ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ. АГРОИНЖЕНЕРИЯ

DOI: 10.32786/2071-9485-2021-01-33

FORMATION AND ANALYSIS OF LONG-TERM GRAIN YIELD SERIES
FOR NEURAL NETWORK FORECASTING AND JUSTIFICATION
OF AGROTECHNOLOGICAL MEASURESA. F. Rogachev^{1, 2}¹Volgograd State Agrarian University, Volgograd²All Russian research Institute of Irrigated Agriculture, Volgograd

Received 25.01.2021

Submitted 10.03.2021

*The article was prepared with the financial support of the RFBR and the administration
of the Volgograd region under project No. 19-416-340014*

Summary

The features of the autocorrelation function of the time series of grain crop yields were revealed using the methods of pre-forecast statistical analysis. An artificial neural network was constructed for predicting grain yields in the SNN environment. The MLP multilayer perceptron architecture is based on the minimum of the MSE criterion.

Abstract

Introduction. The article deals with the methodological and applied issues of creating a database of retrospective grain yield, intended for statistical processing of long-term information, as well as mathematical modeling and use for forecasting. Long-term data on annual levels of yield, including grain crops, is the basis for forecasting, managing and optimizing agricultural production. To solve the listed subtasks of agricultural production and their information support, relational databases are being developed that provide mathematical and statistical analysis and modeling of yield changes. **Research methods.** Saving data in the *.csv format, which is a text format for representing tabular data, providing in-depth processing, analysis and visualization using specialized libraries of the Python environment, has been substantiated. For the formation of a database of perennial retrospective water distribution devices of grain crops and its use for mathematical modeling, a relational structure is recommended, including a set of vector indicators (crops, soil, temperature, precipitation, etc.), combined by key fields. The use of the *.csv data format helps to simplify and, accordingly, accelerate the analysis and mathematical modeling of water distribution devices. Revealing the internal patterns of interannual changes in the levels of yields makes it possible to more reasonably develop a system for their neural network modeling and forecasting. **Results and discussion.** The developed agrarian-oriented databases for optimization, based on historical data, parameters of agricultural production in dry conditions, should include infological modules, taking into account the types and temporal characteristics of the stored data. The structure of relational tables for storing long-term generalized and dynamically changing data characterizing agricultural production has been substantiated. The developed database provides analysis and forecasting of indicators of agricultural production using artificial neural networks. **Conclusions.** To form a database of long-term retrospective water distribution devices for cereals and its application for research mathematical modeling, a multi-tabular relational base has been substantiated, including a set of vector indicators (crops, soil types, decadal temperatures and precipitation levels and other indicators), combined according to the corresponding key indicators. The expediency of storing information in a database in the Comma-Separated Values text format, which is a universal format for presenting various data, with the aim of subsequent analysis and mathematical modeling of water distribution devices, has been substantiated. Revealing the patterns of interannual variations in yield indicators allows the development of intelligent neural network modeling systems with data preprocessing for forecasting. The developed specialized databases oriented to optimize the management of agricultural production in arid conditions based on historical data, including the parameters of agricultural production, should include information-logical modules that take into account

the types and temporal characteristics of the stored data.

Key words: *Agricultural crops, Productivity, Vegetation index, Monitoring, Unmanned aerial vehicles.*

Citation. Rogachev A. F. Adaptation of algorithms and justification of tools for neural network forecasting of agricultural productivity using retrospective data. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2021. 1(61). 347-356 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2021-01-33.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 311.2

ФОРМИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ МНОГОЛЕТНИХ РЯДОВ УРОЖАЙНОСТИ ЗЕРНОВЫХ ДЛЯ НЕЙРОСЕТЕВОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И ОБОСНОВАНИЯ АГРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МЕРОПРИЯТИЙ

А. Ф. Рогачев^{1,2}, доктор технических наук, профессор

¹Волгоградский государственный аграрный университет

²Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия, г. Волгоград

Дата поступления в редакцию 25.01.2021

Дата принятия к печати 10.03.2021

*Статья подготовлена при финансовой поддержке РФФИ
и Администрации Волгоградской области по проекту № 19-416-340014*

Актуальность. В статье рассмотрены методические и прикладные вопросы создания базы данных (БД) ретроспективной урожайности зерновых культур, предназначенная для статистической обработки многолетней информации, а также математического моделирования и использования в целях прогнозирования. Многолетние данные о годовых уровнях урожайности, в том числе зерновых сельскохозяйственных культур, является основой прогнозирования, управления и оптимизации аграрного производства. Для решения перечисленных подзадач аграрного производства и их информационного обеспечения разрабатывают реляционные БД, обеспечивающие проведение математико-статистического анализа и моделирование изменений урожайности. **Методы исследований.** Обосновано сохранение данных в формате *.csv, представляющем собой текстовый формат для представления табличных данных, обеспечивающий углубленную обработку, анализ и визуализацию с использованием специализированных библиотек экосреды Python. Для формирования БД многолетних ретроспективных ВРУ зерновых культур и ее использования для математического моделирования рекомендована реляционная структура, включающая совокупность векторных показателей (сельхозкультуры, почвы, температуры, осадки и др.), объединяемых по ключевым полям. Использование формата данных *.csv способствует упрощению и, соответственно, ускорению анализа и математического моделирования ВРУ. Выявление внутренних закономерностей межгодовых изменений уровней урожайностей позволяет более обоснованно разрабатывать систему их нейросетевого моделирования и прогнозирования. **Результаты и обсуждение.** Разрабатываемые аграрно ориентированные БД для оптимизации на основе ретроспективных данных, параметров сельскохозяйственного производства в засушливых условиях, должны включать инфологические модули, учитывающие виды и временные характеристики сохраняемых данных. Обоснована структура реляционных таблиц для хранения многолетних обобщенных и динамически меняющихся данных, характеризующих сельскохозяйственное производство. Разработанная БД обеспечивает проведение анализа и прогнозирования показателей аграрного производства с использованием искусственных нейронных сетей (ИНС). **Выводы.** Для формирования БД многолетних ретроспективных ВРУ зерновых и ее применения для исследовательского математического моделирования обоснована многотабличная реляционная база, включающая совокупность векторных показателей (сельхозкультуры, типы почв, подекадные температуры и уровни осадков и другие показатели), объединяемых по соответствующим ключевым показателям. Обоснована целесообразность хранения информации БД в текстовом формате Comma-Separated Values, представ-

ляющем собой универсальный формат для представления различных данных с целью последующего анализа и математического моделирования ВРУ. Выявление закономерностей межгодовых вариаций показателей урожайностей позволяет разрабатывать интеллектуальные системы нейросетевого моделирования с предобработкой данных для прогнозирования. Разрабатываемые специализированные БД, ориентированные для оптимизации управления аграрным производством в засушливых условиях на основе ретроспективных данных, включая параметры сельскохозяйственного производства, должны включать инфологические модули, учитывающие виды и временные характеристики сохраняемых данных.

Ключевые слова: урожайность зерновых культур, прогнозирование урожайности зерновых культур, нейросетевое прогнозирование, математическое моделирование рядов урожайности.

Цитирование. Рогачев А. Ф. Формирование и анализ многолетних рядов урожайности зерновых для нейросетевого прогнозирования и обоснования агротехнологических мероприятий. *Известия НВ АУК*. 2021. 1(61). 347-356. DOI: 10.32786/2071-9485-2021-01-33.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Ретроспективная информация годовых уровней урожайности зерновых является основополагающей для прогнозирования и оптимизации аграрного производства, а также обоснования агротехнологических мероприятий [0, 8, 10, 18]. Для информационно-аналитической поддержки решения упомянутых задач используют базы предметно-ориентированных ретроспективных данных, позволяющие осуществлять моделирование и компьютерный анализ многолетних временных рядов урожайности (ВРУ). Исследования в области прогнозирования динамики продуктивности различных групп сельскохозяйственных культур представлены в работах отечественных ученых А. Герасимова, В. Перепелицы, Е. Поповой, Ф. Тебуевой, Л. Темировой, а также зарубежных В. Shulika, A. Porvan, O. Vysotska, A. Nekos, A. Zhemerov [9, 13, 15]. Теоретическим основам и прикладным аспектам создания специализированных отраслевых БД посвящены публикации А. Гагарина, Г. Гореловой, И. Егоровой, А. Павловой, В. Калочкина и др. [5, 6].

Отдельные аспекты создания и исследования компьютеризированной информационной поддержки управленческих решений в сельскохозяйственном производстве на основе информационно-аналитических системах (ИАС), включающих специализированные БД, приведены в публикациях А. Аксенова, А. Алтыбаева, А. Герасимова, Т. Башкатовой, И. Юрченко [7, 12, 15, 16]. Представляют методический интерес результаты работы, выполненной в исследовательском центре IBM (США), где апробировано использование совместно ретроспективных данных урожайности и результатов космической съемки для обучения искусственных нейронных сетей (ИНС), однако опубликованные результаты относятся к условиям Северной Америки [19]. Учет закономерностей межгодовых вариаций уровней ВРУ, преимущественно для сухостепных условий недостаточного увлажнения, обеспечит разработку систем нейросетевого прогнозирования ВРУ с учетом сложившихся природно-климатических и агротехнологических условий. Опубликованные ранее исследования в области оросительных мероприятий показывают, что остаются не в полной мере изучены прикладные аспекты выбора режимов и параметров ресурсосберегающих способов орошения сельскохозяйственных культур, особенно в острозасушливых условиях Нижнего Поволжья.

Материалы и методы Построение агро-ориентированных БД основано на системном подходе и базируется на совокупности специфических информационных методах – автокорреляционном анализе агротехнологических ВРУ, инфологическом проектировании, технологиях искусственных нейронных сетей [3, 4, 7]. Разработка онтоло-

гии и структуры реляционной БД осуществлялось с учетом ее отраслевого назначения – математического моделирования и оптимизации аграрного производства [5, 14].

Учет природных условий Волгоградской области обеспечивался по данным Агроклиматического справочника (Л.: Гидрометеиздат). Ретроспективные данные ВРУ, на примере зерновых в целом, отбирались по данным ФСГС по ВО (Волгоградстат) [3, 10, 12]. Хранимые многолетние метеорологические данные за период 1988-2015 гг. брались по данным метеостанции Волгоградского ГАУ (Государственная регистрация БД № 2017620719). Предварительно данные сохранялись в формате Excel. Для последующей математико-статистической обработки с использованием алгоритмов компьютерных библиотек Numpy и Matplotlib, входящих в Python, в которой [11] конвертировались в csv-формат, удобный для обработки с применением искусственных нейронных сетей (ИНС). Статистический анализ ВРУ реализовывался с использованием встроенных средств визуализации компьютерной библиотеки Seaborn в среде Python.

Результаты и обсуждение. Совокупность природно-климатических показателей, определяющих продуктивность земель с.-х. назначения в засушливых условиях Волгоградской области, приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Биоклиматическая продуктивность почв и урожайность зерновых по природным зонам

Table 1 – Bioclimatic soil productivity and grain yield by natural zones

Природная зона/почва / Natural area/soil	Коэффициент биоклиматической продуктивности / Coefficient of bioclimatic productivity	Урожайность с.-х. культуры, т/га / Yield of agricultural crops, t / ha			
		Озимая пшеница / Winter wheat	Яровая пшеница / Spring wheat	Ячмень / Barley	Кукуруза / corn
Степная, черноземные почвы / Steppe, chernozem soils	1.24	4.21	2.17	2.57	4.0
Сухостепная, тёмно-каштановые / Dry-steppe, dark chestnut	1.08	3.60	1.65	2.20	3.50
Сухостепная, каштановые почвы Правобережье / Dry-steppe, chestnut soils on the Right Bank	1.03	3.11	1.45	2.11	3.00
Сухостепная, каштановые почвы Левобережье / Dry-steppe, chestnut soils of the Left Bank	0.93	2.53	1.40	2.01	-
Полупустынные, светло-каштановые почвы / Semi-arid, light chestnut soils	0.90	2.30	-	1.31	-

Приведенные данные, наряду с ретроспективными, также должны учитываться при проектировании структуры БД для последующего анализа и прогнозирования посредством ИНС.

При проектировании ИНС для осуществления анализа и прогнозирования следует предусматривать использование нескольких входов для информационных блоков, различающихся временными характеристиками [17]. Таким образом, создаваемая БД, ориентированная на последующее использование нейросетевых технологий в аграрном производстве, должна структурно предусматривать ряд информационных входов, раз-

личающихся по видам и источникам хранимых данных.

Приведенные далее гидрометеорологические данные за 27 лет (рисунки 1-2) подтверждают насущную необходимость использования водных видов мелиораций в острозасушливых условиях Нижнего Поволжья для получения устойчивых к погодным условиям урожаев, включая Волгоградскую область.

Исходя из длительности критического для посевов гидротермического периода, информация БД позволяет предварительно оценивать значения величины оросительных норм для совокупности возделываемых культур и продолжительность периодов превышения температур, являющихся биологически оптимальными для возделываемых культур.

Рисунок 1– Сумма ежегодных температур по месяцам вегетационного периода

Figure 1 – The sum of annual temperatures by month of the growing season

Динамические ряды, приведенные на рисунке 2, сформированы путем обработки данных таблиц значений температур за вегетационный период, также сохраняемых в общей БД. Анализ динамики многолетних температур за вегетационный период выявил, что минимальные совокупные значения температур во второй половине апреля составляли 115 °С, максимальные достигали 280 °С. Наиболее обеспеченными солнечной радиацией месяцами являются июль – август: суммарные температуры накапливают 600- 880 °С.

Значения уровней ВРУ зерновых культур в целом, на примере региона Волгоградской области, представлены на рисунке 4.

Данные ВРУ характеризуются значительным разбросом значений относительно тренда, аппроксимируемого линейной функцией, значение коэффициента вариации превосходит 0,3.

Рисунок 2 – Ежегодное среднее значение влажности за вегетационный период с 15 апреля по 31 сентября

Figure 2 – Annual average humidity for the growing season from April 15 to September 31

Для сохранения и формирования БД был принят формат данных «*.csv», который позволяет использовать распространенные файлы MS Excel, удобно редактируемые посредством универсальных текстовых редакторов. Это упрощает загрузку данных БД в компьютерную среду Python, характеризующуюся расширенным аппаратом математико-статистических библиотек, например, Pandas.

Рисунок 3 – Линейная аппроксимация значений урожайности зерновых культур в условиях Волгоградской области, ц/га

Figure 3 – Linear approximation of grain yield values in the conditions of the Volgograd region, c/ha

Обзорный статистический анализ уровней ВРУ за годы исследований, сгруппированных по приведенным годичным интервалам за период 1950...2018 гг. и выполненный в Python с использованием библиотеки Seaborn, представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты обзорного статистического анализа ВРУ зерновых культур в целом

Table 2 – Results of the overview statistical analysis of the GRU of grain crops in general

Показатель / Indicator	Значение / Value
Объем выборки / Sample size	69
Среднее значение, ц/га / Average value, c/ha	12,8
Среднеквадратическое отклонение / Standard deviation	5,76
Min	3,60
Max	26,9
Процентиль 25% / Percentile 25%	8,20
Процентиль 50% / Percentile 50 %	13,1
Процентиль 75% / Percentile 75%	17,2

Можно отметить, что значение 50 %-го перцентиля урожайности (13,1 т/га) превосходит среднее ее значения (12,8 т/га), при этом коэффициент вариации достигает 45 %.

Представление значений уровней урожайности, анализируемых за почти 70-летний период и сгруппированных по годовым интервалам, позволяет более наглядно оценить их изменчивость (рисунок 4).

Рисунок 4 – Статистические группировки уровней урожайности зерновых культур

Figure 4 – Statistical groupings of grain yield levels

Графоаналитический анализ интервальных значений разброса уровней ВРУ демонстрирует наибольшую их изменчивость в период 1967...1984 гг., при некотором уменьшении разброса в последние годы, несмотря на имеющиеся выбросы за диапазон $\pm 3\sigma$ (рис. 2).

Более наглядно закономерности вариации ВРУ могут быть представлены на двумерной диаграмме их парных взаимовлияний, где возможно выявить перекрытие кривых анализируемых урожайностей по приведенным годовым группам. Это предполагает применение более «тонкого» инструментария для исследования их внутренних закономерностей.

В стрессовые по гидротермическому обеспечению периоды вегетации необходимо применять технологические приемы для управления фитоклиматом растений, например МДД [2], особенно в засушливые периоды с недостаточным объемом атмосферных осадков. В таких условиях, характерных для Волгоградского региона, оптимизация режимов и параметров орошения на основе статистического моделирования процессов увлажнения, в том числе с использованием специализированных БД, остается актуальной.

Выводы. Для формирования БД многолетних ретроспективных ВРУ зерновых, ориентированная на математическое моделирование, обоснована реляционная много-табличная структура, включающая совокупность векторных показателей (сельхозкультуры, типы почвы, динамические ряды температур и осадков и др.), объединяемых по ключевым показателям.

Обосновано применение формата *.csv (*Comma-Separated Values*), представляющего собой текстовый формат для хранения данных, с целью последующего анализа и математического моделирования ВРУ. Выявление закономерностей межгодовых вариаций урожайностей позволит более обосновано разрабатывать структуру и гиперпараметры системы для нейросетевого прогнозирования их уровней.

Разрабатываемые агро-ориентированные БД для оптимизации, на основе ретроспективных данных, параметров сельскохозяйственного производства в засушливых условиях, должны включать инфологические модули, учитывающие виды и временные характеристики сохраняемых данных.

Библиографический список

1. Аксенов А. Г. Анализ интеллектуальных систем поддержки принятия решений в сельском хозяйстве // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2019. № 3 (36). С. 46-51.
2. Алтыбаев А. Н. К формированию онтологии информационной системы для поддержки принятия инженерно-технологических решений в агробизнесе // Инновации в сельском хозяйстве. 2016. № 1 (16). С. 298-303.
3. Гагарин А. Г., Рогачев А. Ф. Применение искусственных нейронных сетей для прогнозирования урожайности на основе анализа кросс-региональных данных // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2018. № 2. С. 339-346.
4. Герасимов А. Н., Григорьева О. П., Скрипниченко Ю. С. Статистическая оценка результатов импортозамещения сельскохозяйственной продукции в регионе // Вестник Алтайской академии экономики и права. 2019. № 9-2. С. 16-23.
5. Герасимов А. Н., Башкатова Т. А. Информационно-аналитический инструментарий обоснования управленческих решений в экономике традиционно аграрного региона // Вестник АПК Ставрополя. 2016. № (4) 20/1. С. 8-12.
6. Глазунов Г. П., Афонченко Н. В., Санжаров А. И. Структура базы данных природно-ресурсного потенциала агроландшафтов // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2017. № 8. С. 6-11.
7. Ильиных А. Л. Разработка базы данных автоматизированной информационной системы мониторинга земель сельскохозяйственного назначения // Гео-Сибирь. 2011. Т. 3. № 2. С. 124-129.
8. Машины и оборудование для транспортирования грузов сельскохозяйственной и перерабатывающей промышленности (обзор, теория, расчет) / А. И. Бойко [и др.]. Рязань: Рязанский ГАУ, 2019. 228 с.
9. Мелихова Е. В. Моделирование и обоснование ресурсосберегающих параметров капельного орошения при возделывании корнеплодов: монография. Волгоград: ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ, 2017. 112 с.
10. Николаенко А. Н., Кавокин А. А. Концепция разработки информационно-аналитической системы "Мелиорация" // Природообустройство. 2019. № 3. С. 6

11. Проектирование базы данных системы моделей оптимального планирования сельскохозяйственного производства / В. И. Векленко [и др.] // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2013. № 1. С. 33-36.

12. Рогачев А. Ф. Системный анализ и прогнозирование временных рядов урожайности на основе автокорреляционных функций и нейросетевых технологий // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2018. № 3 (51). С. 309-316.

13. Симонова И.Э., Симонов А.Б., Тарасова И.А., Мишта В.П. Применение статистических методов к задачам управления региональными предприятиями / И. Э. Симонова [и др.] // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2017. № 14 (209). С. 54-59.

14. Федякова Н. Н. Использование современных информационных и ресурсосберегающих технологий в АПК региона // Регионология. 2017. Т. 25. № 2 (99). С. 187-199.

15. Akhmedov A. D., Borovoy E. P., Khodiakov E. A. Water-saving technologies for vegetables in the south of Russia // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. The proceedings of the conference AgroCON-2019. 2019. P. 012105.

16. Control over grape yield in the north-eastern region of ukraine using mathematical modeling / B. Shulika [et al.] // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2017. V. 2/3 (86). Pp. 51-59.

17. Estimation of condition of cultivated pastures under remote sensing of earth / V. I. Trukhachev [et al.] // Engineering for Rural Development Proceedings. 2019. P. 442-449.

18. Rogachev A. F., Melikhova E. V., Shokhnekh A. V. Monitoring and economic & mathematical modeling of manufacture and consumption of agricultural products as a tool of food security management // Espacios. 2018. V. 39. № 1. P. 1.

19. Russello H. Convolutional neural networks for crop yield prediction using satellite images. IBM Center for Advanced Studies. 2018. <https://esc.fnwi.uva.nl/thesis/centraal/files/f1570224447.pdf>.

Conclusions. For the formation of a database of long-term retrospective TSY of cereals, focused on mathematical modeling, a relational multi-table structure is justified, including a set of vector indicators (crops, soil types, dynamic series of temperatures and precipitation, etc.), combined by key indicators.

The use of the *.csv (Comma-Separated Values) format, which is a text format for storing data, for the purpose of subsequent analysis and mathematical modeling of the TSY, is justified. The identification of patterns of interannual variations in yields will allow us to more reasonably develop the structure and hyperparameters of the system for neural network forecasting of their levels.

The developed agro-oriented databases for optimization, based on retrospective data, of agricultural production parameters in arid conditions, should include infological modules that take into account the types and time characteristics of the stored data.

References

1. Aksenov A. G. Analiz intellektual'nyh sistem podderzhki prinyatiya reshenij v sel'skom hozyajstve // Jeletrotehnologii i jelektrooborudovanie v APK. 2019. № 3 (36). P. 46-51.

2. Altybaev A. N. K formirovaniyu ontologii informacionnoj sistemy dlya podderzhki prinyatiya inzhenerno-tehnologicheskikh reshenij v agrobiznese // Innovacii v sel'skom hozyajstve. 2016. № 1 (16). P. 298-303.

3. Gagarin A. G., Rogachev A. F. Primenenie iskusstvennyh nejronnyh setej dlya prognozirovaniya urozhajnosti na osnove analiza kross-regional'nyh dannyh // Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professional'noe obrazovanie. 2018. № 2. P. 339-346.

4. Gerasimov A. N., Grigor'eva O. P., Skripnichenko Yu. S. Statisticheskaya ocenka rezul'tatov importozamescheniya sel'skohozyajstvennoj produkcii v regione // Vestnik Altajskoj akademii jekonomiki i prava. 2019. № 9-2. P. 16-23.

5. Gerasimov A. N., Bashkatova T. A. Informacionno-analiticheskij instrumentarij obosnovaniya upravlencheskih reshenij v jekonomike tradicionno agrarnogo regiona // Vestnik APK Stavropol'ya. 2016. № (4) 20/1. P. 8-12.
6. Glazunov G. P., Afonchenko N. V., Sanzharov A. I. Struktura bazy dannyh pri-rodno-resursnogo potenciala agrolandshaftov // Vestnik Kurskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii. 2017. № 8. P. 6-11.
7. Il'inyh A. L. Razrabotka bazy dannyh avtomatizirovannoj informacionnoj sistemy monitoringa zemel' sel'skohozyajstvennogo naznacheniya // Geo-Sibir'. 2011. T. 3. № 2. P. 124-129.
8. Mashiny i oborudovanie dlya transportirovaniya грузов sel'skohozyajstvennoj i pererabatyvayushej promyshlennosti (obzor, teoriya, raschet) / A. I. Bojko [i dr.]. Ryazan': Ryazanskij GAU, 2019. 228 p.
9. Melihova E. V. Modelirovanie i obosnovanie resursosberegayuschih parametrov kapel'nogo orosheniya pri vozdeleyvanii korneplodov: monografiya. Volgograd: FGBOU VO Volgogradskij GAU, 2017. 112 p.
10. Nikolaenko A. N., Kavokin A. A. Koncepciya razrabotki informacionno-analiticheskoy sistemy "Melioraciya" // Prirodoobustrojstvo. 2019. № 3. P. 6
11. Proektirovanie bazy dannyh sistemy modelej optimal'nogo planirovaniya sel'skohozyajstvennogo proizvodstva / V. I. Veklenko [i dr.] // Vestnik Kurskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii. 2013. № 1. P. 33-36.
12. Rogachev A. F. Sistemnyj analiz i prognozirovanie vremennyh ryadov urozhajnosti na osnove avtokorrelyacionnyh funkcij i nejrosetevyh tehnologij // Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professional'noe obrazovanie. 2018. № 3 (51). P. 309-316.
13. Simonova I. Je., Simonov A. B., Tarasova I. A., Mishta V. P. Primenenie statisticheskikh metodov k zadacham upravleniya regional'nymi predpriyatiyami / I. Je. Simonova [i dr.] // Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta. 2017. № 14 (209). P. 54-59.
14. Fedyakova N. N. Ispolzovanie sovremennyh informacionnyh i resursosberegayuschih tehnologij v APK regiona // Regionologiya. 2017. T. 25. № 2 (99). P. 187-199.
15. Akhmedov A. D., Borovoy E. P., Khodiakov E. A. Water-saving technologies for vegetables in the south of Russia // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. The proceedings of the conference AgroCON-2019. 2019. P. 012105.
16. Control over grape yield in the north-eastern region of ukraine using mathematical modeling / B. Shulika [et al.] // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2017. V. 2/3 (86). Pp. 51-59.
17. Estimation of condition of cultivated pastures under remote sensing of earth / V. I. Trukhachev [et al.] // Engineering for Rural Development Proceedings. 2019. P. 442-449.
18. Rogachev A. F., Melikhova E. V., Shokhnekh A. V. Monitoring and economic & mathematical modeling of manufacture and consumption of agricultural products as a tool of food security management // Espacios. 2018. V. 39. № 1. P. 1.
19. Russello H. Convolutional neural networks for crop yield prediction using satellite images. IBM Center for Advanced Studies. 2018. <https://esc.fnwi.uva.nl/thesis/centraal/files/f1570224447.pdf>.

Information about the author

Alexey F. Rogachev, Professor, Department of Mathematical Modeling and Informatics, Volgograd State Agrarian University (26 Universitetskij Ave., Volgograd, 400002, Russian Federation), Doctor of Technical Sciences, Professor <https://orcid.org/0000-0001-6483-6091>, rafr@mail.ru

Информация об авторе

Рогачев Алексей Фруминович, профессор кафедры «Математическое моделирование и информатика» Волгоградского государственного аграрного университета (РФ, 400002, г. Волгоград, пр-т Университетский, д. 26), доктор технических наук, профессор <https://orcid.org/0000-0001-6483-6091>, rafr@mail.ru