



Научная статья

УДК 330.1+332.1+338.432

doi: 10.55186/25876740_2025_68_4_538

АНАЛИЗ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КОМПОНЕНТОВ РЕСУРСНОГО ПОТЕНЦИАЛА СТРАН ЕАЭС С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ

Д.Г. Родионов¹, Н.Д. Дмитриев¹, Ф.С. Агузарова²

¹Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия

²Северо-Осетинский государственный университет имени Коста Левановича Хетагурова, Владикавказ, Россия

Аннотация. Исследование обусловлено необходимостью повышения эффективности агропромышленного производства и адаптации стран ЕАЭС к изменяющимся экономическим условиям. В процессе анализа ресурсного потенциала АПК стран ЕАЭС для определения траекторий повышения эффективности применяются экономико-математические методы, включая иерархическую кластеризацию, анализ главных компонент (РСА) и машинное обучение. Данные подходы позволили выявить структурные связи между аграрными и макроэкономическими параметрами. Целью исследования является определение факторов, влияющих на дифференциацию развития сельского хозяйства стран ЕАЭС, с ориентацией на повышение стратегической отдачи от их ресурсного потенциала. Для этого проведен анализ аграрных показателей, таких как площадь орошаемых земель, урожайность зерновых культур, потребление удобрений, использование воды в сельском хозяйстве, а также их взаимосвязь с экономическими индикаторами, включая долю сельского хозяйства в ВВП, экспорт и импорт сельскохозяйственной продукции. Метод РСА позволил сократить размерность данных, выделив факторы, объясняющие 65% дисперсии. На основе РСА и кластерного анализа выделены группы стран ЕАЭС: с высоким аграрным потенциалом (Россия, Казахстан); средним уровнем аграрного развития (Беларусь); с ограниченными аграрными ресурсами (Армения, Кыргызстан). Эконометрическое моделирование показало, что детерминирующими факторами, влияющими на эффективность сельского хозяйства, являются площадь орошаемых земель, среднегодовое количество осадков и потребление удобрений. Данные показатели оказывают весомое влияние на урожайность зерновых культур, а также на макроэкономические параметры состояния АПК. Анализ с использованием методов машинного обучения показал высокую значимость использования воды в сельском хозяйстве и экспорта сельскохозяйственной продукции для стран с высоким аграрным потенциалом. Полученные результаты могут быть применены для оптимизации использования ресурсов стран ЕАЭС и разработки стратегий экономической политики, направленных на повышение конкурентоспособности аграрного сектора в условиях неблагоприятной макроэкономической динамики.

Ключевые слова: ресурсный потенциал, агропромышленный комплекс, сельскохозяйственное производство, экономико-математические методы, страны ЕАЭС, экономическая политика, машинное обучение, анализ главных компонент, макроэкономические показатели

Благодарности: работа выполнена в рамках реализации проекта «Разработка методологии формирования инструментальной базы анализа и моделирования пространственного социально-экономического развития систем в условиях цифровизации с опорой на внутренние резервы» (FSEG-2023-0008).

Original article

ANALYSIS OF AGRICULTURAL COMPONENTS OF THE RESOURCE POTENTIAL OF EAEU COUNTRIES USING ECONOMICO-MATHEMATICAL METHODS

D.G. Rodionov¹, N.D. Dmitriev¹, F.S. Aguzarova²

¹Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Saint-Petersburg, Russia

²North Ossetian State University named after Kosta Levanovich Khetagurov, Vladikavkaz, Russia

Abstract. The study is driven by the need to enhance the efficiency of agro-industrial production and adapt the EAEU countries to changing economic conditions. Economic and mathematical methods, including hierarchical clustering, principal component analysis (PCA), and machine learning, are used to analyze the resource potential of the agro-industrial complex of the EAEU countries to determine trajectories for improving efficiency. These approaches have revealed structural relationships between agricultural and macroeconomic parameters. The aim of the study is to identify the factors influencing the differentiation of agricultural development in the EAEU countries, focusing on increasing the strategic returns on their resource potential. To achieve this, an analysis of agricultural indicators, such as irrigated land area, grain crop yield, fertilizer consumption, and water use in agriculture, was conducted, as well as their relationships with economic indicators, including the share of agriculture in GDP, agricultural product exports, and imports. The PCA method allowed for dimensionality reduction, identifying factors that explain 65% of the variance. Based on PCA and cluster analysis, the EAEU countries were grouped into categories: high agricultural potential (Russia, Kazakhstan), medium agricultural development level (Belarus), and limited agricultural resources (Armenia, Kyrgyzstan). Econometric modeling showed that the key factors influencing agricultural efficiency are irrigated land area, average annual precipitation, and fertilizer consumption. These indicators significantly impact grain crop yields and the macroeconomic parameters of the agro-industrial complex. Analysis using machine learning methods revealed the high significance of water use in agriculture and agricultural product exports for countries with high agricultural potential. The results obtained can be applied to optimize resource use in the EAEU countries and develop economic policy strategies aimed at enhancing the competitiveness of the agricultural sector under unfavorable macroeconomic dynamics.

Keywords: resource potential, agro-industrial complex, agricultural production, economic and mathematical methods, EAEU countries, economic policy, machine learning, analysis of the main components, macroeconomic indicators

Acknowledgments: the work was carried out as part of the project "Development of a methodology for the formation of an instrumental base for the analysis and modeling of spatial socio-economic development of systems in the context of digitalization based on internal reserves" (FSEG-2023-0008).



Введение. Сельское хозяйство играет ключевую роль в экономике стран ЕАЭС, обеспечивая продовольственную безопасность, развитие экспортного потенциала и занятость сельского населения. В то же время АПК сталкивается с такими вызовами, как ограниченность ресурсов, нестабильность мировых аграрных рынков и необходимость адаптации к изменяющимся макроэкономическим условиям. Возникает потребность в использовании системного подхода, основанного на аналитических и экономико-математических методах, предоставляющих возможность разрабатывать стратегически обоснованные решения для повышения эффективности функционирования сельского хозяйства [1, 2].

Аграрный сектор оказывает влияние на формирование экономического роста, продовольственную безопасность регионов и макроэкономическую стабильность. Индикаторы, такие как площадь орошаемых земель, производительность сельскохозяйственных культур, потребление удобрений и использование воды в сельском хозяйстве, предоставляют данные для оценки состояния и перспектив развития АПК. Применение экономико-математических методов обеспечивает возможность проведения типологизации стран ЕАЭС по уровню аграрного развития, а также комплексного анализа их ресурсного потенциала [3, 4].

Актуальность исследования обусловлена необходимостью адаптации АПК стран ЕАЭС к внешним вызовам на основе инновационных подходов к управлению ресурсами и производственными процессами. Количественный анализ взаимосвязей между сельскохозяйственными и макроэкономическими показателями формирует основу для стратегических решений, направленных на повышение производительности и оптимизацию аграрного сектора.

Научная новизна работы заключается в применении комплексного подхода для анализа ключевых аграрных компонентов ресурсного потенциала стран ЕАЭС на основе использования анализа главных компонент и методов кластеризации. Практическая значимость заключается в применении результатов для совершенствования управления ресурсами, повышения производительности и разработки научно обоснованных рекомендаций по экономической политике.

Цель данного исследования состоит в выявлении факторов, влияющих на развитие сельского хозяйства стран ЕАЭС для оптимизации использования их ресурсного потенциала. Для достижения цели поставлены следующие задачи:

1. Исследовать взаимосвязи между аграрными показателями (площадь орошаемых земель, урожайность зерновых культур, потребление удобрений, использование воды) и макроэкономическими параметрами (доля сельского хозяйства в ВВП, экспорт и импорт агропродукции).
2. Провести кластеризацию стран ЕАЭС по уровням аграрного развития на основе анализа главных компонент и методов иерархического анализа.
3. Применить методы машинного обучения для оценки значимости факторов и разработки рекомендаций по совершенствованию управления ресурсами.

Объектом исследования выступает ресурсный потенциал АПК стран ЕАЭС. Предметом исследования выступают количественные взаимосвязи между аграрными и макроэкономическими параметрами, определяющие уровень развития сельского хозяйства наднационального объединения.

Теоретический анализ. Научный дискурс уделяет весомое внимание исследованию АПК, особенно при трансформации макроэкономической среды и потребности в стабильном развитии сельского хозяйства. Экономико-математические методы эффективно используются для анализа ресурсного потенциала сельского хозяйства, взаимосвязей между производственными и макроэкономическими параметрами, а также для разработки стратегий повышения эффективности аграрного сектора.

Анализ публикаций в данной области подтверждает высокую теоретическую проработку вопросов, включая методы экономического анализа, моделирование производственных процессов и прогнозирование динамики сельскохозяйственного производства.

1. Методы экономического анализа и моделирования в сельском хозяйстве. В данном блоке сосредоточено внимание на исследовании методов, которые применяются для анализа сельскохозяйственного потенциала, оценки производственных факторов и прогнозирования динамики аграрного сектора.

Факторный анализ и структурно-аналитические модели являются основой для построения факторных зависимостей. В частности, статья [5] описывает специфику сельскохозяйственного рынка России. Рассматривается факторный анализ как инструмент экономической диагностики. В исследовании выделены сложности, связанные с конкуренцией, регулированием цен и поддержкой сельскохозяйственных организаций. Работа [6] посвящена разработке структурно-аналитической модели ресурсного потенциала, применяемой для регионального анализа. В статье уделено внимание рентным отношениям, их взаимосвязи с инвестиционным, финансовым и интеллектуальным потенциалом. Модель адаптирована для аграрной сферы и демонстрирует возможности совершенствования механизмов государственного регулирования, особенно в условиях обострения геополитической борьбы и необходимости обеспечения экономического суверенитета.

Исследование С. Манги и Д. Макьюэна [3] подробно рассматривает математическое моделирование и управление ресурсами. В работе детализируются количественные методы, применяемые в управлении сельскохозяйственными ресурсами. В работе рассматриваются подходы к оптимизации производственных процессов и управлению водными ресурсами, что особенно актуально для стран ЕАЭС. Авторами использованы математические методы для оценки структуры сельскохозяйственного производства и повышения устойчивости управления ресурсами.

Эконометрическое моделирование рассмотрено в статье [7], где освещаются возможности использования многофакторного анализа. В работе изучаются внутренние и внешние факторы, влияющие на состояние сельскохозяйственного производства. Применение эконометрического анализа способствует улучшению управления

и повышению эффективности агропромышленных предприятий. Моделирование влияния факторов производства, описанное в статье [8], исследует воздействие таких производственных факторов, как труд и капитал, на выпуск продукции. Использование ретроспективного анализа и формирование прогнозных оценок способствует рациональному использованию трудовых ресурсов для повышения производительности аграрного сектора.

2. Анализ интеграции, торговых связей и конкурентоспособности. Данный блок посвящен вопросам экономической интеграции стран ЕАЭС, их взаимной торговле и повышению конкурентоспособности аграрного сектора.

В работе [9] анализируются подходы к индустриализации предпринимательских структур в рамках региональной экономической политики. Исследуются методы механизации производственных процессов, автоматизации и совершенствования организационной структуры. Отмечается необходимость создания условий для повышения производительности и конкурентоспособности, включая развитие человеческого капитала и внедрение инновационных технологий. Авторы предлагают механизмы импортозамещения, способствующие снижению зависимости от внешних поставок и увеличению внутреннего производства, что особенно актуально для аграрной сферы стран ЕАЭС. В статье [10] продолжается обсуждение аспектов индустриализации, уделяя внимание стратегиям устойчивого роста предпринимательских структур через внедрение технологий и совершенствование бизнес-процессов. Рассмотрены меры поддержки предпринимательства, такие как финансовая помощь, образовательные программы и меры борьбы с недобросовестной конкуренцией.

Торговая комплементарность и экономическая интеграция, рассмотренные в исследовании [11], позволяют выделить факторы, значимые для моделирования взаимной аграрной торговли стран ЕАЭС, например, через использование индекса торговой комплементарности. В работе показано, как интеграционные процессы способствуют развитию аграрного потенциала через анализ структуры экспорта и импорта сельскохозяйственной продукции. Результаты исследования демонстрируют высокий уровень взаимодополняемости торговых операций между странами ЕАЭС, создавая предпосылки для более тесной координации аграрной политики объединения.

В работе [12] рассмотрена конкурентоспособность зерновых культур на основе эконометрического анализа панельных данных. Были оценены факторы, влияющие на конкурентоспособность, включая технологическое развитие, государственную поддержку и особенности ценообразования. Авторы подчеркивают важность гармонизации стандартов качества зерновых культур и развития транспортно-логистической инфраструктуры, что способствует усилению позиций стран ЕАЭС на международных рынках. Статья [13] анализирует взаимосвязь между финансированием агропромышленного комплекса и обеспечением продовольственной безопасности на примере Казахстана. Обосновано, что использование экономико-математических методов для оценки структуры финансирования и его влияния на





устойчивость аграрного производства позволяет выявить зависимость продовольственной безопасности от господдержки.

Таким образом, развитие сельскохозяйственного сотрудничества на наднациональном уровне представляется необходимым. Применение математического моделирования, описанного в работе [14], позволило выявить возможности интернационализации аграрного сектора и прогнозировать развитие торгово-экономических связей. Анализ потенциала сельскохозяйственного сотрудничества между странами через изучение комплементарности ресурсов подчеркивает значимость рационального распределения ресурсов для укрепления конкурентных позиций стран ЕАЭС в международной торговле.

3. Оптимизация ресурсов и инновации в агропромышленном комплексе. Данный блок рассматривает вопросы оптимизации использования ресурсов, внедрения инновационных технологий и повышения эффективности управления сельским хозяйством.

Монография [15] посвящена исследованию механизмов формирования региональной экономической политики, ориентированной на поддержку предпринимательства и развитие человеческого капитала. Рассматриваются аспекты стимулирования инновационной активности и повышения эффективности аграрного сектора. Подчеркивается необходимость выработки стратегий, обеспечивающих рациональное использование ресурсов и развитие инновационного потенциала. Интерес вызывает работа [16], демонстрирующая применение экономико-математического моделирования для оптимизации структуры производственных мощностей в аграрном секторе с целью повышения эффективности использования ресурсного потенциала. Результаты включают обоснование оптимальных параметров элементов производственно-отраслевой структуры для повышения продуктивности сельскохозяйственных формирований.

Практико-ориентированное обучение и оптимизация ресурсов являются перспективными направлениями для формирования компетентности в принятии решений с применением методов оптимизации и математического моделирования [17]. Оценка ресурсного потенциала сельскохозяйственных предприятий, рассмотренная в статье [18], формирует инструментарий, учитывающий взаимозаменяемость и ограниченность ресурсов. Появляется возможность разработать алгоритмы стратегий эффективного использования ресурсов с учетом инновационных процессов и их влияния на конкурентоспособность аграрного производства.

Использование инновационных технологий и информационных решений способствует повышению маркетинговой активности сельскохозяйственных предприятий [19]. В работе описаны методы оптимизации бизнес-процессов с применением современных технологий, включая снижение издержек, управление рисками и повышение продаж за счет комплексных инструментов. Для учета современных тенденций в области социально-экономического развития необходимо уделить внимание взаимосвязи между устойчивым развитием региона, энергетической безопасностью и охраной окружающей среды. В работах [20, 21] детализированы связи между устойчивым развитием

региона, энергетической безопасностью и охраной окружающей среды. Рассматриваются вопросы использования влияния стратегической устойчивости на АПК. Авторы предлагают модели, способствующие интеграции экологических аспектов в планирование и развитие сельского хозяйства. Статья [22] анализирует подходы к моделированию инновационной деятельности в сельском хозяйстве. Особое внимание уделяется разработке показателей, оценивающих инновационную активность предприятий, и созданию моделей, направленных на повышение конкурентоспособности отрасли. Предложенные решения ориентированы на контроль динамики технологического развития и формирования условий для его активизации.

Вывод по теоретическому анализу. Изучение публикаций, посвященных АПК стран ЕАЭС, демонстрирует проработку проблематики применения экономико-математических методов для анализа сельскохозяйственного потенциала. Исследования охватывают вопросы моделирования ресурсного потенциала, развития экономической интеграции и совершенствования производственных процессов. Особое внимание уделено анализу факторов, влияющих на эффективность аграрного сектора, таких как использование факторного анализа, эконометрических моделей и методов прогнозирования. Комплексный подход, объединяющий изучение производственных, макроэкономических и инновационных показателей, создает научно обоснованную основу для формирования стратегий, направленных на повышение конкурентоспособности сельского хозяйства стран ЕАЭС. Результаты кластерного анализа и моделей оптимизации подчеркивают значимость рационального распределения ресурсов и учета региональных особенностей АПК.

Методология исследования. В данном исследовании использованы современные экономико-математические методы, предназначенные для анализа ресурсного потенциала АПК стран ЕАЭС. Основными этапами исследования стали сбор данных, их предварительная обработка и применение аналитических методов для исследования взаимосвязей между аграрными и макроэкономическими показателями.

Этап 1. Сбор и обработка данных. Для анализа использованы данные статистических агентств стран ЕАЭС. Рассматриваемые показатели:

- Аграрные показатели (пахотные земли (%), орошаемые земли (%), потребление удобрений (кг/га), урожайность зерновых (кг/га), использование воды в сельском хозяйстве (%)).
- Макроэкономические индикаторы (доля сельского хозяйства в ВВП (%), ВВП, темпы роста ВВП, экспорт и импорт сельхозпродукции).
- Природно-климатические характеристики (среднегодовая температура (°C), количество осадков (мм)).

Данные охватывали период 2010-2022 гг., что обеспечило глубину ретроспективного анализа. Для устранения пропусков применялись методы линейной интерполяции (для линейно зависимых показателей; для остальных применялись медианные значения), а выявленные аномалии корректировались с использованием медианных значений. Предварительная обработка включала удаление признаков с низкой вариативностью (например, с дисперсией <1-5) и нормализацию данных с использованием стандартизатора StandardScaler.

Этап 2. Вычисление временных характеристик. Для каждой страны были рассчитаны временные тренды, средние значения и стандартные отклонения для ключевых показателей с использованием линейной регрессии. Данный анализ позволил выявить изменения в динамике аграрного сектора и оценить их долгосрочные тенденции.

Этап 3. Метод главных компонент (PCA) использовался для выделения скрытых факторов, определяющих основные закономерности в данных. Для выбора оптимального числа кластеров применялся метод «локтя», что позволило провести иерархический кластерный анализ стран ЕАЭС.

Этап 4. Эконометрическое моделирование. В ходе исследования были применены следующие модели: Линейная регрессия; ElasticNet; KNN; Случайный лес; CatBoost; XGBoost (варианты градиентного бустинга). Метрики оценки включали: Коэффициент детерминации (R^2); Mean Squared Error (MSE); Mean Absolute Percentage Error (MAPE); Коэффициент силуэта (для кластеров).

Цели анализа:

- Урожайность зерновых (кг/га) — анализ зависимости от пахотных земель, осадков, удобрений.
- Доля сельского хозяйства в ВВП (%) — оценка влияния макроэкономических факторов.
- Экспорт и импорт сельхозпродукции (%) — влияние производственных и климатических факторов.

Этап 5. Фильтрация моделей по экономической логике. Для отбора моделей учитывались логические (соответствие экономической логике) связи между признаками и целевыми переменными, а также исключались модели с противоречивыми или нелогичными результатами. В результате выделены модели, соответствующие научным и практическим требованиям для каждой цели анализа.

Результаты и обсуждение исследования. Анализ временных рядов основных показателей стран ЕАЭС за период с 2000 по 2022 гг. выявил закономерности в развитии сельскохозяйственного сектора и макроэкономических индикаторов. В исследовании были проанализированы аграрные, макроэкономические, демографические и природно-климатические параметры.

1. Анализ ключевых трендов и закономерностей. Таблица 1 систематизирует параметры, используемые для анализа временных рядов, с указанием их категорий, единиц измерения и идентификаторов. Исследование охватывает спектр показателей, отражающих состояние и динамику сельскохозяйственного комплекса стран ЕАЭС.

На рисунке 1 представлена динамика урожайности зерновых в странах ЕАЭС. Наибольшие значения показателей зафиксированы в Беларуси, где наблюдается устойчивый рост до 2020 г. Казахстан и Кыргызстан демонстрируют значительные колебания, что свидетельствует о высокой чувствительности их сельскохозяйственного производства к внешним и внутренним факторам. Россия и Армения показывают рост урожайности, что указывает на прогресс в агротехнологиях.

На рисунке 2 представлена динамика доли сельского хозяйства в ВВП. Во всех странах ЕАЭС отмечается снижение значимости сектора. Казахстан и Кыргызстан демонстрируют наиболее резкое падение, связанное с диверсификацией



Таблица 1. Основные параметры для анализа временных трендов в АПК
Table 1. The main parameters for analyzing time trends in agriculture

| Категория | Показатель |
|------------------------------------|---|
| Аграрные показатели | Пахотные земли (%) |
| | Орошаемые земли (%) |
| | Потребление удобрений (кг/га) |
| | Урожайность зерновых (кг/га) |
| | Использование воды в сельском хозяйстве (%) |
| Макроэкономические показатели | ВВП (текущие долл. США) |
| | ВВП по ППС (текущие международные долл. США) |
| | Темпы роста ВВП (%) |
| | Доля сельского хозяйства в ВВП (%) |
| | Занятость в сельском хозяйстве (%) |
| | Экспорт сельхозпродукции (%) |
| | Импорт сельхозпродукции (%) |
| Демографические показатели | Общая численность населения |
| | Рост населения (%) |
| | Доля сельского населения (%) |
| | Доля городского населения (%) |
| Природно-климатические показатели | Среднегодовая температура (°C) |
| | Среднегодовое количество осадков (мм) |
| | Площадь лесов (% от земельной площади) |
| | Расходы на исследования и разработки (% от ВВП) |
| Финансово-экономические индикаторы | Инфляция (индекс потребительских цен, %) |
| | Открытость торговли (% от ВВП) |
| | Доступ к электричеству (% населения) |
| Инфраструктурные показатели | |

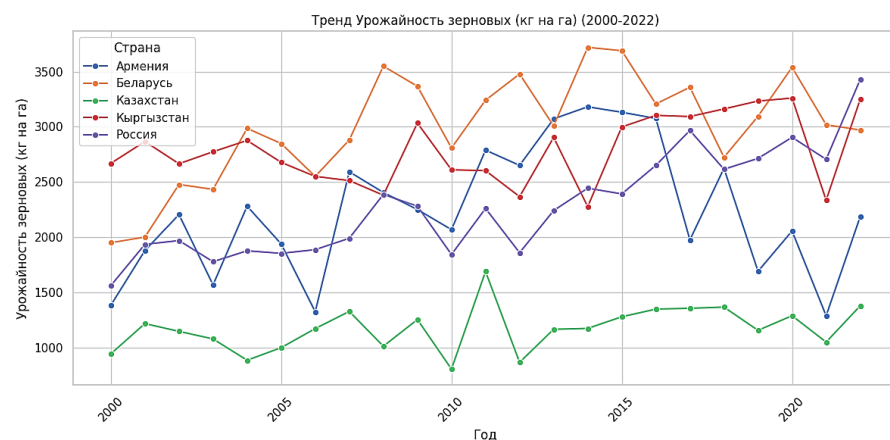


Рисунок 1. Тренд урожайности зерновых (2000-2022 гг.), кг/га
Figure 1. Grain yield trend (2000-2022), kg/ha

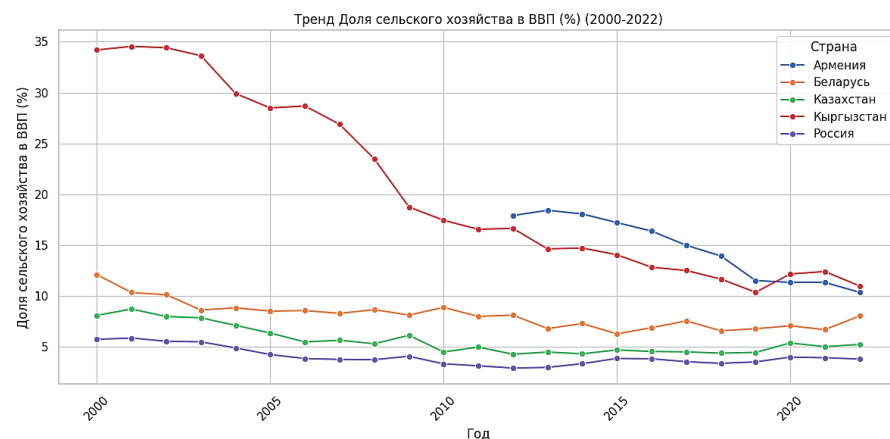


Рисунок 2. Тренд доли сельского хозяйства в ВВП (2000-2022 гг.), %
Figure 2. Trend of the share of agriculture in GDP (2000-2022), %

экономики. Россия и Беларусь сохраняют более стабильный тренд, что указывает на значимость сельского хозяйства в их экономике.

Рисунок 3 отражает динамику темпов роста ВВП стран ЕАЭС. Экономическая нестабильность выражается резкими спадами в 2009 и 2020 гг., вызванными глобальными кризисами. Казахстан демонстрирует наиболее устойчивый рост, в то время как в других странах зафиксированы значительные колебания.

Анализ выявил разнообразие динамик среди стран ЕАЭС, что обусловлено различиями в их экономической структуре, уровнях развития сельского хозяйства и природно-климатических условиях. Такой подход предоставляет глубокое понимание влияния исследуемых факторов на сельскохозяйственный комплекс региона.

2. Группировка стран на основе временных характеристик. Анализ стран ЕАЭС проводился методом кластеризации на основании ключевых показателей, таких как аграрные, демографические и природно-климатические параметры. Для выявления закономерностей использованы методы снижения размерности (PCA) и расчет временных характеристик, включая средние значения, стандартные отклонения и тренды.

Результаты определения оптимального числа кластеров методом «локтя» и оценки коэффициента силуэта показали, что оптимальное количество кластеров равно трем. На рисунке 4 представлены страны ЕАЭС в координатах первых двух главных компонент PCA, которые объясняют 34,46 и 32,09% общей дисперсии. Основные переменные, оказывающие влияние на PC1, включают демографические показатели и долю пахотных земель, а на PC2 — климатические характеристики и уровень занятости в сельском хозяйстве.

На основании усредненных значений показателей выделены следующие группы стран (табл. 2).

- Описание кластеров:
- Кластер 0 (Беларусь). Отличается высокой урожайностью зерновых (2995 кг/га) и наибольшей долей пахотных земель (27,75%). Низкий уровень занятости в сельском хозяйстве (13,33%) свидетельствует о значительной механизации и применении современных технологий. Рекомендуется усилить экспортную ориентацию и диверсифицировать продукцию для укрепления экономических позиций.
 - Кластер 1 (Россия и Казахстан). Характеризуется крупнейшими экономиками региона с высоким средним уровнем ВВП (744,5 млрд долл. США). Умеренная доля сельскохозяйственной занятости (16,59%) и пахотных земель (9,12%) свидетельствуют о высокой роли промышленности и урбанизации. Перспективные направления включают модернизацию сельскохозяйственных технологий и улучшение использования земельных ресурсов.
 - Кластер 2 (Армения и Кыргызстан). Сельскохозяйственная специализация обусловлена значительной долей занятости в аграрном секторе (43,71%) и сельского населения (50,33%). Основными вызовами являются недостаточная инфраструктура и низкая механизация. Рекомендуется развивать инфраструктурные проекты и внедрять современные агротехнологии для повышения эффективности.



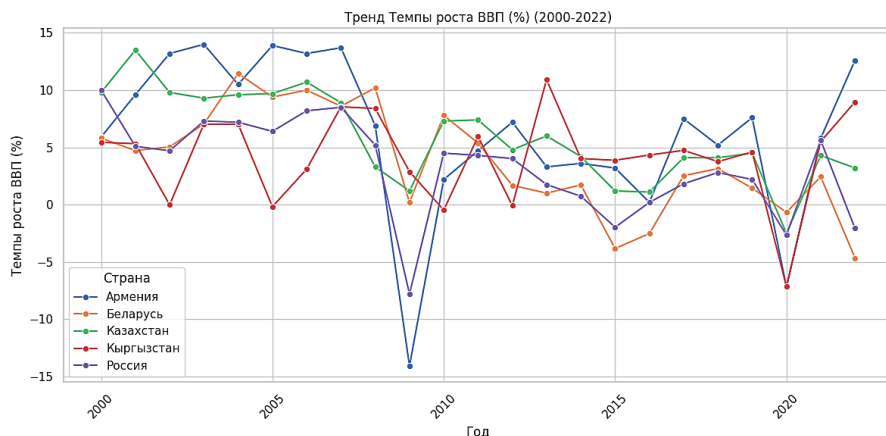


Рисунок 3. Тренд темпов роста ВВП (2000-2022 гг.), %
Figure 3. Trend of GDP growth rates (2000-2022), %

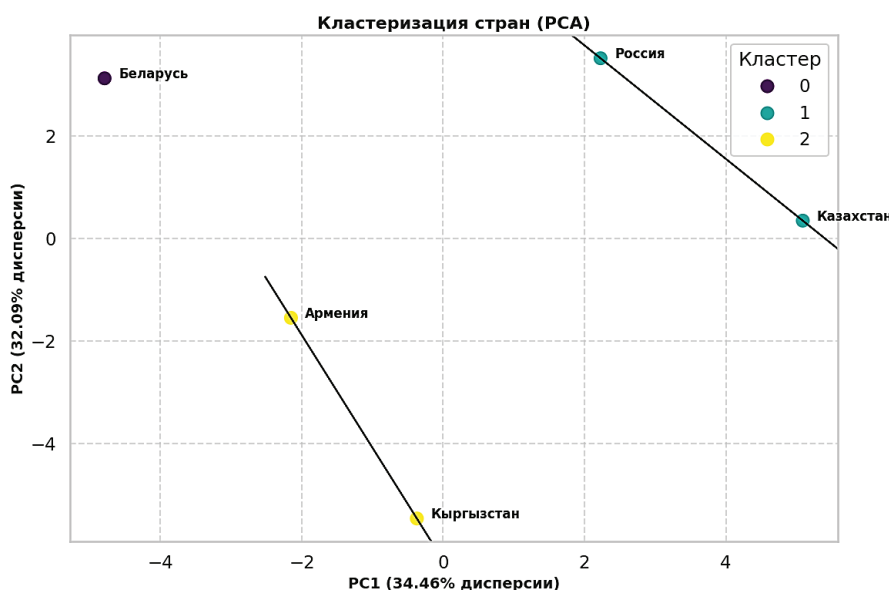


Рисунок 4. Результаты кластеризации стран ЕАЭС на основе PCA
Figure 4. The results of clustering of the EAEU countries based on PCA

Таблица 2. Характеристики кластеров на основе PCA
Table 2. Characteristics of PCA-based clusters

| Показатель | Кластер 0: Беларусь | Кластер 1: Россия, Казахстан | Кластер 2: Армения, Кыргызстан |
|------------------------------------|---------------------|------------------------------|--------------------------------|
| Урожайность зерновых (кг/га) | 2995 | 1728 | 2518 |
| Доля пахотных земель (%) | 27,75 | 9,12 | 11,27 |
| Занятость в сельском хозяйстве (%) | 13,33 | 16,59 | 43,71 |
| Доля сельского населения (%) | 24,79 | 34,58 | 50,33 |
| Среднегодовая температура (°C) | 6,8 | 5,5 | 7,2 |

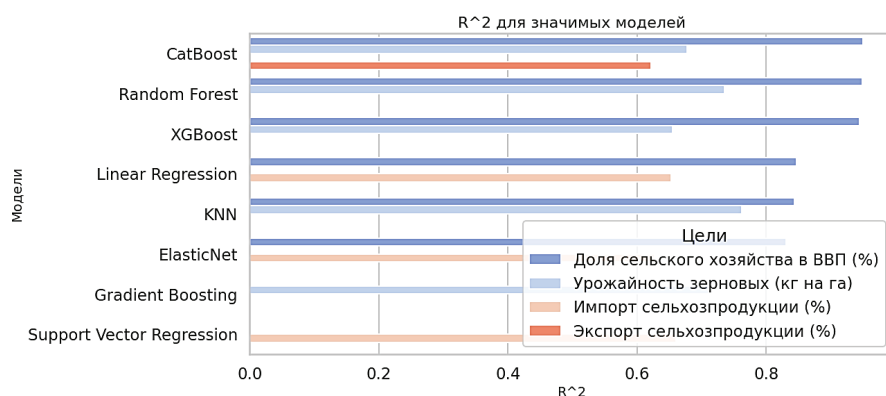


Рисунок 5. Распределение значений R²
Figure 5. Distribution of R² values

Группировка стран на основе аграрных и макроэкономических характеристик демонстрирует различия в ресурсном потенциале и стратегии использования сельскохозяйственных активов. Выделенные кластеры позволяют предложить дифференцированные стратегии развития:

- Развитие экспортного потенциала для стран с высокой продуктивностью (кластер 0).
- Оптимизация аграрной и промышленной структуры в странах с крупной экономикой (кластер 1).
- Модернизация аграрного сектора в странах с доминирующим сельскохозяйственным уклоном (кластер 2).

Применение данного подхода способствует повышению эффективности использования ресурсного потенциала стран ЕАЭС и укреплению продовольственной безопасности региона

3. Эконометрический анализ и моделирование. Поиск взаимосвязей сельскохозяйственных показателей стран ЕАЭС выполнен с использованием современных методов машинного обучения и регрессионного анализа. Модели оценивались по четырем основным целям: урожайность зерновых, доля сельского хозяйства в ВВП, экспорт и импорт сельхозпродукции. Основные результаты представлены в таблице 3.

Среди примененных моделей наиболее высокие значения коэффициента R² продемонстрировали ансамблевые методы, включая CatBoost, Random Forest, Gradient Boosting, а также линейные модели, такие как Linear Regression и ElasticNet. Результаты визуализации (рис. 5) демонстрируют, что модели CatBoost и Random Forest наиболее точно прогнозируют зависимость для всех целевых переменных.

4. Результаты фильтрации моделей по экономической логике. Фильтрация выполнена с учетом следующих аспектов: соответствие влияния факторов экономической теории; устойчивость метрик R², Adjusted R², Cross-Validation R² и MAPE; выборка факторов, наиболее значимых для каждой целевой переменной. Результаты представлены в таблице 4.

После анализа были выделены качественные модели, удовлетворяющие критериям экономической логики:

- Доля сельского хозяйства в ВВП. Модели Linear Regression и CatBoost продемонстрировали высокий уровень точности (R²=0,847-0,950). Экономическая логика моделей подтверждается выявлением значимости экспорта, занятости и использования водных ресурсов для доли сельского хозяйства в ВВП.
- Урожайность зерновых. Методы Random Forest и Gradient Boosting продемонстрировали высокую точность в моделировании урожайности зерновых (R²=0,735-0,713). Основное влияние оказывают удобрения, осадки и площадь лесов.
- Экспорт сельхозпродукции. CatBoost выявил устойчивую связь между экспортной ориентацией, урожайностью зерновых и использованием удобрений, подтверждая зависимость от производственных факторов.

Выводы. В исследовании получены следующие ключевые выводы:

1. Проведенный анализ сельскохозяйственного потенциала стран ЕАЭС на основе методов кластеризации подтвердил целесообразность



Таблица 3. Статистически значимые модели
Table 3. Statistically significant models

| Цель | Модель | R ² | Adjusted R ² | MAPE | Основные факторы |
|--------------------------------|---------------------------|----------------|-------------------------|--------|--|
| Урожайность зерновых | KNN | 0,7626 | 0,6736 | 10,08% | Пахотные земли, осадки, удобрения |
| Доля сельского хозяйства в ВВП | CatBoost | 0,9499 | 0,9266 | 11,17% | Темпы роста ВВП, занятость, использование воды |
| Экспорт сельхозпродукции | CatBoost | 0,6213 | 0,5099 | 20,70% | Импорт, урожайность зерновых |
| Импорт сельхозпродукции | Support Vector Regression | 0,6602 | 0,5327 | 17,39% | Экспорт, пахотные земли |

Таблица 4. Результаты фильтрации моделей по экономической логике
Table 4. Results of filtering models by economic logic

| Целевая переменная | Модель | R ² | Adjusted R ² | Cross-Validation R ² | Значимые факторы | Описание влияния факторов |
|------------------------------------|-------------------|----------------|-------------------------|---------------------------------|--|---|
| Доля сельского хозяйства в ВВП (%) | Linear Regression | 0,847 | 0,776 | 0,641 | Использование воды (+4,19), экспорт (+2,86), ВВП (-0,21) | Водные ресурсы доминируют в объяснении доли сектора. Экспорт и занятость оказывают положительное влияние. |
| | CatBoost | 0,950 | 0,927 | 0,868 | Использование воды (+45,06), экспорт (+13,42), занятость (+6,71) | Высокая точность. Основные факторы: водные ресурсы и внешнеторговая ориентация. |
| Урожайность зерновых (кг/га) | Random Forest | 0,735 | 0,636 | 0,646 | Удобрения (+0,37), лесные площади (+0,26), осадки (+0,16) | Удобрения — ключевой фактор. Климатические факторы (осадки, температура) также значимы. |
| | Gradient Boosting | 0,713 | 0,605 | 0,686 | Удобрения (+0,51), лесные площади (+0,24), осадки (+0,18) | Подтверждает важность агротехнологий и климатических условий. |
| | CatBoost | 0,677 | 0,556 | 0,717 | Удобрения (+20,0), лесные площади (+15,97), осадки (+11,94) | Высокая значимость агрохимии и климатических ресурсов для роста урожайности. |
| Экспорт сельхозпродукции (%) | CatBoost | 0,621 | 0,510 | 0,228 | Импорт (+26,64), урожайность (+19,60), удобрения (+24,70), открытость торговли (+12,0) | Импорт как фактор переработки для экспорта. Урожайность и удобрения поддерживают конкурентоспособность. |
| Импорт сельхозпродукции (%) | CatBoost | 0,621 | 0,510 | 0,228 | Экспорт (-26,64), пахотные земли (-0,45), открытость торговли (+) | Импорт падает с ростом экспорта и увеличением пахотных земель. Открытость торговли способствует росту. |

разделения стран по уровням аграрной специализации и эффективности использования ресурсов. Применение анализа главных компонент (PCA) позволило выделить три группы стран: Беларусь, обладающая высокой урожайностью и развитой аграрной инфраструктурой; Россия и Казахстан с умеренными показателями на фоне крупных макроэкономических масштабов; Армения и Кыргызстан, характеризующиеся высокой долей занятости в сельском хозяйстве и значительным сельским населением.

2. Эконометрический анализ, проведенный с использованием методов машинного обучения, выявил устойчивые зависимости между сельскохозяйственными показателями и ключевыми экономическими и природно-климатическими факторами. Ансамблевые методы, такие как CatBoost, Random Forest и Gradient Boosting, обеспечили высокие значения R² для целевых переменных, демонстрируя точность в моделировании нелинейных взаимосвязей. Линейные модели, включая Linear Regression и ElasticNet, продемонстрировали адекватную точность в моделировании доли сельского хозяйства в ВВП, подтверждая адекватность традиционных методов для анализа определенных показателей.

3. Фильтрация моделей по критериям экономической логики выявила соответствие теоретическим ожиданиям значимых факторов для каждой целевой переменной. Для доли сельского хозяйства в ВВП были определяющими такие показатели, как экспорт, занятость, использование воды и ВВП. Урожайность зерновых показала высокую зависимость от удобрений, климатических условий и природных ресурсов. Экспорт сельхозпродукции находился под влиянием урожайности зерновых, удобрений и степени открытости торговли, что соответствует принципам экспортно-ориентированного сельского хозяйства.

Результаты исследования подчеркивают необходимость системного подхода к планированию аграрной политики стран ЕАЭС. Применение кластерного анализа и методов машинного обучения позволяет интегрировать количественные данные с теоретическими концепциями для обоснования аграрной политики, что создает предпосылки для разработки точечных стратегий развития аграрного сектора. Беларуси рекомендуется укреплять экспортный аграрный центр, России и Казахстану целесообразно сосредоточиться на модернизации сельского хозяйства и рациональном использовании ресурсов, в то время как для Армении и Кыргызстана рекомендуется активное развитие инфраструктуры и внедрение инновационных агротехнологий.

Список источников

- Долгов В.С. Экономика сельского хозяйства. СПб.: Лань, 2019. 124 с.
- Попова В.Б., Смагин Б.И. Экономико-статистическое исследование эффективности аграрного производства. Мичуринск: Мичуринский ГАУ, 2010. 166 с.
- Msangi, S., MacEwan, D. (2019). Applied Methods for Agriculture and Natural Resource Management: A Festschrift in Honor of Richard E. Howitt. Cham: Springer.
- Зайцев А.А., Дмитриев Н.Д., Родионов Д.Г. Инструментарий диагностики продовольственной безопасности территории как составляющей ее ресурсного потенциала // Международный сельскохозяйственный журнал. 2024. № 2. С. 144-148.
- Кот Е.М., Пильникова И.Ф., Горбунова О.С., Малькова Ю.В., Петрякова С.В. Роль экономического анализа в сельском хозяйстве // Образование и право. 2024. № 2. С. 206-210.
- Зайцев А.А., Дмитриев Н.Д., Михель Е.А. Структурно-аналитическая модель ресурсного потенциала в системе экономических отношений // Международный сельскохозяйственный журнал. 2024. № 1. С. 32-36.
- Акиндинов В.В., Лосева А.С., Клинина С.И., Акиндинов К.В. Применение эконометрических моделей в ана-

лизе сельскохозяйственного производства // Наука и образование. 2022. Т. 5. № 4. С. 236.

8. Потапов А.П. Моделирование влияния ресурсных факторов на выпуск продукции аграрного производства // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. 2020. № 4. С. 154-168.

9. Полянин А.В., Родионов Д.Г. Методологические аспекты региональной экономической политики на основе ориентации предпринимательских структур // Региональная и отраслевая экономика. 2024. № 1. С. 67-73.

10. Полянин А.В., Родионов Д.Г. Индустриализация предпринимательских структур в рамках региональной экономической политики // Индустриальная экономика. 2023. № 5. С. 91-96.

11. Karavdin, A.A. (2021). Analysis of Mutual Agricultural Trade of the EAEU Countries on the Basis of the Trade Complementarity Index in a Framework of Integration and Globalization Processes. In: Popkova, E.G., Sergi, B.S. (eds). Modern Global Economic System: Evolutional Development vs. Revolutionary Leap. Lecture Notes in Networks and Systems, vol. 198, Springer Cham.

12. Maslova, V., Zarak, N., Fuchs, C., Avdeev, M. (2019). Competitiveness of Agricultural Products in the Eurasian Economic Union. *Agriculture*, no. 9 (3), p. 61.

13. Алибаев Е.А., Онучко М.Ю. Финансирование сельского хозяйства как основа обеспечения продовольственной безопасности Казахстана в условиях ЕАЭС // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2022. Т. 14. № 6. С. 404-422.

14. Guo, R., Qiu, X., He, Y. (2021). Research on Agricultural Cooperation Potential Between China and CEE Countries Based on Resource Complementarity. *Mathematics*, no. 9 (5), p. 503.

15. Формирование новой стратегии России: от экономической устойчивости к опережающему развитию / под ред. В.В. Сорокожердьева. М.: Научно-исследовательский институт истории, экономики и права, 2024. 266 с.

16. Ainakulov, Z., Akhmetov, K., Osipov, S., Kurmankulova, G., Tengaeva, A., Schüle, H., Kurmanbek, T. (2024). Economic and Mathematical Modelling of Estimating the Use of Basic Production Resources of Agricultural Formations. *AIP Conference Proceedings*, no. 3033 (1), p. 020022.





17. Berishvili, O., Rudneva, T., Pecherskaya, E., Karaseva, E. (2019). Pedagogical Tools and Economic and Mathematical Methods in Agricultural Production Management. In: Mantulenko, V. (ed). Global Challenges and Prospects of the Modern Economic Development. European Proceedings of Social and Behavioural Sciences, vol. 57, pp. 166-176.

18. Kukushina, O., Okomina, E. (2019). Assessing the Impact of Resource Potential on the Results of Agricultural Activity. In: Trifonov, V.A. (ed.). Contemporary Issues of Economic Development of Russia: Challenges and Opportunities. *European Proceedings of Social and Behavioural Sciences*, vol. 59, pp. 408-415.

19. Родионов Д.Г., Еремина И.А., Александрович Ю.А. Особенности применения инновационных технологий продвижения продукции в условиях импортозамещения // Естественно-гуманитарные исследования. 2023. № 6 (50). С. 400-406.

20. Zaytsev, A., Dmitriev, N., Barykin, S. (2023). Resource Potential of Socio-Economic Development in the Regional Sustainability Context: The Role of Energy Security and Environment. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 1275, p. 012041.

21. Zaytsev, A., Dmitriev, N., Sebbaggala, T. (2022). Economic Aspects of Green Energy Development in the Context of Maintaining Strategic Sustainability and Environmental Conservation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, no. 1111, p. 012080.

22. Шахвалеева С.Т. Моделирование экономических аспектов сельского хозяйства в Российской Федерации // Вестник науки. 2023. № 12 (69). С. 1140-1142.

References

1. Dolgov, V.S. (2019). *Ehkonomika sel'skogo khozyaistva* [Economics of agriculture]. Saint-Petersburg, Lan' Publ., 124 p.

2. Popova, V.B., Smagin, B.I. (2010). *Ehkonomiko-statisticheskoe issledovanie ehffektivnosti agrarnogo proizvodstva* [Economic and statistical study of agricultural production efficiency]. Michurinsk, Michurinsky State Agrarian University, 166 p.

3. Msangi, S., MacEwan, D. (2019). *Applied Methods for Agriculture and Natural Resource Management: A Festschrift in Honor of Richard E. Howitt*. Cham: Springer.

4. Zaitsev, A.A., Dmitriev, N.D., Rodionov, D.G. (2024). Instrumentarii diagnostiki prodovol'stvennoi bezopasnosti territorii kak sostavlyayushchei ee resursnogo potentsiala [Toolkit for diagnosing food security of a territory as a component of its resource potential]. *Mezhdunarodnyi sel'skokhozyaistvennyi zhurnal* [International agricultural journal], no. 2, pp. 144-148.

5. Kot, E.M., Pil'nikova, I.F., Gorbunova, O.S., Mal'kova, Yu.V., Petryakova, S.V. (2024). Rol' ehkonomicheskogo analiza v sel'skom khozyaistve [The role of economic analysis in agriculture]. *Obrazovanie i pravo* [Education and law], no. 2, pp. 206-210.

6. Zaitsev, A.A., Dmitriev, N.D., Mikhel', E.A. (2024). Strukturno-analiticheskaya model' resursnogo potentsiala v sisteme ehkonomicheskikh otnoshenii [Structural-analytical model of resource potential in the system of economic relations]. *Mezhdunarodnyi sel'skokhozyaistvennyi zhurnal* [International agricultural journal], no. 1, pp. 32-36.

7. Akindinov, V.V., Loseva, A.S., Kilina, S.I., Akindinov, K.V. (2022). Primenenie ehkonometricheskikh modelei v analize sel'skokhozyaistvennogo proizvodstva [Application of econometric models in the analysis of agricultural production]. *Nauka i obrazovanie* [Science and education], vol. 5, no. 4, p. 236.

8. Potapov, A.P. (2020). Modelirovanie vliyaniya resurnykh faktorov na vypusk produktsii agrarnogo proizvodstva [Modeling the influence of resource factors on the output of agricultural production]. *Ehkonomicheskie i sotsial'nye peremeny: fakty, tendentsii, prognoz* [Economic and social changes: facts, trends, forecast], no. 4, pp. 154-168.

9. Polyanin, A.V., Rodionov, D.G. (2024). Metodologicheskie aspekty regional'noi ehkonomicheskoi politiki na osnove orientatsii predprinimatel'skikh struktur [Methodological aspects of regional economic policy based on the orientation of entrepreneurial structures]. *Regional'naya i otraslevaya ehkonomika* [Regional and sectoral economy], no. 1, pp. 67-73.

10. Polyanin, A.V., Rodionov, D.G. (2023). Industrializatsiya predprinimatel'skikh struktur v ramkakh regional'noi ehkonomicheskoi politiki [Industrialization of entrepreneurial structures within regional economic policy]. *Industrial'naya ehkonomika* [Industrial economy], no. 5, pp. 91-96.

11. Karavdin, A.A. (2021). Analysis of Mutual Agricultural Trade of the EAEU Countries on the Basis of the Trade Complementarity Index in a Framework of Integration and Globalization Processes. In: Popkova, E.G., Sergi, B.S. (eds.) *Modern Global Economic System: Evolutional Development vs. Revolutionary Leap*. Lecture Notes in Networks and Systems, vol. 198, Springer Cham.

12. Maslova, V., Zarak, N., Fuchs, C., Adevde, M. (2019). Competitiveness of Agricultural Products in the Eurasian Economic Union. *Agriculture*, no. 9 (3), p. 61.

13. Alibaev, E.A., Onuchko, M.Yu. (2022). Finansirovanie sel'skogo khozyaistva kak osnova obespecheniya prodovol'stvennoi bezopasnosti Kazakhstana v usloviyakh EAEHS [Financing agriculture as the basis for ensuring food security of Kazakhstan in the EAEU conditions]. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, vol. 14, no. 6, pp. 404-422.

14. Guo, R., Qiu, X., He, Y. (2021). Research on Agricultural Cooperation Potential Between China and CEE Countries Based on Resource Complementarity. *Mathematics*, no. 9 (5), p. 503.

15. Sorokozher'dev, V.V. (ed.) (2024). *Formirovanie novoi strategii Rossii: ot ehkonomicheskoi ustoychivosti k operezhayushchemu razvitiyu* [Formation of a new strategy for Russia: from economic stability to accelerated development]. Moscow, Research Institute of History, Economics and Law, 266 p.

16. Ainakulov, Z., Akhmetov, K., Ospanov, S., Kurmankulova, G., Tengaeva, A., Schüle, H., Kurmanbek, T. (2024). Economic and Mathematical Modelling of Estimating the Use of Basic Production Resources of Agricultural Formations. *AIP Conference Proceedings*, no. 3033 (1), p. 020022.

17. Berishvili, O., Rudneva, T., Pecherskaya, E., Karaseva, E. (2019). Pedagogical Tools and Economic and Mathematical Methods in Agricultural Production Management. In: Mantulenko, V. (ed.) Global Challenges and Prospects of the Modern Economic Development. European Proceedings of Social and Behavioural Sciences, vol. 57, pp. 166-176.

18. Kukushina, O., Okomina, E. (2019). Assessing the Impact of Resource Potential on the Results of Agricultural Activity. In: Trifonov, V.A. (ed.). Contemporary Issues of Economic Development of Russia: Challenges and Opportunities. *European Proceedings of Social and Behavioural Sciences*, vol. 59, pp. 408-415.

19. Rodionov, D.G., Eremina, I.A., Aleksandrovich, Yu.A. (2023). Osobennosti primeneniya innovatsionnykh tekhnologii proizvodzeniya produktsii v usloviyakh importozameshcheniya [Features of applying innovative promotion technologies under import substitution conditions]. *Estestvenno-gumanitarnye issledovaniya* [Natural-humanitarian studies], no. 6 (50), pp. 400-406.

20. Zaytsev, A., Dmitriev, N., Barykin, S. (2023). Resource Potential of Socio-Economic Development in the Regional Sustainability Context: The Role of Energy Security and Environment. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 1275, p. 012041.

21. Zaytsev, A., Dmitriev, N., Sebbaggala, T. (2022). Economic Aspects of Green Energy Development in the Context of Maintaining Strategic Sustainability and Environmental Conservation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, no. 1111, p. 012080.

22. Shakhvaleeva, S.T. (2023). Modelirovanie ehkonomicheskikh aspektov sel'skogo khozyaistva v Rossiiskoi Federatsii [Modeling the economic aspects of agriculture in the Russian Federation]. *Vestnik nauki* [Bulletin of science], no. 12 (69), pp. 1140-1142.

Информация об авторах:

Родионов Дмитрий Григорьевич, доктор экономических наук, профессор, директор Высшей инженерно-экономической школы, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1254-0464>, Scopus ID: 56087793300, Researcher ID: A-9693-2017, SPIN-код: 2889-8516, drodionov@spbstu.ru

Дмитриев Николай Дмитриевич, кандидат экономических наук, доцент Высшей инженерно-экономической школы, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0282-1163>, Scopus ID: 57220424916, Researcher ID: AAB-3198-201, SPIN-код: 9261-2023, dmitriev_nd@spbstu.ru

Агузарова Фатима Савкуевна, кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры финансов, бухгалтерского учета и налогообложения, Северо-Осетинский государственный университет имени Коста Левановича Хетагурова, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2699-8561>, Scopus ID: 55935098400, Researcher ID: B-1722-2014, SPIN-код: 1274-8419, aguzarus@yandex.ru

Information about the authors:

Dmitry G. Rodionov, doctor of economic sciences, professor, director of the Graduate school of industrial economics, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1254-0464>, Scopus ID: 56087793300, Researcher ID: A-9693-2017, SPIN-code: 2889-8516, drodionov@spbstu.ru

Nikolay D. Dmitriev, candidate of economic sciences, associate professor of the Graduate school of industrial economics, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0282-1163>, Scopus ID: 57220424916, Researcher ID: AAB-3198-201, SPIN-code: 9261-2023, dmitriev_nd@spbstu.ru

Fatima S. Aguzarova, candidate of economic sciences, associate professor, associate professor of the department of finance, accounting and taxation, North Ossetian State University named after Kosta Levonovich Khetagurov, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2699-8561>, Scopus ID: 55935098400, Researcher ID: B-1722-2014, SPIN-code: 1274-8419, aguzarus@yandex.ru