

Прогнозирование темпа роста населения и производства пшеницы в Пакистане с использованием нелинейной ARIMA-модели

Мухаммад Ислам¹, Фаррух Шехзад², Самрат Рэй³, Мирза Васим Аббас¹

¹ Служба отчетности по урожаю, Пенджаб, 58180, Пакистан

² Исламский университет Бахавалпура, Бахавалпур, 63350, Пакистан

³ ИИМС, Пуна, 411001, Индия

Получено 4 February 2023 ♦ Принято в печать 26 March 2023 ♦ Опубликовано 18 December 2023

Цитирование: Muhammad Islam, Farrukh Shehzad, Samrat Ray, Mirza Waseem Abbas (2023) Forecasting the population growth and wheat crop production in Pakistan with non-linear growth and ARIMA models. Population and Economics 7(3):172–187. <https://doi.org/10.3897/popecon.7.e101500>

Аннотация

Продовольственная безопасность, являясь одной из главных глобальных социально-экономических проблем, требует рациональных политических решений, основанных на эмпирических исследованиях. Данная работа представляет сравнительный статистический анализ различных методов прогнозирования темпов роста посевных площадей, производительности, объемов производства и численности населения в Пакистане. На данных за период с 1950 по 2020 г. использованы такие методы, как модель авторегрессии скользящего среднего (ARIMA), регрессионная модель сложного экспоненциального роста (CGREM), подход построения индекса нестабильности (CDVI) и метод декомпозиции. Результаты показывают, что модель CGREM демонстрирует лучшие прогнозные свойства по сравнению с остальными моделями. За период 2001–2020 гг. темпы прироста достигают 0,60% для посевных площадей, 1,21% для урожайности и наибольшего значения — для численности населения (2,22%). Совокупные темпы роста за период 1950–2020 гг. для переменных площади и урожайности пшеницы (около 1,21% и 2,33%) ниже, чем для численности населения (около 2,84%). За исследуемый период темпы прироста посевных площадей и урожайности пшеницы уменьшились на 67,0% и 40,0% соответственно, населения — только на 31,7%. В статье представлены прогнозы роста посевных площадей пшеницы, урожайности и численности населения в Пакистане: 12,7%, 25,5%, 31,8% в 2030 г. и 43%, 97,8% и 129% в 2050 г. Результаты данного исследования предоставляют некоторые эмпирические свидетельства в пользу необходимости политических решений относительно проблемы продовольственной безопасности в Пакистане.

Ключевые слова

CGREM, декомпозиция, темп роста, население, производство пшеницы, продовольственная безопасность

Коды JEL: C50; C51; C52; C53; J10; Q18; Q19

Введение

1.1 Мотивация и значимость исследования

Продовольственная безопасность стала одной из главных глобальных социально-экономических проблем. Экономический опрос в Пакистане за 2019–2020 гг. зафиксировал темпы роста сельского хозяйства на уровне 4,0% в 2017–2018 гг., 0,6% в 2018–2019 гг. и около 2,7% в 2019–2020 гг. [ESP, 2020]. Темп прироста населения в Пакистане составляет около 2,40% в 2018–2019 и 2017–2018 гг., тогда как в 2016–2017 гг. он составлял 1,89%, что свидетельствует о тенденции роста численности населения в краткосрочной перспективе и может иметь неблагоприятный социальный эффект для благосостояния общества [ESP, 2019]. Темпы роста населения в Пакистане высоки по сравнению со странами Южной Азии, что может привести к продовольственному кризису [Islam, 2022; Islam & Shehzad, 2022]. Быстрый рост населения требует масштабного увеличения производства с целью удовлетворения потребностей населения в питании.

Доля сельскохозяйственного сектора в экономике Пакистана снижается, а численность населения ежегодно увеличивается [Kumbhar et al., 2018]. Согласно Целям развития тысячелетия ООН, продовольственная безопасность стала основной социальной проблемой из-за текущих тенденций роста численности населения. Из-за жесткой зависимости роста численности населения от возможности восполнения потребностей в продовольствии необходимо учитывать эту социальную дилемму при формировании политики, а также при проведении исследований [Ahmad et al., 2017]. По данным Экономической и социальной комиссии ООН для Азии и Тихого океана [ESCAP, 2009], в 2005–2006 гг. 16% населения мира нуждалось в продовольствии, а в странах Южной Азии этот показатель достигал 21%. Согласно прогнозам относительно ожидаемых темпов роста населения, Пакистан займет 5-е место в мире в 2050 г. (по сравнению с 6-м местом в 2023 г.), что может быть связано с трудностями в обеспечении населения продовольствием [Shah & Khalil, 2017].

В работе английского экономиста Р.Т. Мальтуса (1766–1834), опубликованной в 1798 г., утверждается, что «темп роста численности населения всегда будет иметь тенденцию опережать темпы роста запасов продовольствия» [Malthus, 1986]. Мальтус первым обратил внимание на проблему нехватки продовольствия, представив теорию о том, что потенциал роста численности населения планеты в конечном итоге превосходит возможности сельского хозяйства в обеспечении растущего населения продовольственными ресурсами. Проблема нехватки продовольствия на данный момент не решена и представляет собой одну из главных социально-экономических задач для некоторых стран [Abdulrahman, 2013].

Всемирная организация здравоохранения (WHO), Продовольственная и сельскохозяйственная организация (FAO) и многие другие международные и национальные организации обращаются к проблеме продовольственной безопасности [Abdulrahman, 2013; Nelson et al., 2010]. Mekuria [2018] утверждает, что решение данной проблемы напрямую связано с повышением урожайности. По оценкам, к 2050 г. численность населения мира достигнет 9,0 млрд, причем основной вклад в этот рост вносят развивающиеся страны [Lutz et al., 1997; Nelson et al., 2010]. Производство продуктов питания должно увеличиться примерно на 70% для того, чтобы устранить проблему продовольственной безопасности в развитых странах, для развивающихся стран целевые показатели удваиваются [Kagan, 2016].

Пакистан является преимущественно аграрной страной, которая сталкивается с проблемами продовольственной безопасности из-за высоких темпов роста населения и других факторов (например, нехватки воды и негативных изменений климата). Пшеница является основной культурой в Пакистане и лидирует по посевным площадям и сельскохозяйственному производству. В 2022 г. Пакистан занимал 99-е место из 121 страны, согласно данным по индексу мирового уровня голода. Tariq et al. [2014] подсчитали, что из-за быстрого роста населения

и климатических рисков урожай пшеницы на душу населения в Пакистане составил 198 кг в 2014 г., и ожидается, что он составит 105 кг в 2031 г. и 84 кг к 2050 г.

Международный научно-исследовательский институт продовольственной политики (IFPR), ФАО (FAO) и другие организации подчеркивают, что тенденции ускоренного роста населения, особенно в странах Южной Азии, может привести к проблеме продовольственной безопасности, вызванной недостатком продовольствия и ограниченным доступом к продуктам питания в обществе.

1.2 Постановка проблемы и цель исследования

Для развивающегося общества крайне важно оценивать будущие изменения в численности населения и объеме сельскохозяйственного производства, используя модели прогнозирования с высоким уровнем точности. Корректное применение статистических моделей прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур дает возможность оценить реакцию сельского хозяйства на будущие проблемы [Lobell & Burke, 2010]. Статистическая модель, представленная в данном исследовании, позволяет нам сделать относительно аккуратные прогнозы для темпов роста производства пшеницы и численности населения до 2050 г. и оценить проблему несоответствия между ними, обратившись к проблеме продовольственной безопасности.

Данные и методы

2.1 Сбор данных и единицы измерения

Данные представляют собой временные ряды за период 1950-2020 гг.; источниками данных служат результаты работы Министерства информационных услуг сельского хозяйства в Пенджабе (Punjab Agriculture Marketing Information Service Department), Министерства отчетности сельского хозяйства в Пенджабе (Punjab Crop Reporting Service Agriculture Department), а также итоги Экономического опроса, проведенного в разные годы в Пакистане. Министерства в составе Правительства Пакистана напрямую ответственны за достоверность и подлинность данных, которые могут использоваться исследователями во всем мире. Используются четыре переменные: посевная площадь пшеницы, урожайность, объемы производства пшеницы и численность населения в Пакистане, которые измеряются в тысячах акров, килограммах на акр, тысячах тонн и в миллионах индивидов соответственно. Для статистического анализа данных используются язык программирования R и программное обеспечение SPSS.

2.2 Методология Бокса – Дженкинса (оценка ARIMA-модели)

Box & Jenkins [1976] представили методологию оценки интегрированной модели авторегрессии — скользящего среднего (ARIMA), которая, в частности, используется для прогнозирования временных рядов. Она представляет собой пошаговую процедуру, включающую оценку параметров модели, диагностические проверки и, наконец, построение прогноза для анализируемого временного ряда. Подбор модели связан с поиском ее оптимальных характеристик: порядок авторегрессионной компоненты (p), порядок интегрирования (d) и порядок скользящего среднего (q) [Makridakis & Hibon, 1997; Sharma et al., 2009]. Общее представление модели ARIMA(p,d,q) выглядит следующим образом:

$$X_t = c + \phi_1 X_{t-1} + \dots + \phi_p X_{t-p} + e_t + \theta_1 e_{t-1} + \dots + \theta_q e_{t-q} \quad (1)$$

где ϕ и θ — это параметры авторегрессионной компоненты и скользящего среднего, X — это исходный временной ряд и e — это ряд остатков, распределенных нормально.

Методология Бокса – Дженкинса используется для прогнозирования посевных площадей, урожайности, производства пшеницы и численности населения Пакистана на основе данных за период с 1950 по 2020 гг.

2.3 Модель экспоненциальной регрессии (CGREM)

Показательное уравнение регрессии оценивается в рамках ARIMA-модели. Годовые темпы прироста измеряются с помощью следующей формулы [Dhakre & Sharma, 2010; Kondal, 2014]:

$$y_t = y_0[1 + r]^t, \quad (2)$$

где y_t обозначает наблюдение для переменной посевной площади/урожайности/объемов производства пшеницы/численности населения в период t , r — средний геометрический темп прироста. Применим логарифмическое преобразование к уравнению (2).

$$\ln(y_t) = \ln(y_0) + t\{\ln(1 + r)\}$$

$$\ln(y_t) = Y, \ln(y_0) = A, \ln(1 + r) = B$$

$$Y = A + Bt + \epsilon, r = (\exp^B - 1) \cdot 100$$

Для прогноза также используется представление (2):

$$y_p = [y_c(1 + B)^n], \quad (3)$$

где y_p обозначает наблюдение переменной на прогнозируемом горизонте, y_c — фактическое/наблюдаемое значение переменной в момент t , B — коэффициент угла наклона регрессии, n — число лет (горизонт прогнозирования), т.е. $t_p - t_c$.

2.4 Индекс нестабильности Кадди-Делла-Валле

Индекс нестабильности Кадди-Делла-Валле (Cuddy-Della-Valle instability index, или CDVI) был разработан Кадди и Валле в 1978 г. с целью оценки степени неустойчивости временного ряда, связанной с особенностями тренда. Основная идея подхода состоит в том, чтобы скорректировать коэффициент вариации с помощью коэффициента детерминации R^2 . Чем выше значение индекса CDVI, тем выше степень нестабильности временного ряда, и наоборот [Bezabeh, 2016; Sihmar, 2014].

$$CDVI = CV \times (\sqrt{1 - R^2}) \quad (4)$$

$$CV = \frac{s}{\bar{x}} \times 100 \quad (5)$$

$$R^2 = \frac{\sum (\hat{Y} - \bar{Y})^2}{\sum (Y - \bar{Y})^2} \quad (6)$$

где CV обозначает коэффициент вариации. Низкий уровень нестабильности ассоциируется со значениями индекса в интервале $0 \leq \text{CDVI} \leq 15$, средний — со значениями индекса $15 < \text{CDVI} \leq 30$ и высокий — со значениями индекса $\text{CDVI} > 30$.

2.5 Анализ декомпозиции

Поскольку объем производства пшеницы является функцией от посевной площади и урожайности, изменение объема производства происходит из-за изменения одного или обоих этих факторов. Относительный вклад площади и продуктивности в изменение производства оценивается с помощью модели декомпозиции [Dhakre & Sharma, 2010; Murindahabi et al., 2018; Rehman et al., 2011]. Изменение производства ΔP представляется как сумма следующих трех эффектов: эффектов посевной площади ΔA и урожайности ΔY , а также эффекты их взаимодействия $\Delta Y \Delta A$:

$$\Delta P = A_0 \Delta Y + Y_0 \Delta A + \Delta Y \Delta A \quad (7)$$

или

$$\Delta P = \frac{(Y_c - Y_0) \times A_0}{P_c - P_0} \times 100 + \frac{(A_c - A_0) \times Y_0}{P_c - P_0} \times 100 + \frac{(Y_c - Y_0) \times (A_c - A_0)}{P_c - P_0} \times 100, \quad (8)$$

где P_0 — объем производства пшеницы в 1950 г., P_c — объем производства в 2020 г., Y_0 — урожайность в 1950 г., Y_c — урожайность в 2020 г., A_0 — площадь в 1950 г., A_c — площадь в 2020 г.

2.6 Качество оценки модели

В работе Gujarati & Porter [2009] показано, что урожайность сельскохозяйственных культур зависит от различных предикторов, что делает выбор оптимальной регрессионной модели затруднительным. В отличие от этой стратегии мы обращаем внимание на технические критерии качества подгонки модели.

1. Более низкие значения средней квадратичной ошибки (MSE) и более высокие значения коэффициента детерминации (R-квадрат).

$$\text{MSE} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (9)$$

$$R^2 = \frac{\sum (\hat{Y} - \bar{Y})^2}{\sum (Y - \bar{Y})^2} \quad (10)$$

$$R_{adj}^2 = 1 - \left(1 - R^2\right) \left(\frac{n-1}{n-k}\right) \quad (11)$$

2. Статистическая значимость коэффициентов регрессии и модели в целом, что определяется результатами t-теста и F-теста. Формулы для t- и F-статистик следующие:

$$t = \frac{\hat{\beta} - \beta}{SE(\hat{\beta})} \quad (12)$$

$$F = \frac{SSR_{eg} / k - 1}{SSR_{es} / n - k} \quad (13)$$

3. Более низкие значения информационного критерия Акаике [Akaike, 1973; Banks & Joyner, 2017; Dziak et al., 2012; Gujarati, 2003]:

$$AIC = n \left\{ \ln \left(\frac{RSS}{n} \right) \right\} + 2k \quad (14)$$

где k — это число переменных модели, включая константу, и n — это число наблюдений. Слагаемое $2k/n$ называют штрафным фактором информационного критерия.

4. Более низкие значения информационного критерия Шварца [Schwarz, 1978; Gujarati, 2003; Neath & Cavanaugh, 1997]:

$$SIC = n \left\{ \ln \left(\frac{RSS}{n} \right) \right\} + k \ln(n), \quad (15)$$

где слагаемое $(k/n) \cdot \ln(n)$ — это штрафной фактор, k — это число переменных, включая константу, и n — это число наблюдений.

Результаты и обсуждение

3.1 Подбор ARIMA-модели

ARIMA-модель оценивается на данных временных рядов длиной в 71 год. Алгоритм Хиндман – Кандакара [Hyndman & Khandakar, 2008] используется с целью выбора оптимальных моделей прогнозирования для каждой переменной, то есть посевной площади, урожайности, производства пшеницы и численности населения Пакистана.

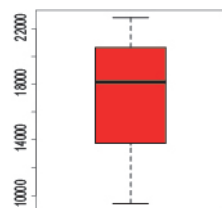
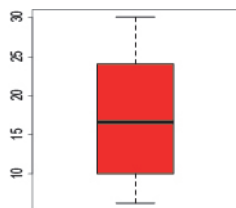
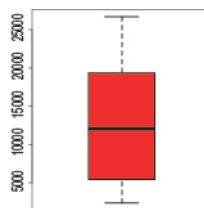
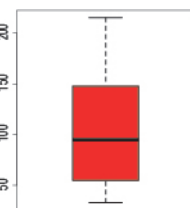
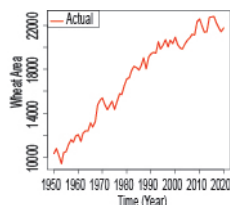
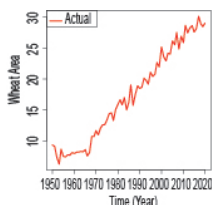
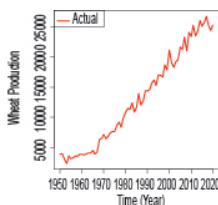
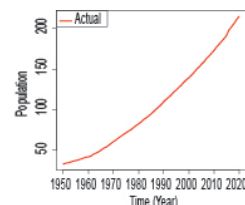
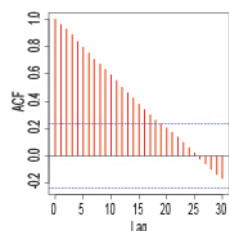
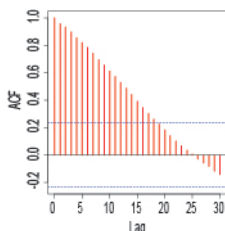
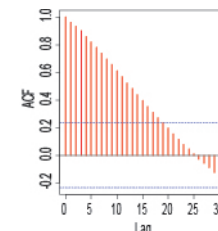
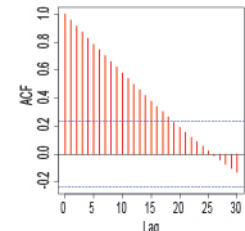
Коробчатые диаграммы на рисунках 1-4 показывают, что выбросы отсутствуют. На рисунках 5-8 показаны графики исходных временных рядов, имеющие восходящий тренд. Следовательно, временные ряды не могут описывать стационарные процессы, а параметр d должен быть не меньше единицы. На рисунках 9-12 для каждой из переменных показаны графики автокорреляционной функции (ACF) и на рисунках 13-16 графики частной автокорреляционной функции (PACF) с доверительными интервалами. Графики фактических и прогнозируемых по выборке значений переменных изображены на рисунках 17-20. Рисунки 21-24 показывают графики значений вневыборочного прогноза для выбранной ARIMA-модели с доверительными интервалами 80% и 95% (CI). На рисунках 25-28 и 29-32 для каждой из оцененных моделей изображены графики автокорреляционных функций для оцененных остатков, по которым мы делаем вывод об отсутствии проблемы автокорреляции в остатках для выбранных моделей.

Таблица 1 обобщает результаты применения методологии Бокса – Дженкинса к данным: для переменной посевной площади лучшей моделью выбрана ARIMA(0, 1, 0), для урожайности пшеницы — ARIMA(1, 1, 2), для объема производства пшеницы — ARIMA(0, 1, 1) и для численности населения ARIMA(0, 2, 1). Результаты теста Бокса – Льюинга также подтверждают вывод об отсутствии проблемы автокорреляции в остатках.

Таблица 1. Параметры выбранных ARIMA-моделей

Переменная	ARIMA	AR(1)	MA(1)	MA(2)	Информационные критерии Акаике и Шварца	Средняя ошибка прогноза	P-значение (тест Бокса – Льюинга)
Посевная площадь	(0, 1, 0)	----	----	----	1087.8 1092.3	553.3	0.43
Урожайность пшеницы	(1, 1, 2)	0.943	-1.72	0.84	213.8 222.8	1.03	0.87
Производство пшеницы	(0, 1, 1)	----	-0.57	----	1168.4 1175.1	996.7	0.55
Численность населения	(0, 2, 1)	----	-0.60	----	95.5 99.7	0.46	0.98

Источник: составлено авторами.

**Рисунок 1.** Коробчатая диаграмма для посевной площади пшеницы**Рисунок 2.** Коробчатая диаграмма для урожайности пшеницы**Рисунок 3.** Коробчатая диаграмма для объема производства пшеницы**Рисунок 4.** Коробчатая диаграмма для численности населения**Рисунок 5.** График ряда для посевной площади пшеницы**Рисунок 6.** График ряда для урожайности пшеницы**Рисунок 7.** График ряда для объема производства пшеницы**Рисунок 8.** График ряда для численности населения**Рисунок 9.** График ACF для посевной площади пшеницы**Рисунок 10.** График ACF для урожайности пшеницы**Рисунок 11.** График ACF для объема производства пшеницы**Рисунок 12.** График ACF для численности населения

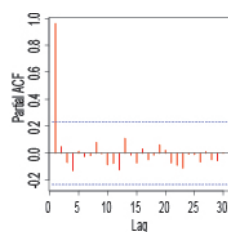


Рисунок 13. График PACF для посевной площади пшеницы

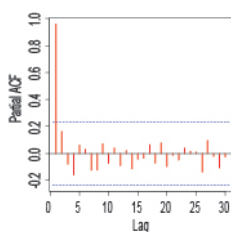


Рисунок 14. График PACF для урожайности пшеницы

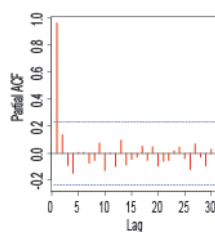


Рисунок 15. График PACF для объема производства пшеницы

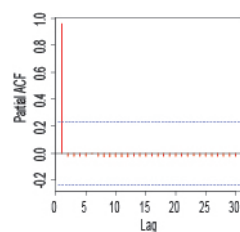


Рисунок 16. График PACF для численности населения

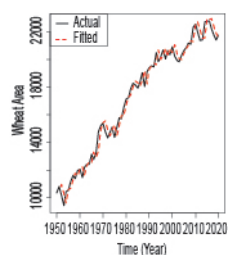


Рисунок 17. Графики фактических и предсказанных значений посевной площади пшеницы

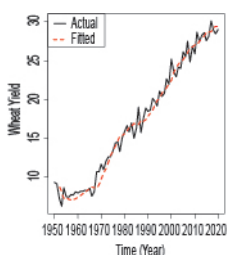


Рисунок 18. Графики фактических и предсказанных значений урожайности пшеницы

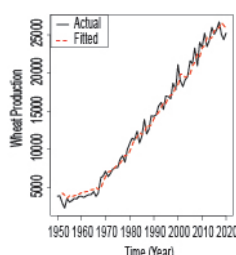


Рисунок 19. Графики фактических и предсказанных значений объема производства пшеницы

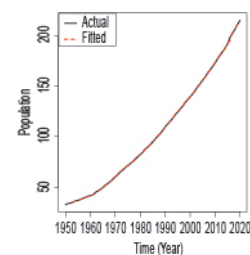


Рисунок 20. Графики фактических и предсказанных значений численности населения

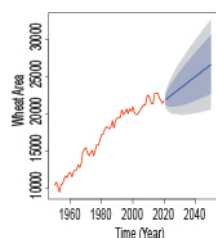


Рисунок 21. Прогноз для посевной площади пшеницы

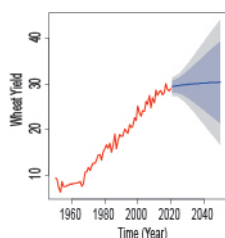


Рисунок 22. Прогноз для урожайности пшеницы

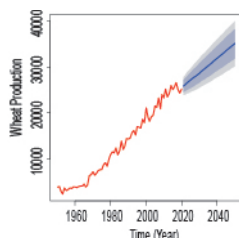


Рисунок 23. Прогноз для объема производства пшеницы

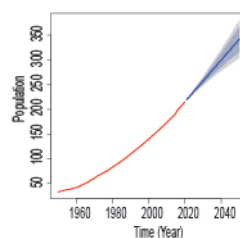


Рисунок 24. Прогноз для численности населения

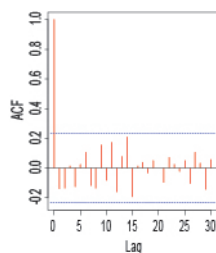


Рисунок 25. ACF (остатки) для посевной площади пшеницы

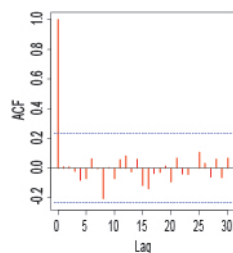


Рисунок 26. ACF (остатки) для урожайности пшеницы

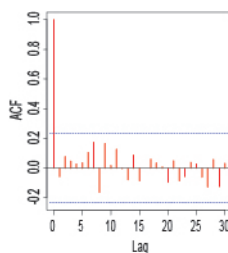


Рисунок 27. ACF (остатки) для объема производства пшеницы

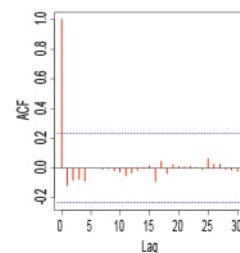


Рисунок 28. ACF (остатки) для численности населения

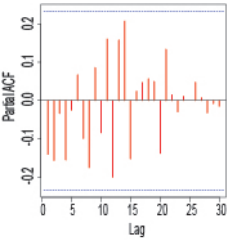


Рисунок 29.
PACF (остатки) для
посевной площади
пшеницы

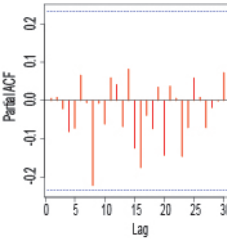


Рисунок 30.
PACF (остатки) для
урожайности пше-
ницы

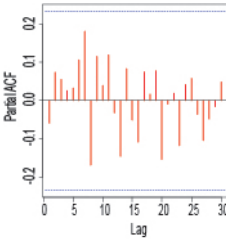


Рисунок 31.
PACF (остатки) для
объема производства
пшеницы

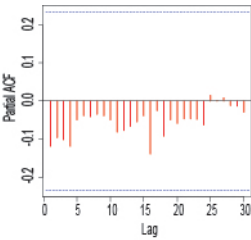


Рисунок 32.
PACF (остатки)
для численности насе-
ления

Источник: составлено авторами.

3.2 Комбинирование модели экспоненциальной регрессии и ARIMA-модели

В Таблице 2 приведены критерии оценки качества модели для комбинированной модели. R-квадрат является более высоким, средняя ошибка прогноза, информационные критерии более низкими по сравнению с базовой моделью, коэффициенты регрессии статистически значимые. Мы оцениваем, что темп прироста для переменной посевной площади составляет 1,21%, для урожайности — 2,33%, для производства — 3,46% и для численности населения — 2,84%. В итоге комбинированная модель имеет лучшие характеристики подгонки по сравнению с простой ARIMA-моделью.

Таблица 2. Комбинированная модель и качество подгонки модели

Зави- симая перемен- ная	Скор- ректи- рованный R ²	Сред- няя ошиб- ка про- гноза	F-ста- тисти- ка	Инф. крите- рии	Кэф- фици- ент	Темп приро- ста	Зна- чение 2020	Про- гноз 2030	Про- гноз 2050
Посевная площадь	0.92	0.073	782.5**	-368.6 -364.4	0.012**	1.207%	21750.62	24506.2	31109.0
Урожай- ность пшеницы	0.95	0.108	1302.5**	-313.0 -308.5	0.023**	2.326%	29.02	36.43	57.41
Объем произ- водства	0.95	0.159	1395.3**	-258.2 -253.2	0.034**	3.458%	25249.50	----	----
Числен- ность населения	0.99	0.051	8896.5**	-419.6 -415.9	0.028**	2.839%	215.25	283.70	492.87

Источник: составлено авторами.

** Уровень значимости — 5%.

На основе факторного прогноза производства пшеницы мы оцениваем, что соответствующие показатели для площади, урожайности и численности населения увеличатся на 12,7%, 25,5%, 31,8% к 2030 г. и на 43%, 97,8%, 129% к 2050 г. Рисунки 33–35 отражают динамику для фактических и прогнозируемых значений для каждого из факторов, что указывает на более быстрое увеличение численности населения по сравнению с изменением площади пшеницы или ее урожайности.



Рисунок 33. Фактические и прогнозные значения посевной площади (в тыс. акр.).
Источник: составлено авторами.



Рисунок 34. Фактические и прогнозные значения урожайности пшеницы (кг на акр).
Источник: составлено авторами.

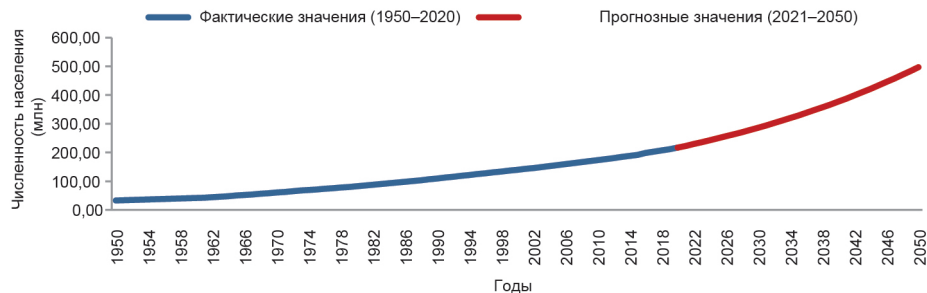


Рисунок 35. Фактические и прогнозные значения численности населения (млн).
Источник: составлено авторами.

3.3 Индекс нестабильности Кадди-Делла-Валле и оценка совокупных темпов прироста

Таблица 3 показывает, что темпы прироста факторов производства положительные, при этом на горизонте прогнозирования численность населения растет быстрее, чем посевная площадь и урожайность. Индекс нестабильности (CDVI) для каждой из моделей находится в промежутке значений низкой степени нестабильности. Коэффициент вариации указывает на высокую степень вариации переменной производства пшеницы.

Таблица 3. Темп прироста, индекс нестабильности (CDVI) и коэффициент вариации (CV) для посевной площади, урожайности, объема производства и численности населения

Показатель \ Переменная	Посевная площадь	Урожайность пшеницы	Объем производства	Численность населения
Темп прироста (%)	1.207	2.326	3.458	2.839
CDVI (%)	5.26	8.66	10.38	9.08
CV (%)	23.52	43.3	59.97	52.46

Источники: составлено авторами.

3.4 Периодические изменения в совокупных темпах прироста

Чтобы изучить изменение темпов прироста за период с 1950 по 2020 г., формируются три подвыборки за периоды 1950-1975, 1976-2000 и 2001-2020 (см. Таблицу 4 и рисунок 36). Результаты указывают на нисходящие тенденции для каждой переменной. Тем не менее для численности населения общее процентное изменение оказывается наименьшим (31,7% против 67,0%, 40,0%, 55,8%). Таким образом, это наблюдение свидетельствует в пользу наличия несоответствия между темпами прироста производства пшеницы и численности населения, которое может представлять угрозу для национальной продовольственной безопасности Пакистана.

Таблица 4. Вариация в темпах прироста за период 1950-2020

Период	Посевная площадь	Урожайность пшеницы	Объем про- изводства	Численность населения
1950-1975	1.82	2.02	3.87	3.25
1976-2000	1.21	2.12	3.36	2.74
2001-2020	0.60	1.21	1.71	2.22
%-ное изменение	67	40	55.8	31.7

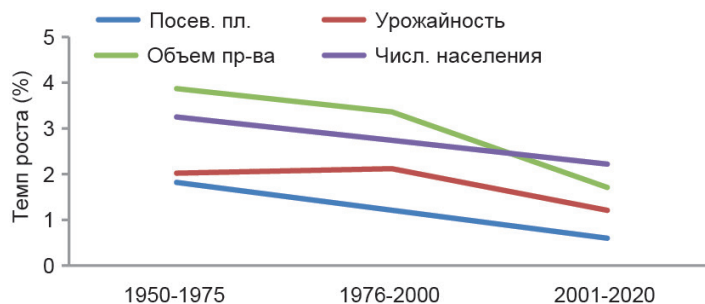


Рисунок 36. Изменения в темпах роста. *Источник:* составлено авторами.

3.5 Анализ декомпозиции для темпов прироста

Разложение абсолютного прироста объема производства используется для оценки вклада посевных площадей и урожайности в изменение производства. Согласно прогнозам на основе комбинированной модели, ожидаемое увеличение посевных площадей в 2030 и 2050 гг. по сравнению с 2020 г. составит 12,7% и 43% соответственно, для урожайности пшеницы эти показатели составят 25,5% и 97,8%. Ожидается, что численность населения увеличится на 31,8% к 2030 г. и на 129% к 2050 г., что означает более быстрый рост численности населения по сравнению с теми же показателями для площади и урожайности.

Таблица 5 показывает, что урожайность вносит основной вклад в изменение производства пшеницы (около 38% для переменной продуктивности против 20% для переменной площади). Эффект взаимодействия, то есть совместный вклад площади и урожайности в производство, составляет 42%. Совокупный темп роста населения также превышает темп роста площади и урожайности.

Учитывая текущие темпы роста населения, численность населения Пакистана достигнет 283,7 млн в 2030 г. и 492,87 млн в 2050 г., а посевная площадь, занятая пшеницей, достигнет 24 506,2 тыс. акров в 2030 г. и 31 109,0 тыс. акров в 2050 г. (темпы прироста 1,207%), при этом урожайность достигнет 36,43 кг/акр в 2030 г. и 57,41 кг/акр в 2050 г. (темпы прироста 2,326%). Для решения проблемы продовольственной безопасности Пакистана необходимо повышение урожайности пшеницы, а также контроль над численностью населения.

Таблица 5. Разложение объема производства пшеницы по факторам (%)

	Эффекты площади	Эффекты урожайности	Эффекты взаимодействия
Производство пшеницы	20	38	42

Источник: составлено авторами.

Заключение

Ввиду прогнозируемого высокого темпа роста численности населения до 2050 г., продовольственные проблемы являются актуальными для экономики Пакистана. Согласно данным по индексу мирового уровня голода за 2022 г., Пакистан занимает 99-е место среди 121 страны.

Представленная работа на основе эмпирических оценок сравнивает темпы прироста численности населения и производства пшеницы с целью понимания роли проблемы продовольственной безопасности в Пакистане.

Мы пришли к выводу, что ARIMA-модель экспоненциальной регрессии является более подходящей моделью по сравнению с базовой ARIMA-моделью по ряду показателей качества подгонки модели (средняя ошибка прогноза, информационные критерии Акаике, Шварца).

Периодический анализ темпов прироста показывает, что темпы прироста площади, урожайности и производства пшеницы за последние 70 лет уменьшились примерно на 67,0%, 40,0% и 55,8% по сравнению с аналогичным показателем для численности населения Пакистана в 31,7%. Подчеркивается, что в 2001-2020 гг. темп прироста достиг уровня 0,60% для переменной посевной площади, 1,21% для урожайности пшеницы, 1,71% для производства пшеницы и примерно 2,22% для численности населения.

Для Пакистана характерна проблема разрыва между темпами роста производства пшеницы и численности населения. Темп прироста площадей под пшеницей составляет 1,21%, а для численности населения этот показатель равен 2,84%. Ожидаемый рост площадей под пшеницу составит 12,7% в 2030 г. и 43% в 2050 г., тогда как для численности населения он составит 31,8% в 2030 г. и 129% в 2050 г., что демонстрирует относительно более быстрый рост численности населения. Темп роста урожайности составляет 2,33%, а численности населения — около 2,84%. Ожидаемый прирост урожайности пшеницы прогнозируется на уровне 25,5% в 2030 г. и 97,8% в 2050 г., тогда как для населения он прогнозируется на уровне 31,8% в 2030 г. и 129% в 2050 г. Согласно результатам декомпозиции переменной производства, вклад урожайности в производство пшеницы превышает вклад посевной площади (38% против 20%). Это согласуется с нашим выводом о том, что урожайность является основным фактором, влияющим на объемы производства пшеницы.

Согласно отчету о тенденциях в динамике мирового населения Департамента по экономическим и социальным вопросам ООН, ожидается, что к 2050 г. население Пакистана достигнет 366 млн (2022 год ревизии). В данном исследовании прогнозируется, что население Пакистана в 2050 г. составит около 492 млн. Результаты эмпирического анализа наталкивают на вывод о необходимости учета проблемы продовольственной безопасности при разработке сельскохозяйственной и торговой политики. Результаты этого исследования содержат эмпирические доказательства в пользу необходимости повышения средней урожайности с целью решения ожидаемой проблемы продовольственной безопасности в Пакистане.

Новизна

В этом исследовании сделаны политические рекомендации относительно разработки продовольственной безопасности в Пакистане. Прогнозирование для переменных урожая пшеницы и численности населения реализуется на основе разных методов, в том числе с помощью комбинирования ARIMA-модели и экспоненциальной регрессии. Выбранный подход обладает более высокой точностью прогнозирования по сравнению с базовой ARIMA-моделью. Помимо этого, для уточнения результатов исследования применяются анализ декомпозиции, анализ неустойчивости, сравнение результатов моделирования для разных периодов.

Вклад авторов

- Мухаммад Ислам: введение, описание и анализ данных, методология, выводы и политические рекомендации.
- Фаррух Шехзад: руководство, описание и анализ данных, выводы и политические рекомендации.
- Самрат Рэй: редактирование, описание и анализ данных, обсуждение и политические рекомендации.
- Мирза Васим Аббас: введение, анализ данных, результаты, обсуждение и выводы.

Список литературы

- Abdulrahman S. (2013) Population growth and food security in Nigeria (2010-2012) // *Arabian Journal of Business and Management Review (Nigerian Chapter)*: 1(3): 1-13. <http://dx.doi.org/10.12816/0003624>
- Ahmad D., Chani M.I., Humayon A.A. (2017) Major crops forecasting area, production and yield evidence from agriculture sector of Pakistan // *Sarhad Journal of Agriculture*: 33(3): 385-96. <http://dx.doi.org/10.17582/journal.sja/2017/33.3.385.396>
- Akaike H. (1973) Maximum likelihood identification of Gaussian autoregressive moving average models // *Biometrika*: 60(2): 255-65. URL: <https://www.jstor.org/stable/2334537>
- Banks H.T., Joyner M.L. (2017) AIC under the framework of least squares estimation // *Applied Mathematics Letters*: 74: 33-45. <https://doi.org/10.1016/j.aml.2017.05.005>
- Bezabeh E. (2016) Trends, Growth and Instability of Teff Production in Ethiopia // *International Journal of Recent Research in Life Sciences (IJRRLS)*: 3(4): 10-13. URL: <https://www.paperpublications.org/upload/book/Trends%20Growth%20and%20Instability-877.pdf>
- Box G.E., Jenkins G.M. (1976) Time series analysis. Forecasting and control. Holden-Day Series in Time Series Analysis.
- Dhakre D.S., Sharma A. (2010) Growth analysis of area, production and productivity of maize in Nagaland // *Agricultural Science Digest*: 30(2): 142-7. URL: <https://www.indianjournals.com/ijor.aspx?target=ijor:asd&volume=30&issue=2&article=017>
- Dziak J.J., Coffman D.L., Lanza S.T., Li R. (2012) Sensitivity and specificity of information criteria. Technical Report 12-119. College of Health and Human Development, Pennsylvania State University. URL: <https://bpb-us-e1.wpmucdn.com/sites.psu.edu/dist/f/84470/files/2019/03/12-119-2e90hc6.pdf>
- Gujarati D.N. (2003) Basic Econometrics. Fourth edition. McGraw-Hill/Irwin, NY. URL: <https://zalamsyah.staff.unja.ac.id/wp-content/uploads/sites/286/2019/11/7-Basic-Econometrics-4th-Ed.-Gujarati.pdf>
- Gujarati D.N., Porter D.C. (2009) Basic econometrics. Fifth edition. McGraw-Hill/Irwin, NY URL: https://www.cbpbu.ac.in/userfiles/file/2020/STUDY_MAT/ECO/1.pdf
- Hyndman R.J., Khandakar Y. (2008) Automatic time series forecasting: The forecast package for R // *Journal of Statistical Software*: 27(3): 1–22. <https://doi.org/10.18637/jss.v027.i03>
- Islam M. (2022) Integrating statistical and machine learning techniques to predict wheat production in Pakistan. A thesis submitted to the Islamia University of Bahawalpur for the award of the degree of doctor of philosophy in Statistics session 2017-2020. URL: <http://pr.hec.gov.pk/jspui/handle/123456789/21351>

- Islam M., Shehzad F. (2022) A Prediction Model Optimization Critiques through Centroid Clustering by Reducing the Sample Size, Integrating Statistical and Machine Learning Techniques for Wheat Productivity // *Scientifica*: 2022: 7271293. <https://doi.org/10.1155/2022/7271293>
- Kagan C.R. (2016) At the nexus of food security and safety: opportunities for nanoscience and nanotechnology // *American Chemical Society (ACS) Publications*: 10 (3): 2985-6. <https://doi.org/10.1021/acsnano.6b01483>
- Kondal K. (2014) Growth rate of area, production and productivity of onion crop in Andhra Pradesh // *Indian Journal of Applied Research*: 4(3): 4-6. URL: [https://www.worldwidejournals.com/indian-journal-of-applied-research-\(IJAR\)/fileview/March_2014_1492755436__02.pdf](https://www.worldwidejournals.com/indian-journal-of-applied-research-(IJAR)/fileview/March_2014_1492755436__02.pdf)
- Kumbhar A.S., Magsi H., Kumbhar M.I., Rind Z.K. (2018) Status of Population Growth and Food Sustainability in Pakistan // *Indian Journal of Science and Technology*: 11(16): 1-10. <https://doi.org/10.17485/ijst/2018/v11i16/119048>
- Lobell D.B., Burke M.B. (2010) On the use of statistical models to predict crop yield responses to climate change // *Agricultural and forest meteorology*: 150(11): 1443-52. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2010.07.008>
- Lutz W., Sanderson W., Scherbov S. (1997) Doubling of world population unlikely // *Nature*: (387): 803-5. URL: <https://www.nature.com/articles/42935>
- Makridakis S., Hibon M. (1997) ARMA models and the Box-Jenkins methodology // *Journal of Forecasting*: 16(3): 147-63. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-131X\(199705\)16:3%3C147::AID-FOR652%3E3.0.CO;2-X](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-131X(199705)16:3%3C147::AID-FOR652%3E3.0.CO;2-X)
- Malthus T.R. (1986) An essay on the principle of population (1798). The Works of Thomas Robert Malthus, Chapter 10. London, Pickering & Chatto Publishers, 1-139. URL: <https://la.utexas.edu/users/hcleaver/368/368MalthusPopCh10table.pdf>
- Mekuria W. (2018) The link between agricultural production and population dynamics in Ethiopia: A review // *Advances in Plants & Agriculture Research*: 8(4): 348-53. <https://doi.org/10.15406/apar.2018.08.00336>
- Murindahabi T., Li Q., Ekanayake E. (2018) Economic Analysis of Growth Performance of Various Grains Crops During Agricultural Reform in Rwanda // *Journal of Economics and Sustainable Development*: 9(2): 32-42. URL: <https://mpa.ub.uni-muenchen.de/90484/>
- Neath A.A., Cavanaugh J.E. (1997) Regression and time series model selection using variants of the Schwarz information criterion // *Communications in Statistics — Theory and Methods*: 26(3): 559-80. <https://doi.org/10.1080/03610929708831934>
- Nelson G.C., Rosegrant M.W., Palazzo A., Gray I., Ingersoll C. et al. (2010) Food security, farming, and climate change to 2050: scenarios, results, policy options. International Food Policy Research Institute. <http://dx.doi.org/10.2499/9780896291867>
- Rehman F.U., Saeed I., Salam A. (2011) Estimating growth rates and decomposition analysis of agriculture production in Pakistan: pre and post sap analysis // *Sarhad Journal of Agriculture*: 27(1): 125-31. URL: https://www.aup.edu.pk/sj_pdf/ESTIMATING%20GROWTH%20RATES%20AND%20DECOMPOSITION.pdf
- Schwarz G. (1978) Estimating the dimension of a model // *The annals of statistics*: 6(2): 461-64. URL: <https://www.jstor.org/stable/2958889>
- Shah S.A.A., Khalil A.K. (2017) Growth and Variability of Major Food Crops Production in Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan // *Journal of Applied and Advanced Research*: 2(1): 6-12. <https://doi.org/10.21839/jaar.2017.v2i1.39>
- Sharma P., Chandra A., Kaushik S.C. (2009) Forecasts using Box-Jenkins models for the ambient air quality data of Delhi City // *Environmental monitoring and assessment*: 157: 105-12. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-008-0520-2>

- Sihmar R. (2014) Growth and instability in agricultural production in Haryana: A district level analysis // International Journal of Scientific and Research Publications: 4(7): 1-12. URL: <https://www.ijsrp.org/research-paper-0714.php?rp=P312906>
- Tariq A., Tabasam N., Bakhsh K., Ashfaq M., Hassan S. (2014) Food security in the context of climate change in Pakistan // Pakistan Journal of Commerce and Social Sciences (PJCSS): 8(2): 540-50. URL: <https://www.econstor.eu/handle/10419/188154>

Другие источники информации

- ESCAP UN (2009) Sustainable agriculture and food security in Asia and the Pacific. UN ESCAP, Bangkok. URL: <https://repository.unescap.org/bitstream/handle/20.500.12870/2722/ESCAP-2009-FS-Sustainable%20Agriculture.pdf?sequence=4>
- ESP (2019) Pakistan Economic Survey 2018-2019. Finance Division, Government of Pakistan. URL: https://www.finance.gov.pk/survey_1819.html
- ESP (2020) Economic survey of Pakistan 2019-2020. Finance Division, Government of Pakistan. URL: https://www.finance.gov.pk/survey_1920.html

Информация об авторах

- Мухаммад Ислам — PhD (статистика), МА (экономика), заместитель директора, Служба отчетность по урожаю, Министерство сельского хозяйства, Пенджаб, 58180, Пакистан. E-mail: mislam6667@gmail.com
- Фаррух Шехзад — PhD (статистика), доцент кафедры статистики Исламского университета Бахавалпура, Бахавалпур, 63350, Пакистан. E-mail: fshehzad.stat@gmail.com
- Самрат Рэй — PhD (экономика), руководитель отдела международных отношений IIMS, Пуна, 411001, Индия. E-mail: s.ray@iimspune.edu.in
- Мирза Васим Аббас – PhD (MS), помощник директора (статист), Служба отчетность по урожаю, Министерство сельского хозяйства, Пенджаб, 58180, Пакистан. E-mail: wazeem.mirza@gmail.com