопределенности из-за недостаточной устойчивости предикторов может служить применение аппарата нечеткой логики.

В нашем случае для рядов исследуемых метеопараметров выполнялась стандартная последовательность операций статистической обработки: ранжирование ряда; построение эмпирических функций распределения (ЭФР); расчет статистических моментов ЭФР (среднее значение, дисперсия, асимметрия, коэффициент автокорреляции); определялись их особенности. Кроме того, выполнены оценка

случайных погрешностей и статистической значимости параметров распределения; построение интегрального эмпирического распределения, расчет его параметров; оценка однородности интегральных эмпирических распределений по статистическим критериям Диксона и Смирнова — Граббса [9] и выделение резко отклоняющихся экстремумов; оценка стационарности средних значений и дисперсий двух частей временного ряда по критериям Стьюдента и Фишера.

В [10, 11] исследована связь между теорией нечетких множеств и аппаратом нечеткой логики, на основе которой автор ранее строил свою модель, пригодную для прогнозирования [12, 13].

Результаты и обсуждение

В табл. 1 приведены результаты статистической обработки данных согласно вышеуказанной последовательности по климатическим сезонам.

Таблица 1

Физико-статистические характеристики временных рядов сезонных значений метеопараметров по данным метеостанции «Нальчик» за период 1955–2018 гг. [12] и урожайности пшеницы за 2008–2018 гг.

Сезон	Среднее значение	Дисперсия	Коэффициент асимметрии	Коэффициент автокорреляции	Минимум	Максимум	Размах
Среднемесячная температура воздуха, °С							
Зима	-1,85	3,31	-0,32	1,08	-6,67	1,70	8,4
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, ц/га							
2008–2018	26,14	27,74	-0,34	0,45	14,44	35,48	21,04

Table 1

Physico-statistical characteristics of time series of seasonal parameters according to Nalchik meteorological station in 1955–2018 [12] and wheat productivity in 2008–2018

Season	Mean value	Dispersion	Asymmetry coefficient	Autocorrelation coefficient	Minimum	Maximum	Scope
Average monthly temperature, °C							
Winter	-1.85	3.31	-0.32	1.08	-6.67	1.70	8.4
Spring	9.42	1.64	-0.28	1.07	6.37	11.93	5.6
Summer	21.10	1.37	0.21	1.07	18.90	24.03	5.1
Autumn	10.26	1.80	-0.38	1.10	6.50	13.30	6.8
Year	9.74	0.98	-0.17	1.05	7.66	11.67	4.0
Total precipitation, mm							
Winter	70.88	304.98	0.542	0.970	31.0	115.3	84.3
Spring	189.83	3182.44	0.115	0.968	63.3	348.0	284.7
Summer	235.78	5002.62	0.016	0.978	97.0	378.0	281
Autumn	134.93	2408.46	1.059	0.952	59.8	325.0	265.2

Season	Mean value	Dispersion	Asymmetry coefficient	Autocorrelation coefficient	Minimum	Maximum	Scope
Year	631.58	12069.52	0.040	0.976	404.0	893.3	489.3
Winter wheat yield, c/ha							
2008–2018	26.14	27.74	-0.34	0.45	14.44	35.48	21.04

Из табл. 1 видно, что среднемесячная температура воздуха в зимний период ниже $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ и рассеяние вокруг среднего значения выше, чем в другие сезоны. При этом асимметрия кроме летнего сезона принимает отрицательные значения. Коэффициенты автокорреляции принимают значения ~ 1 и с незначительными отклонениями почти равны во всех сезонах, что указывает на наличие стабильного тренда внутри исследуемых рядов.

Наибольшее количество осадков наблюдается в летний период, а значение дисперсии указывает на большой разброс данных относительно среднего. Коэффициент асимметрии принимает положительные значения, а коэффициент автокорреляции близок к 1, что указывает на стабильность тренда внутри ряда. В то же время большой разброс данных по всем сезонам указывает на нестабильность значений погодно-климатических параметров.

На рис. 1 и 2 приведены вариации температуры воздуха, $^{\circ}\text{C}$, и осадков, мм, по данным метеостанции «Нальчик» за период 1955—2017 гг. (ряд 1) относительно средних многолетних значений (ряд 2).

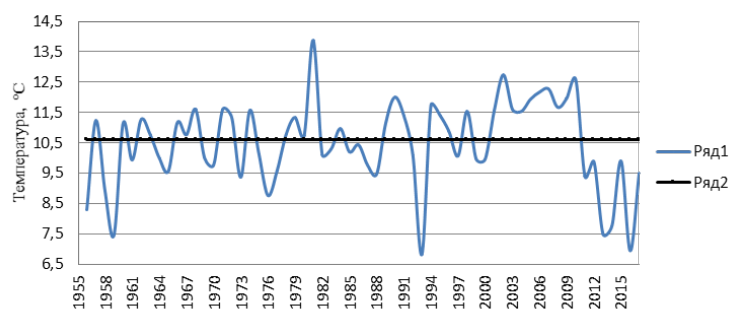


Рис. 1. Ежегодные вариации температуры воздуха по данным метеостанции «Нальчик» (ср = 10,67; max = 13,87; min = 6,83; $R^2 = 0,0021$; $y = 0,0036x + 3,2998$) [12]

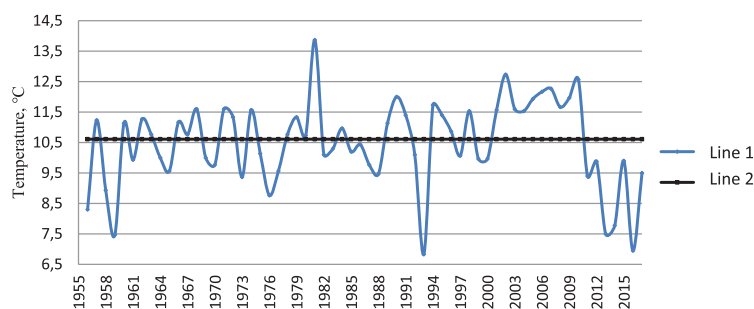


Fig. 1. Annual air temperature variations according to Nalchik meteorological station (mean = 10.67; max = 13.87; min = 6.83; $R^2 = 0.0021$; $y = 0.0036x + 3.2998$) [12]

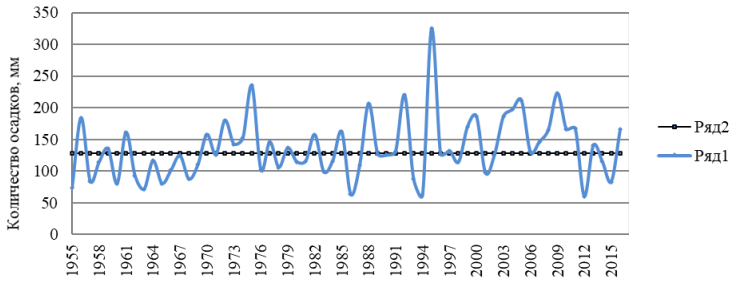


Рис. 2. Ежегодные вариации осадков по данным метеостанции «Нальчик»
 $(y = 0,7172x - 1288,1)$ [12]

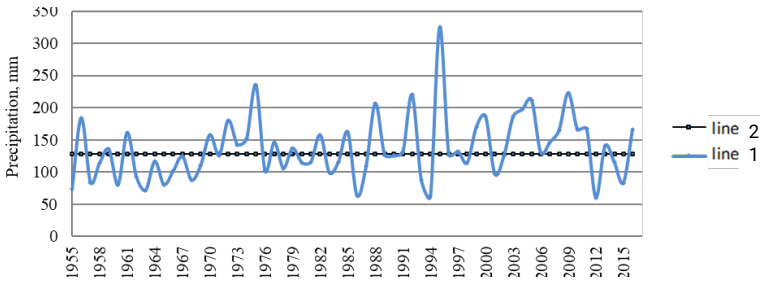


Fig. 2. Annual precipitation variations according to Nalchik meteorological station
 $(y = 0.7172x - 1288.1)$ [12]

Согласно рис. 1 резкие экстремальные отклонения температуры относительно климатической нормы наблюдались в периоды 1957—1960, 1981, 1982, 1993, 1994, 2010, 2013 и 2016 гг., что указывает на возможность в эти годы природных катаклизмов с негативным влиянием на урожайность сельскохозяйственных культур.

Строгой корреляции аномальных отклонений температуры с изменчивостью осадков нет, однако в 1975 и 1995 гг. происходили резкие экстремальные отклонения осадков от климатической нормы, что указывает на обильные осадки с последующим затоплением территории, также снижающие урожаи зерновых.

На рис. 3 приведены значения урожайности озимой пшеницы, ц/га, на посевных площадях территории, контролируемой метеостанцией «Нальчик».

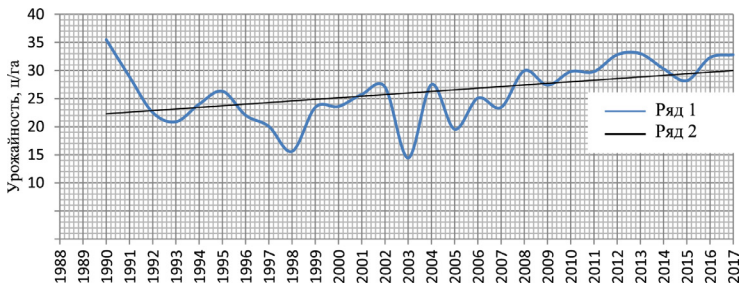


Рис. 3. Динамика изменения урожайности озимой пшеницы за 1990—2017 гг.
 $(y = 0,2849x - 544,58)$

Примечание. В подписях к рисункам приведены статистические параметры, необходимые для прогноза (рис. 1), а также сами прогностические уравнения линейной регрессии для каждого параметра (прямые ряда 2 на рис. 1–3).

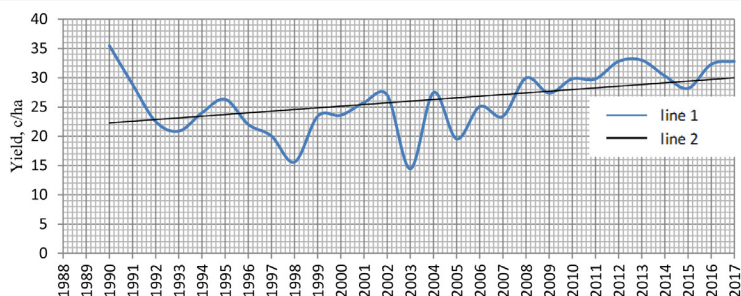


Fig. 3. Changes in yield of winter wheat in 1990–2017 ($y = 0.2849x - 544.58$)

Note. Captions to the figures show the statistical parameters necessary for the forecast (Fig. 1), and prognostic equations of linear regression for each parameter (line 2 in Figs. 1–3).

Рисунки показывают, что в 1981 г. наблюдается повышение температуры воздуха на $3,3^{\circ}\text{C}$, а в 1993 г. снижение на $3,8^{\circ}\text{C}$ относительно климатической нормы и 1992 г. Осадки в 1995 г. увеличились на 263 мм по отношению к 1994 г. и на 198 мм относительно климатической нормы, что указывает на возможность в эти годы природных катаклизмов [12].

По результатам расчета оценка однородности может быть принята только для эмпирических данных летних и годовых значений. Например, критерии Диксона для осенних данных равны: $D1N(0.339;0.22)$, $D2N(0.342;0.22)$, $D3N(0.388;0.29)$, $D4N(0.389;0.3)$, $D5N(0.385;0.28)$. Для установления причин отклонения гипотез однородности нужно провести генетический анализ, т. е. находим статистические характеристики и их случайные ошибки. По предложенной ранее модели $y = \alpha_0x + \beta_0 + \sum_{i=1}^N \left(\alpha_i \cos \frac{2\pi x}{T_i} + \beta_i \sin \frac{2\pi x}{T_i} \right) + R_N(\alpha_i, \beta_i, x)$ [2, 3, 5–9, 14], учитывая природно-антропогенные, природные и природно-случайные процессы, получаем восстановленные временные ряды метеопараметров. После тестирования разработанной модели получим и прогнозные значения на предстоящие годы.

Дальше строим нечетко-логическую модель зависимости урожайности от изменения природных факторов по данным прошлых лет (рис. 4, 5).

По вертикальным линиям (красные в желтых фигурах) выставлены прогнозные сезонные значения метеопараметров, и при этом автоматически определяется возможное значение урожайности озимой пшеницы на следующий сельскохозяйственный год.

Здесь показано, что при низких осадках и температуре воздуха урожайность повышается, а при остальных зависимостях снижается. Данные выводы характерны для исследованных угодий КБР и относятся как к предгорным, так и к степным (низинным) районам [4, 5].

Более детальным подтверждением этих выводов могут служить варианты нечетко-логистической модели, построенные в 3D-интеграции.

На рис. 6 приводится такая динамика зависимости урожайности от приведенных выше данных по изменчивости осадков и температуры воздуха каждого сезона (зима, весна, лето, осень).

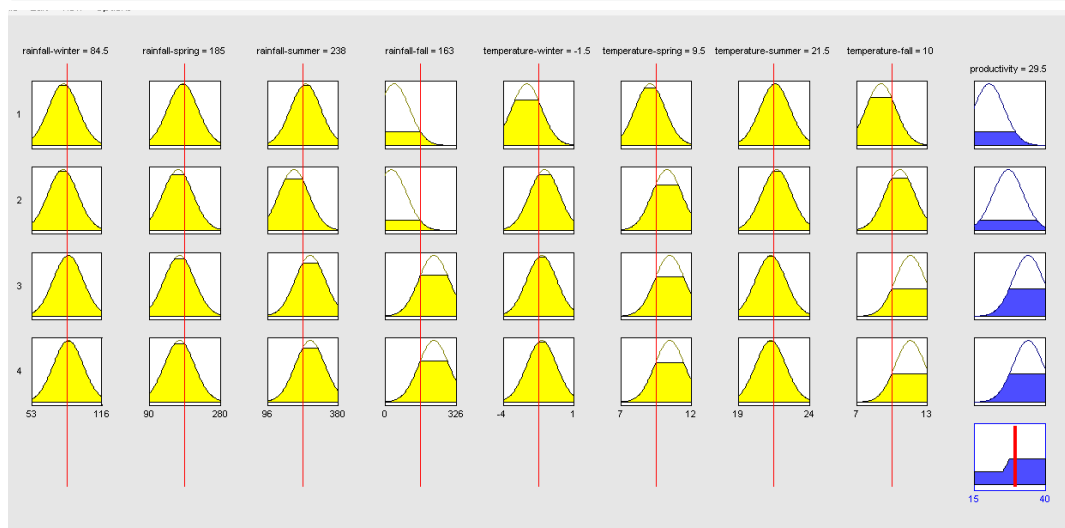


Рис. 4. Нечетко-логическая модель зависимости урожайности озимой пшеницы от изменения сезонных осадков и температуры воздуха

Fig. 4. A fuzzy-logical model of dependence of winter wheat productivity on changes in seasonal precipitation and temperature

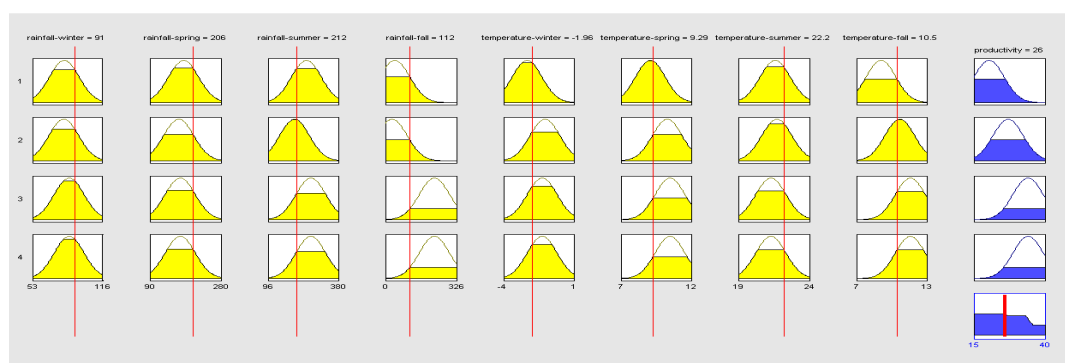


Рис. 5. Нечетко-логическая модель зависимости урожайности озимой пшеницы от изменения сезонных осадков и температуры воздуха как прогноз на следующий год

Fig. 5. A fuzzy-logical model of dependence of winter wheat productivity on changes in seasonal precipitation and temperature as a forecast for next year

Подобные расчеты сделаны не только для озимой пшеницы, но и для таких сельскохозяйственных культур, как кукуруза, просо, овес, подсолнечник. На основании полученного прогноза в следующем сельскохозяйственном году в предгорной зоне при соблюдении агротехнических технологий повысится урожайность кукурузы, а в степной зоне можно рекомендовать выращивание пшеницы, проса, овса и подсолнечника.

По результатам исследований также разрабатываются рекомендации по минимизации риска снижения производства продукции сельского хозяйства.

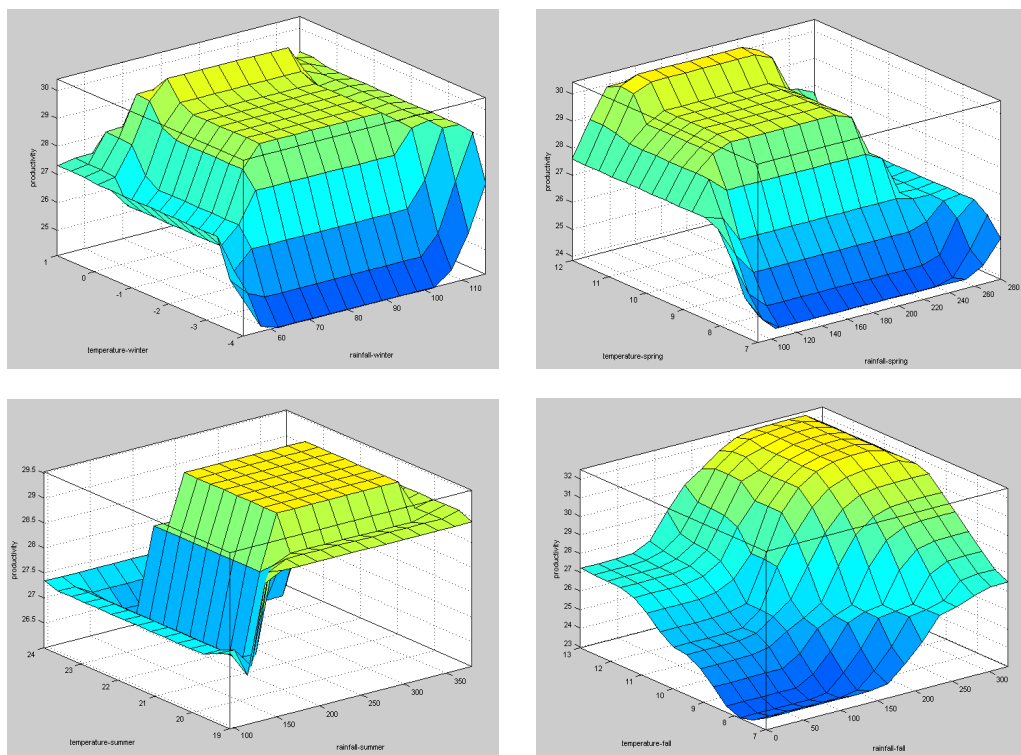


Рис. 6. Графическое представление по 4 сезонам соответствия осадков x и температуры воздуха y как аргументов и урожайности z как результирующей функции
Fig. 6. Seasonal graphical representation of correspondence in rainfall x and temperature y as arguments and productivity z as the resulting function

Если полученные значения не удовлетворяют пользователя, то нужно выяснить причины такой низкой урожайности. Для этого находится аналог-год из предыдущих лет и определяется возможность аномальных процессов для принятия управленческих решений. Можно использовать культуры с коротким сроком вегетации и высевать их до наступления аномалии или после [5].

Заключение

Таким образом, проведен анализ зависимости урожайности сельскохозяйственных культур от колебаний погодно-климатических характеристик. Сформирована и адаптирована к тиражированию схема и действующие приемы моделирования на основе некоторых элементов аппарата нечеткой логики. Целью любого моделирования, как правило, является прогноз по алгоритму: предикторы как входные параметры, «черный ящик» как аппарат преобразования модели в прогноз и предиктанты как выходные параметры прогноза.

Теоретические разработки опробованы на конкретной задаче прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур для предгорных и степных (низинных) угодий КБР.

Выводы

— на территории Кабардино-Балкарской республики климатические характеристики температурного режима и режима осадков стабильны без резких отклонений в следующем сельскохозяйственном году;

— в предгорной зоне можно расширить посевные площади для выращивания кукурузы на зерно и на силос;

— в степной зоне в следующем сельскохозяйственном году климат будет благоприятствовать выращиванию озимой пшеницы и получения высокого урожая;

— из-за устойчивой теплой погоды в южной части степной зоны подсолнечник даст высокий урожай.

Библиографический список

1. Борисенков Е.П. Связь температуры и осадков с урожайностью // Труды ГГО. 1984. Вып. 471. С. 46—50.
2. Замятин С.А., Измestьев В.М., Виноградов Г.М., Лапшин Ю.А., Виноградова И.А. Тенденции в изменении климата, влияющие на земледелие // Земледелие. 2010. № 4. С. 13—14.
3. Fukui H. Climatic variability and agriculture in tropical moist regions // Proceedings of the world climate Conference. 1979. World Meteorological Association Report № 537. P. 426—479.
4. Бисчоков Р.М., Аджиева А.А., Кудаев Р.Х., Тукова Ф.Х., Тхайцухова С.Р. Методика минимизации риска снижения производства продукции сельского хозяйства. Нальчик: ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский ГАУ, 2014. 290 с.
5. 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.
6. Мирмович Э.Г. Прогнозирование чрезвычайных ситуаций и рисков как научно-практическая задача // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. М.: ВИНТИ, 2003. Вып. 1. С. 142—146.
7. Юдин М.И., Мещерская А.В. Некоторые оценки естественных составляющих как предикторов, так и предиктантов // Тр. ГГО. 1972. Вып. 273. С. 3—15.
8. Юдин М.И., Блажевич В.Г., Репинская Р.П. Некоторые вопросы отбора значимых предикторов // Труды ГГО. 1972. Вып. 273. С. 16—28.
9. Заде Л.А. Основы нового подхода к анализу сложных систем и процессов принятия решений // Математика сегодня. М.: Знание, 1974. С. 5—19.
10. Штовба С.Д. Введение в теорию нечетких множеств и нечеткую логику. Режим доступа: <http://www.matlab.exponenta.ru> Дата обращения: 26.02.2020.
11. 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.
12. Bischokov R., Apazhev A., Trukhachev V., Didanova E. Method of minimizing the risk of reducing the production of agricultural products by means of fuzzy logic // Advances in Intelligent Systems Research. International Scientific and Practical Conference «Digitization of Agriculture — Development Strategy». 2019. Vol. 167. P. 401—404. doi: 10.2991/ispc-19.2019.89
13. 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.
14. Waongo M., Laux P., Traore S.B., Sanon M., Kunstmann H. A crop model and fuzzy rule based approach for optimizing maize planting dates in Burkina Faso, West Africa // Journal of applied meteorology and climatology. 2014. V. 53. P. 598—613. doi: 10.1175/JAMC-D-13-0116.1

References

1. Borisenkov EP. Communication of temperature and rainfall with productivity. In: *Proceedings of Voeikov Main Geophysical Observatory. Issue 471*. Leningrad: Gidrometeoizdat publ.; 1984; (471):46—50. (In Russ.)
2. Zamyatin SA, Izmestyev VM, Vinogradov GM, Lapshin YA, Vinogradova IA. Tendency in climate change influencing agriculture. *Zemledelie*. 2010; (4):13—14. (In Russ.)
3. Fukui H. Climatic variability and agriculture in tropical moist regions. In: *Proceedings of the World Climate Conference, World Meteorological Association Report № 537*. Geneva; 1979. p.426—479.
4. Bischokov RM, Adzhiyeva AA, Kudayev RH, Tukova FH, Tkhaytsukhova SR. *Metodika minimizatsii riska snizheniya proizvodstva produktsii sel'skogo khozyaistva* [Minimization of risk of decrease in agriculture production]. Nalchik: Kabardino-Balkarian SAU publ.; 2014. (In Russ.)
5. Bischokov RM. Climate features of the piedmont, steppe and mountain zones of the Kabardino-Balkarian republic in winter period. *Vestnik Kurganskoy GSHA*. 2018; (2):18—23. (In Russ.)
6. Mirmovich EG. Forecasting of emergency situations and risks as a scientific and practical task. In: *Problemy bezopasnosti pri chrezvychaynykh situatsiyakh. Vypusk 1* [Security concerns at emergency situations. Issue 1]. Moscow: VINITI publ.; 2003. p.142—146. (In Russ.)
7. Yudin MI, Mescherskaya AV. Some estimates of the natural components of both predictors and predictants. In: *Proceedings of Voeikov Main Geophysical Observatory. Issue 273*. Leningrad: Gidrometeoizdat publ.; 1972. p.3—15. (In Russ.)
8. Yudin MI, Blazhevich VG, Repinskaya RP. Some questions of selection of significant predictors. In: *Proceedings of Voeikov Main Geophysical Observatory. Issue 273*. Leningrad: Gidrometeoizdat publ.; p.16—28. (In Russ.)
9. Zadeh L. Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes. In: *Matematika segodnya* [Math today]. Moscow: Znanie publ.; 1974. p.5—19. (In Russ.)
10. Shtovba SD. *Vvedenie v teoriyu nechetkikh mnozhestv i nechetkuyu logiku* [Introduction to the theory of fuzzy sets and fuzzy logic]. Available from: <http://www.matlab.exponenta.ru> [Accessed 26th February 2020]. (In Russ.)
11. Mirmovich EG, Zharenov AB. Analyses of the decision making support problem on actions in crisis situations in conditions of uncertainty. *Civil security technology*. 2007; (3):82—89.
12. Bischokov R, Apazhev A, Trukhachev V, Didanova E. Method of minimizing the risk of reducing the production of agricultural products by means of fuzzy logic. In: *Advances in Intelligent Systems Research. International Scientific and Practical Conference «Digitization of Agriculture — Development Strategy», Vol. 167*. Atlantis Press; 2019. p.401—404. doi: 10.2991/ispc-19.2019.89
13. Bischokov RM, Adzhiyeva AA, Tkhaytsukhova SR. Application of fuzzy logic for risk analysis in agrarian sector. *Vestnik Kurganskoy GSHA*. 2014; (3):57—60.
14. Waongo M, Laux P, Traore SB, Sanon M, Kunstmann H. A crop model and fuzzy rule based approach for optimizing maize planting dates in Burkina Faso, West Africa. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*. 2014; 53(3):598—613. doi: 10.1175/JAMC-D-13-0116.1

Об авторе:

Бисчочков Руслан Мусарбиевич — кандидат физико-математических наук, доцент кафедры высшей математики и информатики, Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет им. В.М. Кокова, Российская Федерация, 360030, Кабардино-Балкарская Республика, г. Нальчик, пр. Ленина, д. 1в; e-mail: rusbis@mail.ru

About author:

Bischokov Ruslan Musarbievich — Candidate of Physics and Mathematics, Associate Professor, Department of Higher Mathematics and Computer Science, Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov, 1v, Lenina avenue, Nalchik, Kabardino-Balkarian Republic, 360030, Russian Federation; e-mail: rusbis@mail.ru