

УДК 633.491

4.1.1. Общее земледелие и растениеводство
(сельскохозяйственные науки)

**АНАЛИЗ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ
УРОЖАЙНОСТИ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР
ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТЬЮ**

Бисчоков Руслан Мусарбиевич

к.ф.-м.н., доцент

РИНЦ SPIN-код 2917-0415

rusbis@mail.ru

Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет, Россия, Нальчик, пр-кт Ленина, 1в

Ахматов Мухадин Магомедович

к.ф.-м.н., доцент

РИНЦ SPIN-код

m_ahmatov@mail.ru

Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет, Россия, Нальчик, пр-кт Ленина, 1в

Бетоков Алим Олегович

аспирант

Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет, Россия, Нальчик, пр-кт Ленина, 1в

Для определения адекватности временных рядов урожайности зерновых культур, осадков и температуры воздуха на период 1972-2020гг. на территории Кабардино-Балкарской республики проводятся их статистическое оценивание и затем анализ динамики изменения значений. Программой STATISTICA разрабатываются компьютерные модели динамики урожайности культуры с учетом климатических факторов средствами искусственных нейронных сетей. В нейронных сетях качестве входных данных вводятся эмпирические данные осадков и температуры воздуха за вегетационный период культур, а выходной будет урожайность. Для получения оптимальной модели процесс проходит этапы выбора конфигурации, обучения и тестирования, а затем выбранной моделью производится прогнозирование урожайности культуры на предстоящие годы

Ключевые слова: ОСАДКИ, ТЕМПЕРАТУРА ВОЗДУХА, ВЕГЕТАЦИОННЫЙ ПЕРИОД, ПРОГНОЗИРОВАНИЕ, УРОЖАЙНОСТЬ, НЕЙРОННЫЕ СЕТИ

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-197-003>

UDC 633.491

4.1.1. General agriculture and crop production
(agricultural sciences)

**ANALYSIS AND FORECASTING OF GRAIN
YIELDS BY ARTIFICIAL NEURAL NETWORK**

Bischokov Ruslan Musarbievich

Cand.Phys.-Math.Sci., associate Professor

RSCI SPIN code 2917-0415

rusbis@mail.ru

Kabardino-Balkarian State Agrarian University, 1b prospekt Lenina, Nalchik, Russia

Akhmatov Mukhadin Magomedovich

Cand.Phys.-Math.Sci., associate Professor

RSCI SPIN code

m_ahmatov@mail.ru

Kabardino-Balkarian State Agrarian University, 1b prospekt Lenina, Nalchik, Russia

Betokov Alim Olegovich

postgraduate student

Kabardino-Balkarian State Agrarian University, 1b prospekt Lenina, Nalchik, Russia

To determine the adequacy of time series of grain yields, precipitation and air temperature for the period 1972-2020 in the territory of the Kabardino-Balkarian Republic, their statistical assessment and then analysis of the dynamics of changes in values are carried out. The STATISTICA program develops computer models of crop yield dynamics taking into account climatic factors by means of artificial neural networks. In neural networks, empirical data on precipitation and air temperature for the growing season of crops are entered as input data, and the output will be yield. To obtain the optimal model, the process goes through the stages of configuration selection, training and testing, and then the selected model predicts crop yields for the coming years

Keywords: PRECIPITATION, AIR TEMPERATURE, GROWING SEASON, FORECASTING, YIELD, NEURAL NETWORKS

Введение

Благоприятствующие климатические факторы на период вегетации являются важными компонентами получения хорошего урожая [1]. В компьютерной модели искусственной нейронной сети в качестве входных данных используются климатические характеристики периода 1956-2021 гг разбитые на три интервала: 22 марта – 22 мая, 22 мая – 22 июля и 22 июля – 22 сентября, как интервалы вегетационного развития зерновых культур. А выходными данными являются урожайности зерновых культур за тот же период [1,2].

В работах [3,4] проводились исследования зависимости урожайности сельскохозяйственных культур и динамики изменения климатических характеристик методами нечеткой логики.

Цель работы. Разработка компьютерной модели анализа и прогнозирования динамики изменения урожайности кукурузы в зависимости от изменения вегетационных осадков и температуры воздуха на территории Кабардино-Балкарской республики [5,6,7]

Материалы и методы исследований: За 1972-2020 гг. вегетационного периода, рассматриваемых зерновых культур, используются осадки, температура воздуха и данные по урожайности. В качестве метода исследования использованы средства искусственных нейронных сетей (ИНС) модулем Neural Networks программного продукта STATISTICA: Linear (линейная), PNN or GRNN (обобщенно-регрессионная нейронная) и Three layer perceptron (трехслойный персептрон) (MLP – многослойный персептрон). [5,6,7,8,9].

Результаты и их обсуждение. Анализ динамики изменения значений суммарного количества осадков и среднемесячной температуры воздуха за интервал 1972-2020 гг. проведем по трем интервалам: 1) с 22 марта по 22 мая, 2) с 22 мая и 3) с 22 мая по 22 сентября. Проведем статистическое оценивание по построенным трем эмпирическим рядам и временными рядами урожайности вышеприведенных зерновых культур. В

результате рассчитаны статистические моменты эмпирических функций распределений; получены оценки значимости статистических параметров (среднее, дисперсия, среднеквадратическое отклонение, асимметрия, эксцесс) и их погрешностей. [4]

На рисунках 1 приведем динамику изменения температуры воздуха по интервалам: 22.03-22.05, 22.05-22.07 и 22.07-22.09.

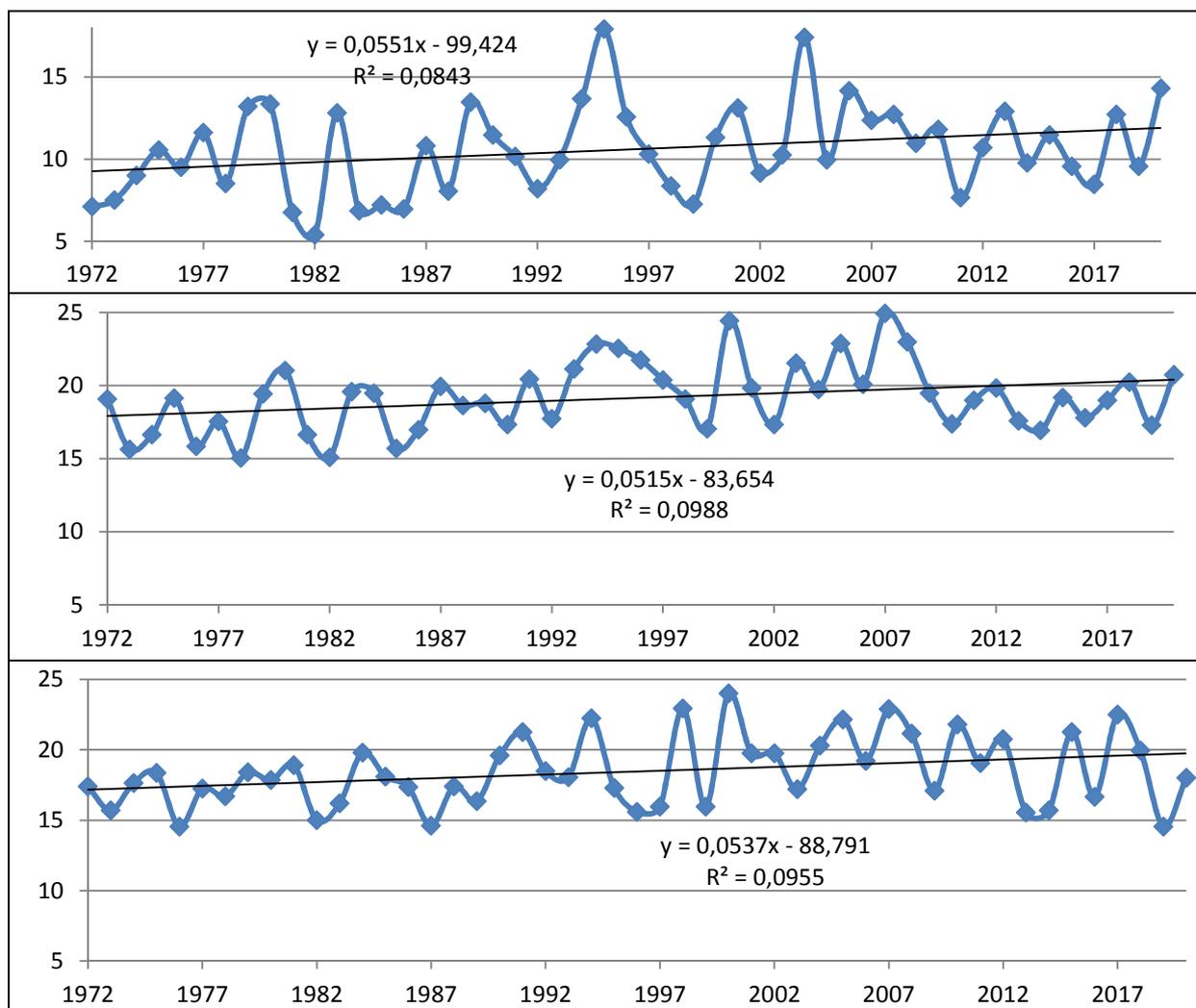


Рис. 1. – Динамика изменения температуры воздуха трех интервалов

Первый интервал представляет весенний период, время всходов и роста культуры. На рисунке 1 видно, что приведенные данные для этого периода являются благоприятствующими. Данный интервал времени для зерновых культур является важнейшим, где определяются качество всходов и появление первого, первых трех и первых пяти листьев. По этим данным можно предположить о возможном урожае.

Второй интервал определяет летний сезон, когда выросшая культура набирает силы, появляются плоды молочной спелости. В 2000 и 2007 годах достигались наибольшие температуры, до 25⁰С, но они не являются губительными, если культура будет обеспечена влагой. Последние десять лет температура воздуха на заданном интервале немного снижается.

Летне-осенний сезон отмечается третьим интервалом, где динамика изменения температуры воздуха почти такая же, как и предыдущем интервале. Для зерновых культур этот интервал очень важный, где происходит созревания урожая и подготовка к уборке. В начале интервала температура воздуха влияет на качество будущего урожая, а в конце, если не будут аномальных процессов, большого влияния не оказывает.

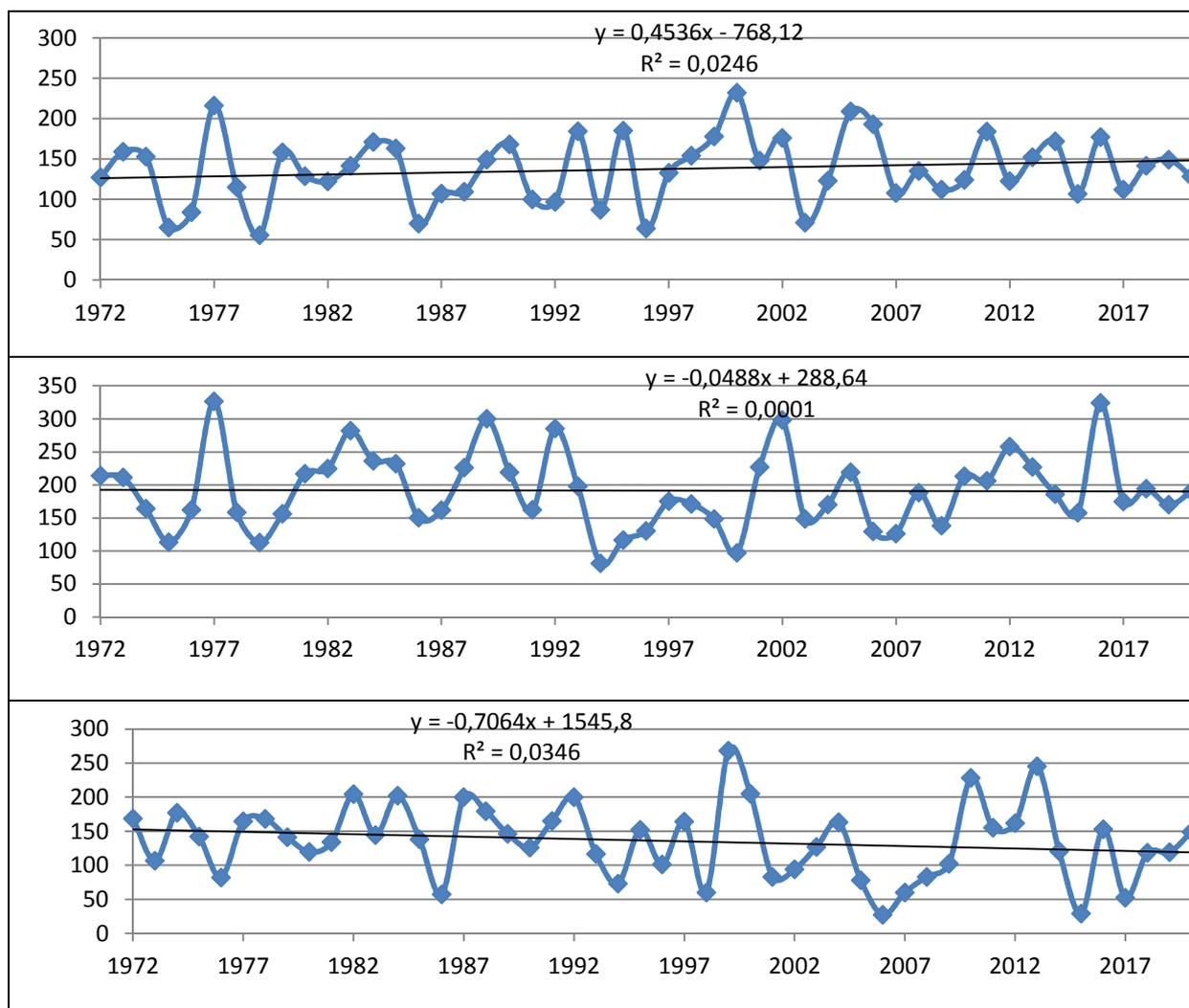


Рис. 2. – Динамика изменения осадков трех интервалов

Резких отклонений от тренда не наблюдается:

– на первом интервале в 2000 году отмечается наибольшие осадки, а последние 18 лет они стабилизировались и благоприятны для всходов и начального роста культуры;

– на втором интервале осадки отмечаются как нестабильные из года в год. Отмечаются резкие увеличения и уменьшения, а тренд указывает на незначительное повышение осадков. Наибольшие осадки (300 мм и более) наблюдаются в следующих годах: 1977, 1983, 1989, 1992, 2002 и 2016, а наименьшие значения в пределах допустимого. Последние 20 лет, за исключением 2016 года, значения осадков на этом интервале благоприятствуют нормальному росту и созреванию зерновой культуры;

– третий интервал отмечен низкими осадками, что не приемлемо для зерновых культур в период созревания. Культурам в начале этого интервала необходимо получать необходимое количество влаги, иначе они могут погибнуть или резко снизить урожай. Для принятия дополнительных мер по сохранению урожая необходимо провести анализ всех характеристик в разрезе каждого дня.

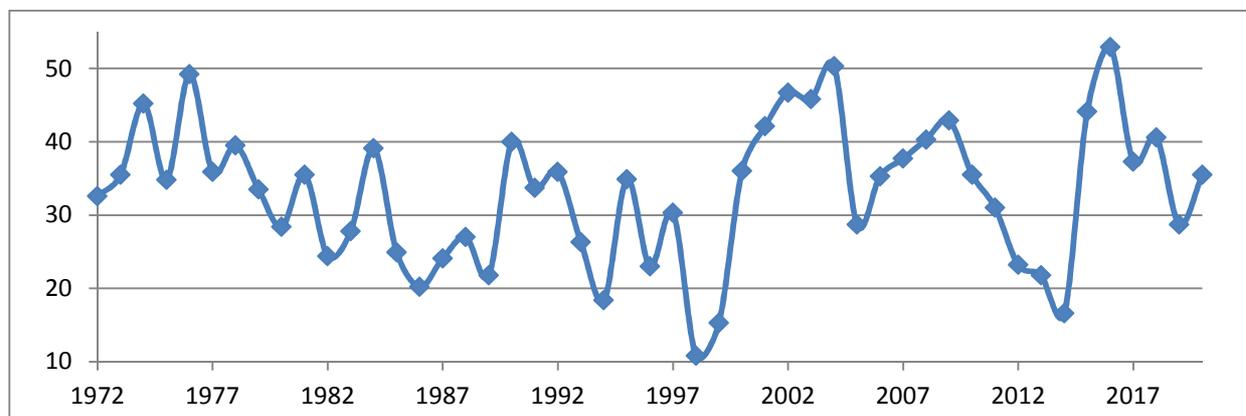


Рис. 3. Динамика изменения урожайности кукурузы

Из рисунка 3 видно, что с 1998 года урожай кукурузы в предгорной зоне Кабардино-Балкарской республики нестабилен. Наблюдаются резкие перепады урожайности культуры, как говорят, то густо, то пусто. Так, в 1998 году отмечена самая низкая урожайность, 10 ц/га. Затем наблюдается повышения из года в год, и 2004 году урожайность достигла до 50 ц/га, а

на следующий год резко падает урожай до 29 ц/га. Далее следующие три года опять урожай повышается до 43 ц/га и пять лет подряд происходит падение до 16 ц/га. В следующие два года происходит повышение урожая и достигает 55 ц/га. Такая динамика изменения урожайности кукурузы не нормально и требуют дополнительных исследований для выяснения причин снижения урожая. Эти исследования по прошлым годам необходимы, т.к. при прогнозировании урожайности нам нужно находить аналог-год для прогнозного значения при низкой урожайности, чтобы предпринять необходимые меры по исключению риска снижения урожайности культуры.

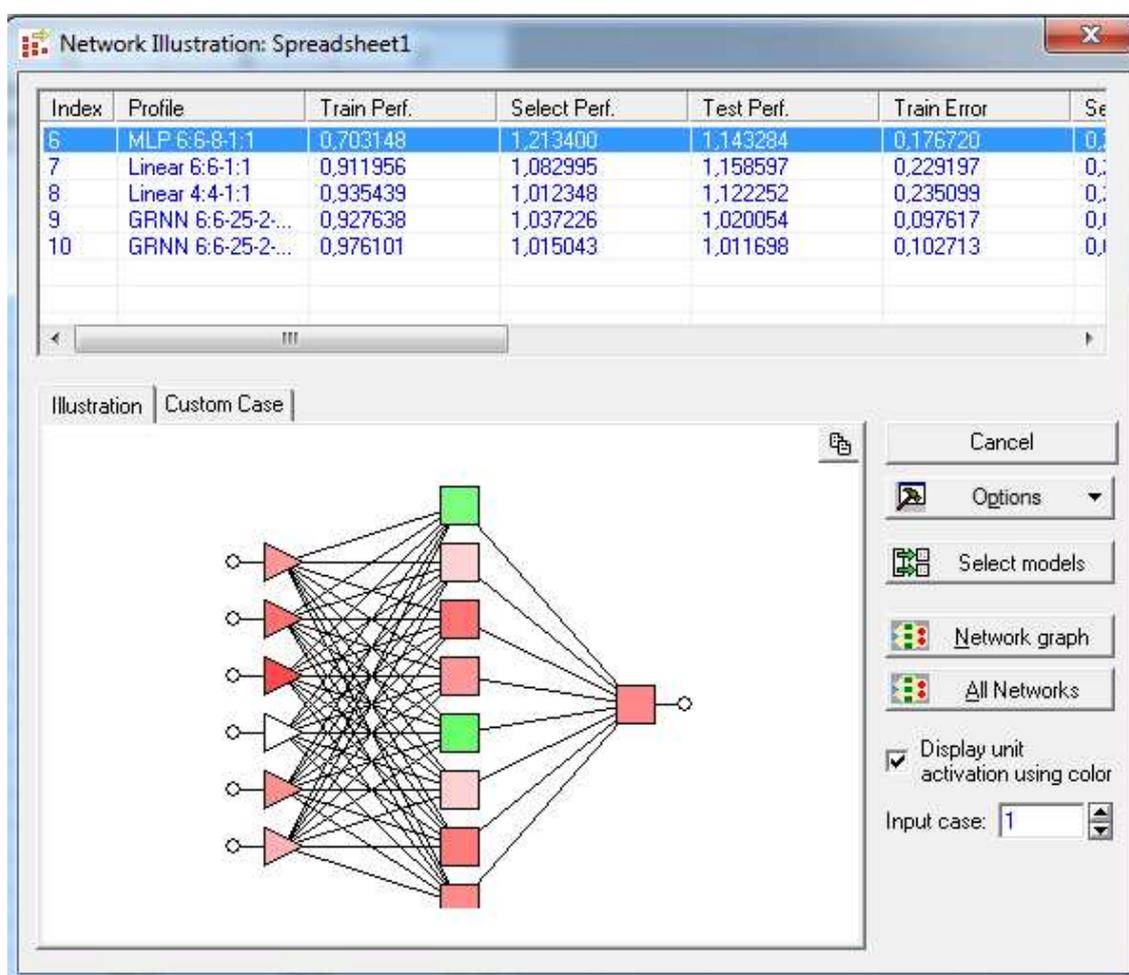


Рис. 4. Структура построения искусственной нейронной сети
 Далее строим ИНС по следующей схеме:

- запускаем программу STATISTICA и в таблицу загружаем подготовленные эмпирические данные за 49 лет (1972-2020 гг.):
- отмечаем эмпирические данные на входе и урожайность;
- строим искусственные нейронные сети по первым 22 годам, где строятся 35 комбинаций ИНС по выбранным трем;
- обучения построенных ИНС и выбор 5 наиболее оптимальных сетей производится по данным следующих 9 лет;
- тестирование отобранных ИНС осуществляется по данным следующих 9 лет;
- контроль сетей и выбор одной ИНС производится по данным последних 9 лет;
- прогноз урожайности кукурузы на предстоящие годы.

На рисунке 4 приводится таблица характеристик по выбранным 5 оптимальным моделям и структура ИНС по отобранной модели MLP 6.6-8-1-1.

По выбранной модели можем получить фактические и 5 вариантов прогнозных значений урожайности кукурузы на предстоящие годы.

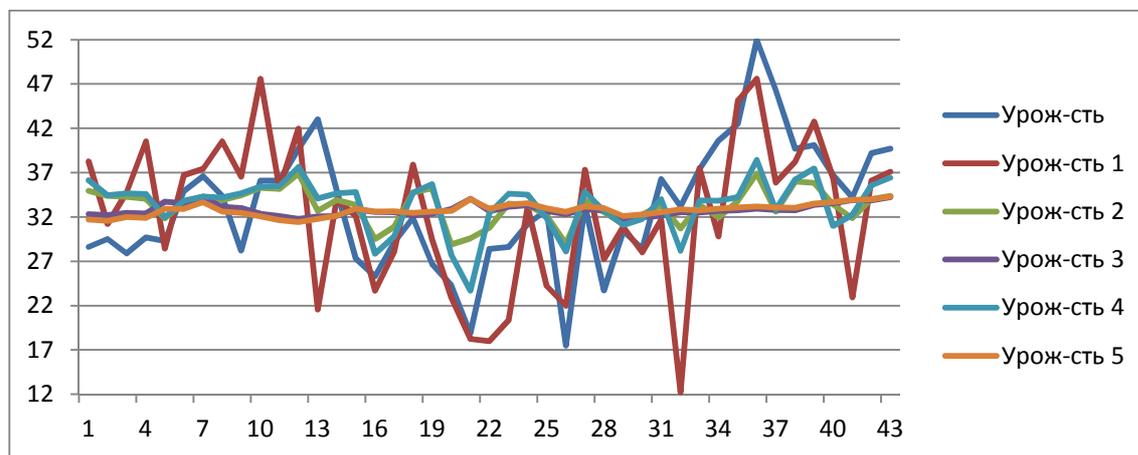


Рис. 5 Фактические и расчетные значения урожайности кукурузы

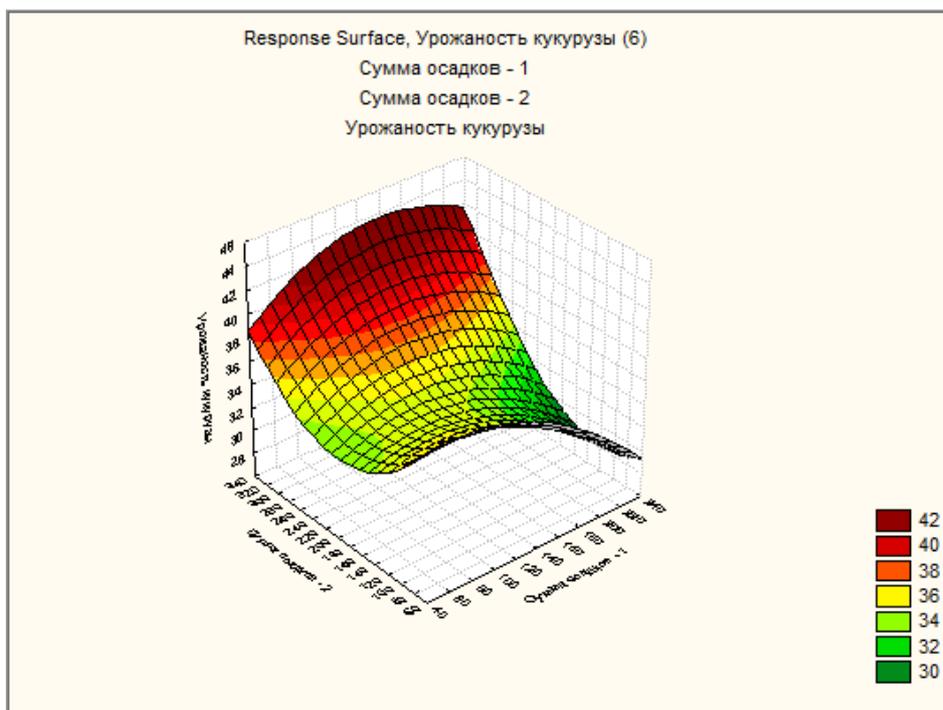


Рис. 6. Описание урожайности кукурузы с учетом климатических характеристик

На рисунке 6 приведена объемная форма зависимости урожайности от осадков, а также можно получить и по температуре воздуха [10].

Выводы

Анализ динамики изменения климатических характеристик на территории Кабардино-Балкарской республики на период 1972-2020 гг. проводился по данным вегетационного периода кукурузы. Для более детального изучения исследуемый интервал был разбит на три части: период всходов, роста и созревания культуры. За исключением нескольких лет, резких отклонений осадков и температуры воздуха за весь период упреждения не наблюдались, т.е., в основном, погодные условия благоприятствовали получению высоких урожаев, при условии соблюдения других агротехнических мероприятий.

Анализ урожайности кукурузы за исследуемый период показал, что с 1979 года по 2014 года урожай кукурузы составлял 30 центнеров с гектара, а иногда и ниже. Отмечены несколько годов с очень низким урожаем.

При построении компьютерных моделей путем разработки ИНС оптимальной оказалась модель MLP 6.6-8-1-1, по которой расчетные данные ближе к фактическим. По этой же модели произвели прогнозирование урожайности кукурузы в предгорной климатической зоне с учетом осадков и температуры воздуха, полученных с метеостанций Нальчик, Кабардино-Балкарская республика.

Предположительно в ближайшие годы урожай кукурузы будет выше среднего и погодные условия будут благоприятствовать этому. Хотя отмечается очень низкий урожай в 2027 году, что потребуют дополнительных исследований, определяя аналог-год из прошлых лет для принятия мер по снижению риска потери урожая.

Библиографический список

1. Борисенков Е.П. Связь температуры и осадков с урожайностью //Труды ГГО. 1984. Вып. 471. С. 46-50.
2. Fukui, H. Climatic variability and agroculture in tropical moist regions. //Proceedings of the world climate Conference, 1979, WMO - № 537, pp. 426-476.
3. Wongo M., Link P., Troore 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
4. Бисчоков, Р.М. Анализ, моделирование и прогноз урожайности сельскохозяйственных культур для Кабардино-Балкарской Республики с использованием аппарата нечеткой логики. //Вестник РУДН. Серия Агрономия и животноводство. – 2020. - № 15(2). – С. 123-133.
5. Хайкин, С. Нейронные сети. Полный курс. - М.:Вильямс М, 2006. - 1104с.
6. Нейронные сети. STATISTICA Neural Networks: Методология и технологии современного анализа данных /Под редакцией В.П.Боровикова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. Горячая линия – Телеком, 2008. – 392 с., ил. ISBN 978-5-9912-0815-8.
7. Лозовой, Я.С. Решение задачи прогнозирования с помощью нейронных сетей [Электронный ресурс]. /Я.С. Лозовой, А.И. Секирин. – Режим доступа http://www.rusnauka.com/1_NIO_2011/Informatica/78176.doc.htm
8. Рогачев, А.Ф. Оценка прогнозного уровня урожайности сельскохозяйственных культур на основе нейросетевых моделей динамики. /А.Ф. Рогачев, М.Г. Шубков //Известия Нижневолжского агропромышленного университетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2012. - № 4(28). – С. 1-6.
9. Савин, И.Ю. Прогнозирование урожайности сельскохозяйственных культур с использованием нейронных сетей. /И.Ю. Савин, Д. Стакакис, Т. Нэгр, В.А. Исаев. //Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. 2007. №6. – 11-14 с.
10. Бисчоков, Р.М. Анализ, моделирование и прогноз урожайности сельскохозяйственных культур средствами искусственных нейронных сетей. //Вестник

Российского университета дружбы народов. Серия: Агронимия и животноводство. – 2022. - № 17(2). – С. 146-157

References

1. Borisenkov E.P. Svjaz' temperatury i osadkov s urozhajnost'ju //Trudy GGO. 1984. Вып. 471. S. 46-50.
2. Fukui, H. Climatic variability and agroculture in tropical moist regions. //Proceedings of the world climate Conference, 1979, WMO - № 537, pp. 426-476.
3. Wongo M., Link P., Troore 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
4. Bischokov, R.M. Analiz, modelirovanie i prognoz urozhajnosti sel'skohozjajstvennyh kul'tur dlja Kabardino-Balkarskoj Respubliki s ispol'zovaniem apparata nechetkoj logiki. //Vestnik RUDN. Serija Agronomija i zhivotnovodstvo. – 2020. - № 15(2). – S. 123-133.
5. Hajkin, S. Nejronnye seti. Polnyj kurs. - M.:Vil'jams M, 2006. - 1104s.
6. Nejronnye seti. STATISTICA Neural Networks: Metodologija i tehnologii sovremennogo analiza dannyh /Pod redakciej V.P.Borovikova. – 2-e izd., pererab. i dop. – M. Gorjachaja linija – Telekom, 2008. – 392 s., il. ISBN 978-5-9912-0815-8.
7. Lozovoj, Ja.S. Reshenie zadachi prognozirovanija s pomoshh'ju nejronnyh setej [Elektronnyj resurs]. /Ja.S. Lozovoj, A.I. Sekirin. – Rezhim dostupa http://www.rusnauka.com/1_NIO_2011/Informatica/78176.doc.htm
8. Rogachev, A.F. Ocenka prognoznogo urovnja urozhajnosti sel'skohozjajstvennyh kul'tur na osnove nejrosetevyh modelej dinamiki. /A.F. Rogachev, M.G. Shubkov //Izvestija Nizhnevolzhskogo agropromyshlennogo universitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie. – 2012. - № 4(28). – S. 1-6.
9. Savin, I.Ju. Prognozirovanie urozhajnosti sel'skohozjajstvennyh kul'tur s ispol'zovaniem nejronnyh setej. /I.Ju. Savin, D. Statakis, T. Njegr, V.A. Isaev. //Doklady Rossijskoj akademii sel'skohozjajstvennyh nauk. 2007. №6. – 11-14 s.
10. Bischokov, R.M. Analiz, modelirovanie i prognoz urozhajnosti sel'skohozjajstvennyh kul'tur sredstvami iskusstvennyh nejronnyh setej. //Vestnik Rossijskogo universiteta družby narodov. Serija: Agronomija i zhivotnovodstvo. – 2022. - № 17(2). – S. 146-157