



Столыпинский  
вестник

Научная статья

Original article

УДК 631

**УРОЖАЙНОСТЬ КОРМОВЫХ КУЛЬТУР, СПОСОБЫ АНАЛИЗА  
И АВТОМАТИЗАЦИИ В СОВРЕМЕННОМ МИРЕ**

**YIELD OF FORAGE CROPS, METHODS OF ANALYSIS AND  
AUTOMATION IN THE MODERN WORLD**

**Алехина Евгения Андреевна**, Студент 3 курс, факультет Экономики и управления АПК, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева, Россия, Г. Москва

**Alekhina Evgenia Andreevna**, 3rd year student, Faculty of Economics and Management of the Agroindustrial Complex, Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy named after K. A. Timiryazev, Russia, Moscow

**Аннотация.** В статье анализируются современные способы анализа и автоматизации урожайности кормовых культур. Рассматриваются понятие, разновидности и методы расчёта реальной и потенциальной урожайности. Приводятся схемы и формулы дисперсионного и корреляционно-регрессионного анализа при анализе урожайности, отмечается специфика применения многокритериального анализа в агрономии. Выявляются приёмы

автоматизации анализа урожайности и технологии математического моделирования агрономических систем.

**Annotation.** The article analyzes modern methods of analyzing and automating the yield of fodder crops. The concept, varieties and methods for calculating real and potential yields are considered. Schemes and formulas of variance and correlation-regression analysis in the analysis of productivity are given, the specifics of the application of multi-criteria analysis in agronomy are noted. Techniques for automation of yield analysis and technologies for mathematical modeling of agronomic systems are revealed.

**Ключевые слова:** кормовые культуры, урожайность, анализ, автоматизация, моделирование.

**Key words:** fodder crops, productivity, analysis, automation, modeling.

Животноводство является одной из важнейших отраслей экономики, поскольку обеспечивает продовольственную безопасность страны [1]. Ключевую роль в животноводческом производстве играет кормовая база, объём обеспеченности которой животноводческих хозяйств напрямую зависит от урожайности кормовых культур. Различные кормовые культуры имеют разную урожайность, а также состав питательных веществ и себестоимость, что актуализирует проблему подбора культур с относительно высокой урожайностью, способных обеспечить животных качественным кормом [2]. Оптимизировать анализ и прогнозирование урожайности культур можно при помощи современных методов агрономических исследований, рассмотрение которых обуславливает новизну исследования.

Целью работы является изучение современных способов анализа и автоматизации урожайности кормовых культур. Для её достижения были использованы аналитический, синтетический, индуктивный и дедуктивный методы обработки тематических исследований, научных публикаций и релевантных литературных источников.

Урожайность культуры определяется как выход ценных с точки зрения хозяйства частей растения с единицы площади [3]. Различают бункерную урожайность, учитывающуюся при уборке культуры без поправки на чистоту и влажность продукции, и амбарную, которая приводится к 100 % чистоте и стандартной влажности для сопоставления полученных данных без привязки к пространству и времени. Учёт урожайности кормовых культур проводится сплошным методом при ручном или механизированном скашивании, при этом проводится пересчёт на засорённость и перевод урожайности основной культуры на сухое вещество. Учёт урожайности высокорослых кормовых пропашных культур осуществляется поделочно, путём ручного срезания каждого растения.

Первичная обработка исходной информации включает перерасчёт бункерной урожайности с собранных килограммов на делянку в т/га по формуле:

$$X = \frac{A \times 10000}{S},$$

где  $A$  – урожайность с делянки, кг;  $X$  – бункерная урожайность, т/га;  $S$  – фактическая площадь делянки, м<sup>2</sup>.

Далее бункерная урожайность приводится к стандартной влажности и 100 % чистоте по формуле:

$$Y = \frac{X(100 - B)(100 - C)}{100 - W},$$

где  $X$  – бункерная урожайность, т/га;  $Y$  – амбарная урожайность, т/га;  $C$  – отход, %;  $W$  – стандартная влажность продукции, %;  $B$  – фактическая влажность продукции, %.

При планировании производства кормовых культур необходимо определить их потенциальную урожайность в зоне предполагаемой посадки [4]. Для этого анализируются параметры природного потенциала региона, такие как количество осадков, качество почв, длительность вегетационного периода и другие.

Для расчёта потенциальной урожайности рассматриваются суммарный приход фотосинтетически активной радиации и коэффициент её использования посевами [5]. Потенциальный урожай определяется по формуле:

$$Y_{\text{биол}} = 10^4 \frac{\sum Q \times \text{КПД ФАР}}{q},$$

где  $Y_{\text{биол}}$  – потенциальный урожай сухой фитомассы, ц/га;  $\sum Q$  – суммарный приход ФАР от посева до уборки культуры, кДж/см<sup>2</sup>; КПД ФАР – коэффициент использования фотосинтетически активной радиации посевами, %;  $q$  – теплотворная способность единицы урожая целого растения, кДж/кг.

Для анализа урожайности используются методы математической статистики, основными из которых являются дисперсионный и корреляционно-регрессионный анализ.

Дисперсионный анализ позволяет определить долю общей вариации изучаемого признака, обусловленную влиянием на него регулируемых и нерегулируемых в опыте факторов [6]. Схема дисперсионного анализа однофакторного полевого эксперимента, варианты которого размещены методом организованных повторений, имеет следующий вид:

Суммы квадратов:  $СК_0 = СК_п + СК_в + СК_{ост}$ .

Степени свободы:  $N - 1 = (n - 1) + (v - 1) + (n - 1)(v - 1)$ .

Дисперсия: средний квадрат вариантов  $S_v^2 = \frac{СК_в}{v - 1}$ ; остатка  $S_e^2 = \frac{СК_{ост}}{(n - 1)(v - 1)}$ .

Здесь  $n$  – количество повторений;  $N - 1$  – общее количество степеней свободы;  $n - 1$  – количество степеней свободы повторений;  $v - 1$  – количество степеней свободы вариантов;  $(n - 1)(v - 1)$  – остаточное количество степеней свободы.

Оценка значимости действия исследуемых факторов проводится по критерию Фишера  $F$ . Рассчитываемый  $F_{\text{факт}} = \frac{S_v^2}{S_e^2}$  сравнивается с табличным значением  $F_{\text{табл}}$  при заданном уровне значимости. При  $F_{\text{факт}} < F_{\text{табл}}$  принимается нулевая гипотеза, при  $F_{\text{факт}} \geq F_{\text{табл}}$  нулевая гипотеза отвергается. Во втором

случае дополнительно оценивается существенность многоранговых критериев и определяются средние, между которыми есть значимые различия.

Корреляционный анализ позволяет определить характер связи между сопряжёнными признаками, удостовериться в статистической достоверности обнаруженного количественного значения связи и установить корреляционное отношение между признаками для дальнейшего проведения регрессионного анализа [7]. Для проверки статистической значимости коэффициента корреляции рассчитывается эмпирическое значение t-критерия Стьюдента. Для малых выборок  $n < 100$  расчёт осуществляется по формуле:

$$t_{\text{набл}} = \frac{|r| \times \sqrt{n - 2}}{\sqrt{1 - r^2}}.$$

При  $n > 100$  используется формула:

$$t_{\text{набл}} = \frac{|r| \times \sqrt{n}}{1 - r^2}.$$

Наблюдаемое значение t-критерия сравнивается с критическим, рассчитываемым по таблицам. Если  $t_{\text{набл}} > t_{\text{крит}}$ , то нулевая гипотеза о том, что в генеральной совокупности коэффициент корреляции между рассматриваемыми признаками равен нулю, отвергается, и  $r$  считается статистически значимым при принятом уровне значимости.

При большом количестве наблюдений, когда коэффициенты корреляции требуется последовательно вычислять для нескольких выборок, используется многокритериальный анализ [8]. Обычно при его проведении все критерии формулируют на минимум для удобства поиска множества Парето, однако в агрономии на минимум априори сформулировано только количество болезней, вредителей и сорняков, тогда как содержание гумуса в почве, урожайность и многие другие критерии сформулированы на максимум. Апостериори все критерии, априори сформулированные на максимум, необходимо сформулировать на минимум. Исключение составляет урожайность, которую целесообразно формулировать на максимум.

Все собранные для анализа урожайности данные, такие как влажность почв в процентном выражении от объёма, сумма активных температур воздуха, сумма осадков за вегетационный период, гидротермический коэффициент увлажнения Селянинова и другие, подвергаются факторному анализу [9]. Для автоматизации анализа может использоваться описательный пакет STATISTICA, позволяющий вычислить практически все описательные статистики общего характера и многие специальные описательные статистики.

Несмотря на наличие программ и приёмов автоматизации обработки результатов агрономических исследований, их распространение невелико, что обусловлено значительной сложностью агрономических и биологических систем по сравнению с техническими [10]. Это делает перспективным разработку и исследование математических моделей этих систем.

К примеру, на основе исходных данных о суммарном количестве осадков за месяц, среднемесячной температуре воздуха и урожайности кормовой культуры можно построить адаптивную нечётко-логическую модель описания урожайности, учитывающую изменение природных факторов [11]. Модель рассчитывает варианты и средние возможные значения урожайности культуры на следующий сельскохозяйственный год. При низких расчётных значениях урожайности проводятся дополнительные исследования с целью выявления вероятных погодных аномалий на основе аналогичного года из прошлых лет, после чего разрабатываются рекомендации по принятию агротехнических мер для минимизации риска ущерба производства кормовых культур.

Также для прогнозирования урожайности культур используются технологии построения искусственных нейронных сетей [12]. Нейросети на основе репрезентативных выборок временных рядов многолетних уровней урожайности автоматически воспроизводят их структуру и внутренние закономерности с учётом структуры и специфики, что позволяет эффективно решить задачи прогнозирования урожайности.

Таким образом, современные методы агрономических исследований позволяют прогнозировать урожайность кормовых культур при помощи математических моделей её зависимости от ландшафтных и климатических условий. Переноса результаты моделирования в условия реального хозяйства, можно составлять прогнозные карты для конкретных агрометеобстановок, которые при совмещении с нейросетевой обработкой дают возможность с высокой точностью прогнозировать урожайность кормовых культур с учётом её вариативности во времени.

### Список литературы

1. Акимов С.С., Болодурина И.П. Оценка эффективности кормового производства на основе факторов посева и предпосевной подготовки // Современные наукоёмкие технологии. – 2022. – № 7. – С. 9-13.
2. Лень В.С., Гливенко В.В. Анализ методик экономической оценки кормовых культур // Российское предпринимательство. – 2018. – Т. 19, № 1. – С. 53-66. – DOI: 10.18334/rp.19.1.38758
3. Елисеев С.Л. Научные исследования в агрономии: учеб. пособие для выполнения научно-исследовательской деятельности аспирантов / С.Л. Елисеев; Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Пермский аграрно-технологический университет имени академика Д.Н. Прянишникова». – Пермь: ИПЦ «Прокрость», 2020 – 178 с.
4. Алексанов Д.С. Управление проектами в АПК: учеб. для вузов / Д.С. Алексанов, В.М. Кошелев, Н.В. Чекмарева. – М.: Изд-во Юрайт, 2022. – 193 с.
5. Усанова З.И. Методика выполнения научных исследований и курсовой работы по растениеводству: учеб. пособие. – 3-е изд., перераб. и доп. – Тверь: Тверская ГСХА, 2017 – 393 с.

6. Усманов Р.Р. Методика экспериментальных исследований в агрономии: учеб. пособие для вузов / Р.Р. Усманов. – М.: Изд-во Юрайт, 2022. – 197 с.
7. Никифорова Ю.Ю. Статистические методы в экологии и природопользовании: учеб. пособие / Ю.Ю. Никифорова; под. общ. ред. И.С. Белюченко. – Краснодар: КубГАУ, 2019. – 88 с.
8. Савченко А.Н. Многокритериальный анализ данных полевых опытов // Агротехника. – 2019. – № 1. – С. 78-85. – DOI: 10.1134/S0002188119010083
9. Иванов Д.А., Карасева О.В., Рублюк М.В. Изучение динамики продуктивности трав на основе данных многолетнего мониторинга // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2021. – № 22 (1). – С. 76-84. – DOI: 10.30766/2072-9081.2021.22.1.76-84
10. Польшакова Н.В., Александрова Е.В., Волобуева Т.А. Автоматизация обработки экспериментальных данных в агрономических исследованиях // Вестник аграрной науки. – 2022. – № 4 (97). – С. 129-137. – DOI: 10.17238/issn2587-666X.2022.4.129
11. Бисчоков Р.М., Ахматов М.М. Анализ и прогноз урожайности сельскохозяйственных культур методами нечёткой логики // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2021. – № 168. – С. 274-287. – DOI: 10.21515/1990-4665-168-020
12. Рогачев А.Ф., Мелихова Е.В. Адаптация алгоритмов и обоснование инструментария для нейросетевого прогнозирования урожайности агрокультур с использованием ретроспективных данных // Известия НВ АУК. – 2020. – № 1(57). – С. 290-302. – DOI: 10.32786/2071-94852020-01-29

#### **List of literature**



1. Akimov S.S., Bolodurina I.P. Evaluation of the efficiency of feed production based on factors of sowing and pre-sowing preparation // Modern high-tech technologies. – 2022. – No. 7. – pp. 9-13.
2. Laziness V.S., Glivenko V.V. Analysis of methods of economic assessment of fodder crops // Russian entrepreneurship. – 2018. – Vol. 19, No. 1. – pp. 53-66. – DOI: 10.18334/rp.19.1.38758
3. Eliseev S.L. Scientific research in agronomy: textbook. manual for the performance of research activities of graduate students / S.L. Eliseev; Ministry of Agriculture of the Russian Federation, Federal state Budgetary Educational Institution of Higher Education "Perm Agrarian and Technological University named after Academician D.N. Pryanishnikov". – Perm: CPI "Prokrost", 2020 – 178 p
4. Aleksanov D.S. Project management in the agro-industrial complex: textbook. for universities / D.S. Aleksanov, V.M. Koshelev, N.V. Chekmareva. – M.: Yurayt Publishing House, 2022. – 193 p.
5. Usanova Z.I. Methodology of scientific research and course work on crop production: studies. manual. – 3rd ed., reprint. and additional – Tver: Tver State Agricultural Academy, 2017 – 393 p.
6. Usmanov R.R. Methods of experimental research in agronomy: textbook. handbook for universities / R.R. Usmanov. – M.: Yurayt Publishing House, 2022. – 197 p.
7. Nikiforenko Yu.Yu. Statistical methods in ecology and nature management: textbook. manual / Yu.Yu. Nikiforenko; under. general ed. by I.S. Belyuchenko. – Krasnodar: KubGAU, 2019. – 88 p.
8. Savchenko A.N. Multicriteria analysis of field experiment data // Agrochemistry. – 2019. – No. 1. – pp. 78-85. – DOI: 10.1134/S0002188119010083
9. Ivanov D.A., Karaseva O.V., Rublyuk M.V. Studying the dynamics of grass productivity based on long-term monitoring data // Agrarian science of the

Euro-North-East. – 2021. – № 22 (1). – Pp. 76-84. – DOI: 10.30766/2072-9081.2021.22.1.76-84

10. Polshakova N.V., Alexandrova E.V., Volobueva T.A. Automation of experimental data processing in agronomic research // Bulletin of Agrarian Science. – 2022. – № 4 (97). – Pp. 129-137. – DOI: 10.17238/issn2587-666X.2022.4.129
11. Bischokov R.M., Akhmatov M.M. Analysis and forecast of crop yields by fuzzy logic methods // Polythematic network electronic scientific journal of Kuban State Agrarian University. – 2021. – No. 168. – pp. 274-287. – DOI: 10.21515/1990-4665-168-020
12. Rogachev A.F., Melikhova E.V. Adaptation of algorithms and justification of tools for neural network forecasting of agricultural yields using retrospective data // Izvestiya NV AUK. – 2020. – № 1(57). – Pp. 290-302. – DOI: 10.32786/2071-94852020-01-29

© *Алехина Е.А., 2022 Научный сетевой журнал «СтолЫпинский вестник»*  
*№8/2022*

**Для цитирования:** Алехина Е.А. УРОЖАЙНОСТЬ КОРМОВЫХ КУЛЬТУР, СПОСОБЫ АНАЛИЗА И АВТОМАТИЗАЦИИ В СОВРЕМЕННОМ МИРЕ // Научный сетевой журнал «СтолЫпинский вестник» №8/2022