 © Авторы статьи / Authors of the article

РЕГИОНАЛЬНАЯ И ОТРАСЛЕВАЯ ЭКОНОМИКА/REGIONAL AND SECTORAL ECONOMICS

DOI: https://doi.org/10.60797/JAE.2026.73.13 EDN: YZWPZP

ДВУХЭТАПНАЯ ЭКОНОМЕТРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗЕМЕЛЬ ПОД ПЛОДОВЫМИ НАСАЖДЕНИЯМИ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Научная статья

Мурашева А.А.[1], *, Рудой А.А.[2]
[1] ORCID : 0000-0002-8221-8008;
[2] ORCID : 0009-0006-3869-6500;
[1] Государственный университет по землеустройству, Москва, Российская Федерация
[2] Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, Горки, Беларусь

* Корреспондирующий автор (amur.2gis[at]gmail.com)

Предложена: 10.08.2026; Принята: 03.09.2026; Опубликована: 18.09.2026

Аннотация

В статье предложена двухэтапная эконометрическая модель оценки эффективности использования земель, занятых плодовыми насаждениями, применительно к условиям Республики Беларусь. Методический подход основан на последовательном моделировании производственных и экономических результатов: на первом этапе исследуется влияние производственных факторов на урожайность плодовых культур с использованием производственной функции Кобба–Дугласа, на втором — оценивается влияние факторов на прибыль в расчете на 1 га насаждений. Эмпирической базой исследования послужили данные 40 сельскохозяйственных организаций Республики Беларусь за 2022–2024 гг., приведенные к сопоставимому виду. Полученные результаты показали, что наибольшее влияние на урожайность оказывают затраты на удобрения и средства защиты растений, а также затраты труда. Установлено, что ключевыми факторами формирования прибыли являются урожайность, цена реализации продукции, затраты на оплату труда и расходы по организации производства. Предлагаемая модель позволяет разграничить воздействие производственных и экономических факторов, повысить обоснованность оценки эффективности использования сельскохозяйственных земель и может применяться при планировании производства, принятии инвестиционных решений и совершенствовании управления в товарном плодоводстве.

Ключевые слова: эконометрическая модель; эффективность использования земель; товарное плодоводство; плодовые насаждения; производственная функция Кобба–Дугласа; урожайность; прибыль; Республика Беларусь.

A TWO-STAGE ECONOMETRIC MODEL FOR ASSESSING THE EFFICIENCY OF LAND USE FOR FRUIT PLANTATIONS IN THE REPUBLIC OF BELARUS

Research article

Murasheva A.A.[1], *, Rudoi A.[2]
[1] ORCID : 0000-0002-8221-8008;
[2] ORCID : 0009-0006-3869-6500;
[1] State University of Land Use Planning, Moscow, Russian Federation
[2] Belarusian State Agricultural Academy, Gorki, Belarus

* Corresponding author (amur.2gis[at]gmail.com)

Suggested: 10.08.2026; Accepted: 03.09.2026; Published: 18.09.2026

Abstract

The article proposes a two-stage econometric model for assessing the efficiency of land use in fruit plantations, as applied to the conditions in the Republic of Belarus. The methodological approach is based on the sequential modelling of production and economic outcomes: in the first stage, the influence of production factors on the yield of fruit crops is examined using the Cobb–Douglas production function; in the second stage, the influence of these factors on profit per hectare of orchard is evaluated. The empirical basis for the study was data from 40 agricultural organisations in the Republic of Belarus for the years 2022–2024, standardised to ensure comparability. The results showed that the greatest influence on yield is exerted by expenditure on fertilisers and plant protection products, as well as labour costs. It has been established that the key factors determining profit are crop yield, the selling price of produce, labour costs and production organisation expenses. The suggested model makes it possible to distinguish between the effects of production and economic factors, improves the validity of assessments of the efficiency of agricultural land use, and can be applied in production planning, investment decision-making and the improvement of management in commercial fruit growing.

Keywords: econometric model, land use efficiency, commercial fruit growing, fruit plantations, Cobb–Douglas production function, yield, profit, Republic of Belarus.

Введение

Сельскохозяйственные земли представляют собой основной производственный ресурс, обеспечивающий продовольственную безопасность, развитие сельских территорий и устойчивое функционирование сельскохозяйственных организаций. Поэтому повышение эффективности использования сельскохозяйственных земель

 © Авторы статьи / Authors of the article

является одним из ключевых направлений исследований в сфере аграрной экономики, землеустройства и экологической политики. Современные исследования показывают, что при оценке эффективности землепользования следует учитывать не только производственные показатели, но и экономические результаты [1], [2].

Эффективность использования сельскохозяйственных земель определяется совокупностью экономических, технологических, организационных и экологических факторов. Вопросы организации землепользования зависят от ожидаемой экономической отдачи, производственных технологий, государственного регулирования и пространственных характеристик сельскохозяйственных земель. В связи с этим количественное моделирование является эффективным инструментом для анализа взаимосвязей между факторами производства и экономическими показателями [3].

В международной практике все чаще применяют эконометрические модели в вопросах использования сельскохозяйственных земель, поскольку они позволяют исследователям оценивать вклад отдельных факторов производства в рамках единой аналитической модели [3].

Европейский опыт показывает, что изменения в землепользовании в сельском хозяйстве обусловлены сложным взаимодействием экономических стимулов, технологического прогресса, институционального развития и региональных особенностей. Эти факторы совместно определяют как продуктивность земель, так и долгосрочную эффективность землепользования [4].

Вопросы организации рационального использования земель сельскохозяйственного назначения, включая аспекты внутрихозяйственного землеустройства, детально проработаны С.Н. Волковым и соавторами [5]. Важность эффективного управления землепользованием подчеркивают в своей статье Н.В. Комов и соавторы [6]. Необходимость повышения эффективности выращивания многолетних насаждений отмечают А.М. Бондаренко и Л.С. Качанова [7].

По мнению И.А. Минакова, непременным условием повышения эффективности плодоводства является формирование отлаженного экономического механизма функционирования плодоводческих организаций [8].

Углубление рыночных отношений и конкуренция требуют создания такой системы хозяйствования, которая бы экономическими рычагами принуждала всех работников находить резервы экономии затрат, повышения качества продукции на пути интеграции, с тем чтобы обеспечить конкурентоспособность продукции на внутреннем и внешнем рынках [9]. В 2017 году была принята Национальная стратегия устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2030 года [10]. В рамках этой «стратегии» ставиться цель формирования конкурентоспособного на мировом рынке и экологически безопасного производства сельскохозяйственных продуктов, необходимых для поддержания достигнутого уровня продовольственной безопасности, обеспечения полноценного питания и здорового образа жизни населения при сохранении плодородия почв.

Изучение развития плодового производства в мире А.И. Завражновым, В.А. Потаповым показало, что ключевым направлением повышения эффективности плодоводства является интенсификация производства [11]. Это предполагает существенные вложения на единицу площади.

Вопросы эффективности современных технологий возделывания и оценки продуктивности плодовых культур в интенсивных садах рассматриваются в работах А.Ю. Трунова с соавторами [12].

В последние годы моделирование в плодоводстве получило широкое распространение, охватывая задачи от прогнозирования продуктивности до оптимизации управления ресурсами [13].

При этом, несмотря на значительный прогресс в исследованиях в области землепользования, относительно мало исследований одновременно анализируют факторы сельскохозяйственной производительности и экономической эффективности в рамках единой эконометрической модели.

Цель исследования заключается в разработке и эмпирической проверке двухэтапной эконометрической модели для оценки эффективности использования сельскохозяйственных земель в товарном плодоводстве путем моделирования взаимосвязей между факторами производства, урожайностью насаждений и экономическими показателями с использованием данных сельскохозяйственных организаций Республики Беларусь.

Теоретической и методологической основой эконометрического моделирования, включая оценку параметров методом наименьших квадратов, проверку мультиколлинеарности факторов и статистической значимости моделей, послужили положения, изложенные в работах по эконометрике [14] и корреляционно-регрессионному анализу [15].

Для достижения поставленной цели следует последовательно решить следующие задачи:

– сформировать систему показателей, отражающих производственные и экономические аспекты функционирования плодоводческих организаций;

– построить и оценить производственную функцию урожайности плодовых культур;

– разработать и оценить модель прибыли (убытка) на 1 га плодовых насаждений;

– сформулировать выводы.

Объектом исследования являются сельскохозяйственные организации Республики Беларусь, осуществляющие выращивание семечковых и косточковых плодовых культур в условиях промышленного товарного плодоводства.

Основные результаты

При проведении исследования следует учитывать, что для многих плодовых культур характерно периодичность плодоношения насаждений, когда высокоурожайный год сменяется неурожайным или малоурожайным. При наличии периодичности плодоношения, она может составлять разное количество лет (обычно 2–3 года). Длительность одного цикла периодичности определяет за какой период необходимо брать данные, чтобы получить объективную информацию о результатах производства плодово-ягодной продукции. Проведенные авторами исследования длины цикла периодичности плодоношения показали, что для большинства сельскохозяйственных организаций Беларуси оптимальным периодом для объективной оценки эффективности производства плодовых насаждений является срок в 3 года. Соответственно, для построения адекватных моделей необходимо использовать данные за трехлетний период.

 © Авторы статьи / Authors of the article

Информационной базой исследования послужили данные официальной статистической отчетности за 2022–2024 годы по 40 сельскохозяйственным организациям Беларуси, специализирующимся на товарном производстве плодов семечковых и косточковых культур.

Для проведения объективного анализа эффективности плодового производства были рассчитаны средние относительные показатели за 2022–2024 годы. Все стоимостные показатели в исходных данных выражены в национальной валюте Республики Беларусь — белорусских рублях. В целях обеспечения сопоставимости показателей во времени стоимостные данные за 2022–2023 годы были приведены к сопоставимым ценам 2024 года. Приведение осуществлялось дифференцированно по экономическому содержанию показателей с использованием официальных индексов Республики Беларусь.

Использование для построения моделей средних данных за три года позволило существенно нивелировать воздействие на рассматриваемые факторы периодичности плодоношения плодовых культур. Использования классического варианта, когда исходные данные берутся за один год, существенно искажают получаемые модели в связи с характерными для большинства сельскохозяйственных организаций Беларуси значительными колебаниями урожайности плодовых насаждений.

В основе предложенной методологии лежит двухэтапный эконометрический подход, который последовательно включает в себя сначала анализ производственной, а затем экономической эффективности земель под плодовыми культурами.

На первом этапе разработанного подхода строиться модель зависимости урожайности от производственных факторов. На втором этапе анализируется прибыль (убыток) на гектар с учетом урожайности, цен реализации и отдельных статей затрат. Такой подход позволяет избежать искажений при единовременном включении всех факторов в модель прибыли. Все показатели, кроме цены, рассчитаны на гектар для обеспечения сопоставимости данных. Эконометрические расчеты проводились с использованием программного пакета для статистического анализа *Statistica 10*.

Перед проведением регрессионного анализа данные были проверены на полноту, наличие выбросов и логическую согласованность.

На начальном этапе эконометрического анализа был проведен анализ распределения исследуемых показателей. Проверка формы распределения осуществлялась на основе гистограмм с наложением кривой нормального распределения.

Распределение отдельных показателей отклоняется от нормального, что является характерным для экономических и производственных данных в сельском хозяйстве и обусловлено как технологической неоднородностью хозяйств, так и биологической спецификой плодовых культур. Наличие асимметрии и различной степени разброса значений обусловило целесообразность использования нелинейной функциональной формы при построении производственной функции урожайности, допускающей логарифмическое преобразование переменных.

На рисунке 1 отражены результаты проверки прибыли (убытка) на 1 га насаждений (П) и урожайности плодовых насаждений (Q) на соответствие нормальному распределению.

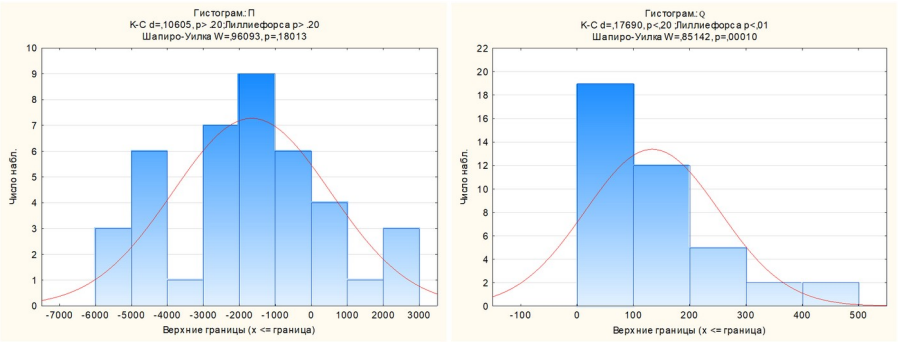

Рисунок 1 - Проверка данных на соответствие нормальному распределению
DOI: https://doi.org/10.60797/JAE.2026.73.13.1

Как видно из рисунка 1 значение критерия Шапиро–Уилка для прибыли (убытка) на 1 га насаждений составило W=0,96 при p=1,8 (p>0,05), что не позволяет отвергнуть гипотезу о нормальности распределения. Визуальный анализ также подтверждает приближенность распределения к нормальному. В то же время распределение урожайности плодовых насаждений характеризуется выраженной асимметрией (W=0,85 при p=0,001 (p≤0,05)).

С учетом результатов анализа распределения показателей, используемых в моделях урожайности и прибыли на 1 га насаждений, а также выявленных отклонений отдельных переменных от нормального распределения, для количественной оценки влияния производственных факторов на формирование урожайности плодовых культур на первом этапе исследования применяется производственная функция Кобба–Дугласа.

Выбор данной функциональной формы обусловлен ее способностью адекватно описывать нелинейный характер зависимости между уровнем затрат и физическим результатом производства, а также возможностью логарифмического преобразования переменных, что позволяет сгладить асимметрию распределений и повысить устойчивость эконометрических оценок. Это имеет особое значение для плодоводства, характеризующегося

 © Авторы статьи / Authors of the article

биологическими ограничениями, убывающей отдачей факторов и высокой вариативностью производственных условий.

Разработанная производственная функция урожайности имеет следующий вид:

$$Q = A \cdot L^{\alpha_1} \cdot C^{\alpha_2} \cdot K^{\alpha_3} \cdot S^{\alpha_4} \cdot G^{\alpha_5} \cdot E^{\alpha_6} \cdot R^{\alpha_7} \cdot O^{\alpha_8}, \quad (1)$$

где Q — урожайность плодовых насаждений, ц/га;

A — параметр, отражающий уровень технологического развития и совокупное влияние неучтенных факторов;

L — прямые затраты труда, чел.-ч/га;

C — затраты на удобрения и средства защиты растений, бел. руб./га;

K — затраты по содержанию основных средств, бел. руб./га;

S — затраты на работы и услуги, бел. руб./га;

G — затраты на ГСМ, бел. руб./га;

E — затраты на энергоресурсы, бел. руб./га;

R — прочие прямые затраты, бел. руб./га;

O — затраты по организации производства, бел. руб./га;

α_1, α_2, α_3, α_4, α_5, α_6, α_7, α_8 – коэффициенты эластичности урожайности по соответствующим факторам.

Для того чтобы оценить параметры функции данная модель была приведена к линейному виду путем логарифмирования:

$$\ln Q = \ln A + \alpha_1 \ln L + \alpha_2 \ln C + \alpha_3 \ln K + \alpha_4 \ln S + \alpha_5 \ln G + \alpha_6 \ln E + \alpha_7 \ln R + \alpha_8 \ln O + \varepsilon, \quad (2)$$

где ε — случайная ошибка модели.

В данном виде коэффициенты α отражают относительное изменение урожайности при изменении соответствующего фактора на 1%.

Наличие в исходных данных нулевых значений по отдельным статьям затрат, требует преобразование этих значений по формуле:

$$\ln(C_j + 1), \quad (3)$$

где C_j — затраты по j-й статье на 1 га плодовых насаждений.

Данное изменение позволяет провести корректное стандартное логарифмическое преобразование, не снижая числа наблюдений. При этом влияние данной трансформации на оцененные коэффициенты минимально, так как средние значения затрат значительно превышают единицу, что обеспечивает корректность экономической интерпретации результатов.

Далее проведен анализ корреляционных связей между логарифмированными факторными показателями и урожайностью.

Статистическая значимость коэффициентов оценивалась с использованием *t-критерия Стьюдента* при уровне значимости p=0,05. В исходной спецификации модели при заданном уровне значимости ни одна из статей затрат не продемонстрировала статистически значимого влияния на результативный показатель, что обусловило необходимость редукции модели.

Исключение факторов из модели осуществлялось поэтапно с учетом уровня мультиколлинеарности, статистической значимости коэффициентов и экономической интерпретации влияния соответствующих статей затрат. На первом этапе проводилась проверка мультиколлинеарности между независимыми переменными; при выявлении высокой корреляции ($|r|$>0,8–0,9) в модели сохранялась одна из взаимосвязанных переменных — более агрегированная либо обладающая большим экономическим значением. Для проведения этой проверки была построена корреляционная матрица.

На втором этапе из модели исключалась переменная с наибольшим значением p-уровня при отсутствии экономической обоснованности ее сохранения и при логически некорректном знаке коэффициента. После исключения соответствующего фактора модель пересчитывалась.

Качество спецификации контролировалось на основе анализа скорректированного коэффициента детерминации, а также путем проверки статистической значимости оставшихся коэффициентов и устойчивости их знаков. Процедура редукции повторялась до тех пор, пока в модели не оставались только статистически значимые и экономически интерпретируемые факторы.

Итоговые результаты оценки регрессионной модели для зависимой переменной $\ln Q$ представлены в таблице 1, содержащей параметры производственной функции Кобба–Дугласа.

Таблица 1 - Оценка коэффициентов производственной функции Кобба–Дугласа

DOI: https://doi.org/10.60797/JAE.2026.73.13.2

Показатель	Стандартизированный коэффициент (БЕТА)	Стандартная ошибка БЕТА	Нестандартизированный коэффициент B	Стандартная ошибка B	*t*-статистика	*p*-значение	Коллинеарная статистика	
							Толерантность	*VIF*
Свободны	–	–	1,206	0,341	3,535	0,001	–	–

 © Авторы статьи / Authors of the article

Показатель	Стандартизированный коэффициент	Стандартная ошибка БЕТА	Нестандартизированный коэффициент	Стандартная ошибка B	*t*-статистика	*p*-значение	Коллинеарная статистика	
							Толерантность	*VIF*
й член								
ln*C*	0,649	0,104	0,336	0,054	6,249	0,000	0,658	1,519
ln*L*	0,299	0,104	0,203	0,070	2,880	0,007	0,658	1,519

Примечание: обобщенные данные по результатам исследований

Свободный член (ln*A*) отражает совокупное влияние неучтенных факторов и уровень технологического развития производства при прочих равных условиях. Его статистическая значимость свидетельствует о наличии систематических факторов, не включенных непосредственно в модель.

Нестандартизированные коэффициенты B, полученные в логарифмической форме модели, интерпретируются как показатели эластичности.

Соответственно, увеличение затрат на удобрения и средства защиты растений на 1 га плодовых насаждений на 1% сопровождается ростом урожайности в среднем на 0,34%, а рост трудовых затрат 1 га плодовых насаждений на 1% сопровождается ростом урожайности в среднем на 0,20% при прочих равных условиях.

Стандартизированные коэффициенты регрессии (БЕТА) используются для сравнения силы влияния факторов между собой.

Сравнение стандартизированных коэффициентов регрессии показывает, что влияние затрат на удобрения и средства защиты растений на урожайность является более выраженным по сравнению с влиянием трудовых затрат.

Полученная *t*-статистика Стьюдента используется для проверки гипотезы о статистической значимости коэффициента регрессии, то есть для проверки того, отличается ли оценка коэффициента от нуля. Когда абсолютное значение $t \geq 1{,}96$, то надежность примерных расчетов составляет 95%, а *p*-значение<0,05 означает статистическую значимость.

Оба включенных в модель фактора являются статистически значимыми при уровне значимости 5%, что подтверждается значениями *t*-критерия Стьюдента и соответствующими *p*-уровнями.

Проверка мультиколлинеарности выполнена с использованием коэффициентов инфляции дисперсии (*VIF*). В эконометрической практике принято: $VIF<5$ — мультиколлинеарность отсутствует или слабая; $5 \leq VIF<10$ — умеренная мультиколлинеарность; $VIF \geq 10$ — критическая мультиколлинеарность.

Все значения *VIF* не превышают порогового уровня 5, что свидетельствует об отсутствии критической мультиколлинеарности между объясняющими переменными. Следовательно, оценки коэффициентов регрессии являются устойчивыми и интерпретируемыми.

Таким образом, результаты оценки производственной функции Кобба–Дугласа показывают, что основное влияние на формирование урожайности плодовых культур оказывают затраты на удобрения и средства защиты растений, а также прямые затраты труда.

Обобщающие статистики регрессионного анализа представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Основные показатели качества регрессионной модели
DOI: https://doi.org/10.60797/JAE.2026.73.13.3

Показатель	Обозначение	Значение
Коэффициент множественной корреляции	R	0,638
Коэффициент детерминации	R^2	0,408
Скорректированный коэффициент детерминации	$\bar{R}^2$	0,340
Значение *F*-критерия Фишера	$F(2;37)$	6,020
Уровень значимости модели в целом	p	<0,001
Стандартная ошибка оценки	SE	1783,1173

Примечание: обобщенные данные по результатам исследований

Представленное в таблице 2 значение коэффициента множественной корреляции (R=0,86) свидетельствует о высокой тесноте связи между результативным показателем и включенными в модель факторами. Коэффициент детерминации (R^2=0,74) указывает на то, что около 74% вариации урожайности объясняется изменением рассматриваемых производственных затрат. Высокое значение F-критерия при уровне значимости модели в целом *p*<0,001 *подтверждает статистическую значимость модели в целом*.

 © Авторы статьи / Authors of the article

Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что именно затраты на удобрения и средства защиты растений, а также прямые затраты труда формируют ядро технологического воздействия на урожайность плодовых насаждений.

Затраты по содержанию основных средств были исключены из итоговой спецификации модели в связи с наличием высокой мультиколлинеарности с затратами на удобрения и средства защиты растений, что подтверждает их опосредованное влияние на формирование урожайности. Прочие элементы затрат, включая расходы на горюче-смазочные материалы, энергоресурсы, работы и услуги, а также затраты по организации производства, статистически значимого влияния на урожайность не оказали и, соответственно, не были включены в окончательную модель.

Результаты дисперсионного анализа представлены таблице 3.

Таблица 3 - Дисперсионный анализ (ANOVA)

DOI: https://doi.org/10.60797/JAE.2026.73.13.4

Источник вариации	Сумма квадратов	Число степеней свободы	Средний квадрат	*F*-критерий	Уровень значимости
	SS	*df*	*MS*	*F*	*p*
Регрессия	31,305	2	15,653	51,946	<0,001
Остатки	11,149	37	0,301	–	–
Итого	42,454	39	–	–	–

Примечание: обобщенные данные по результатам исследований

Дисперсионный анализ (ANOVA) показал статистическую значимость регрессионной модели в целом (F=51,9; p<0,001), что свидетельствует о наличии статистически значимой зависимости между зависимой и объясняющими переменными.

Степень влияния факторов на урожайность плодовых культур представлена в таблице 4.

Таблица 4 - Ключевые позиции факторов

DOI: https://doi.org/10.60797/JAE.2026.73.13.5

№ п.п.	Независимая переменная	Абсолютная стоимость стандартизированного коэффициента регрессии	Доля, %
1	ln*C*	0,649	68,5
2	ln*L*	0,299	31,5
	Всего	0,948	100,0

Примечание: обобщенные данные по результатам исследований

Графическое представление значимости отдельных факторов приведено на рисунке 2.

 © Авторы статьи / Authors of the article

Рисунок 2 - Степень важности каждого фактора, влияющих на урожайность плодовых насаждений
DOI: https://doi.org/10.60797/JAE.2026.73.13.6

Из данных таблицы 4 и рисунка 2 следует, что наибольший вклад в формирование урожайности плодовых культур (LnQ) вносят затраты на удобрения и средства защиты растений (LnC) — 68,5%, тогда как наименьшее влияние оказывают прямые затраты труда (LnL) — 31,5%.

Окончательная спецификация *производственной функции урожайности в логарифмической форме* имеет следующий вид:

$$\ln Q = 1{,}206 + 0{,}336 \ln C + 0{,}203 \ln L.$$

В исходной (нелинейной) форме *производственная функция урожайности плодовых насаждений* может быть представлена следующим образом:

$$Q = 3{,}34 \cdot C^{0{,}336} \cdot L^{0{,}203}.$$

Полученное уравнение показывает, что с ростом затрат на удобрения и средства защиты растений в расчете на 1 га насаждений на 1% урожайность плодовых культур вырастет на 0,336%, а увеличение прямых затрат труда на единицу площади повысит урожайность на 0,203%.

Суммарное значение коэффициентов эластичности по включенным факторам составляет менее единицы, что указывает на наличие убывающей отдачи от интенсификации производства. Данный результат отражает биологические и технологические ограничения продуктивности плодовых насаждений и свидетельствует о том, что дальнейшее наращивание затрат не обеспечивает пропорционального роста урожайности.

Полученные результаты подтверждают, что увеличение затрат на начальных и средних уровнях ресурсного обеспечения способствует росту урожайности, однако по мере интенсификации производства эффект от дополнительного привлечения ресурсов заметно ослабевает, что обосновывает необходимость оптимизации уровня и структуры производственных затрат.

Адекватность построенной производственной функции урожайности была проверена путем сопоставления фактических и расчетных значений результативного показателя, а также анализа остатков регрессионной модели (рис. 3).

 © Авторы статьи / Authors of the article

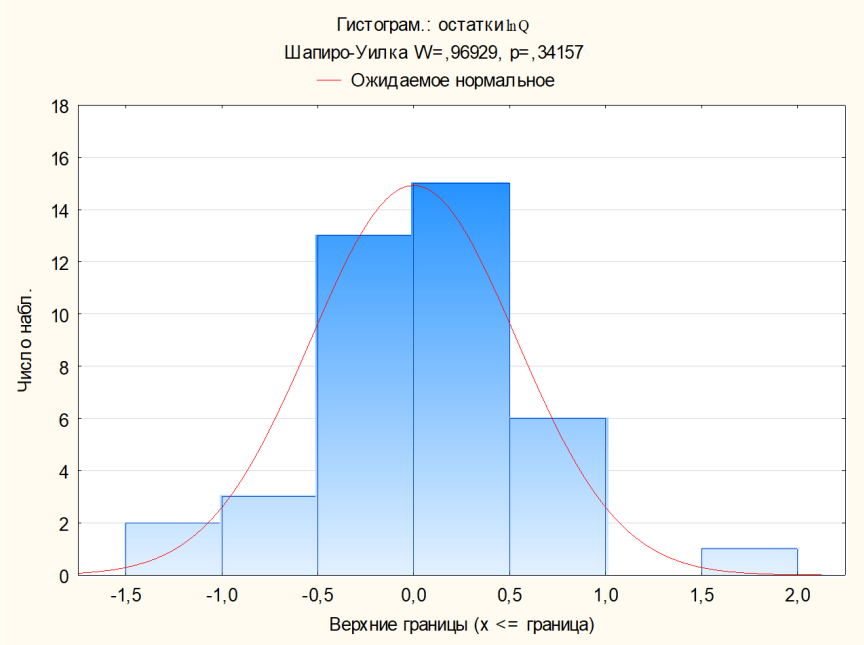

Рисунок 3 - Анализа остатков регрессионной логарифмированной модели урожайности плодовых насаждений
DOI: https://doi.org/10.60797/JAE.2026.73.13.7

Поскольку регрессионная оценка производственной функции осуществлялась в логарифмической форме, расчетные значения урожайности были получены путем экспонирования прогнозных значений ln$Q$.

Проверка нормальности распределения остатков показала, что логарифмирование урожайности позволяет привести распределение результативного показателя к виду, близкому к нормальному. Так, для остатков логарифмированной урожайности значение критерия Шапиро–Уилка составило W=0,97 при p=0,34, что не позволяет отвергнуть гипотезу о нормальности распределения. Визуальный анализ также подтверждает приближенность распределения к нормальному. Следовательно, применение t- и F-критериев для оценки значимости коэффициентов регрессии корректно, а оценки модели являются статистически обоснованными.

В то же время распределение остатков урожайности в исходном выражении характеризуется выраженной асимметрией (W=0,79 при p<0,001), что обосновало целесообразность использования логарифмической формы модели.

Для оценки адекватности производственной функции урожайности выполнено сопоставление фактических и расчетных значений урожайности в исходных единицах измерения. Визуальное расположение наблюдений вблизи линии равенства *свидетельствует о достаточной степени соответствия модели эмпирическим данным*.

Проведенные расчеты показали, что наряду с базовой спецификацией производственной функции урожайности допустимо использование альтернативной модели, в которой при высокой взаимосвязанности факторов вместо затрат на химизацию в состав объясняющих переменных включаются затраты на содержание основных средств. Такая спецификация позволяет по-иному интерпретировать источники роста продуктивности, не снижая общей объясняющей способности модели. Использоваться данная модель может при обосновании инвестиций в закладку новых плантаций плодовых насаждений.

На втором этапе исследования была построена функция прибыли на 1 га плодовых насаждений, учитывающая уровень урожайности, цену реализации продукции и все статьи производственных затрат:

$$П = \beta_0 + \beta_1 \cdot Q + \beta_2 \cdot P + \beta_3 \cdot W + \beta_4 \cdot C + \beta_5 \cdot G + \beta_6 \cdot E + \beta_7 \cdot K + \beta_8 \cdot S + \beta_9 \cdot R + \beta_{10} \cdot O + \varepsilon, \quad (4)$$

где $П$ — прибыль (убыток) на 1 га плодовых насаждений, бел. руб.;
Q — урожайность плодовых культур, ц/га;
P — цена реализации плодов, бел. руб./т;
W — затраты на оплату труда с начислениями, бел. руб./га;
C — затраты на удобрения и средства защиты растений, бел. руб./га;
K — затраты по содержанию основных средств, бел. руб./га;
S — затраты на работы и услуги, бел. руб./га;
G — затраты на ГСМ, бел. руб./га;
E — затраты на энергоресурсы, бел. руб./га;
R — прочие прямые затраты, бел. руб./га;
O — затраты по организации производства, бел. руб./га;
β_0 — свободный член (константа) модели;
$\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5, \beta_6, \beta_7, \beta_8, \beta_9, \beta_{10}$ — *коэффициенты регрессии при соответствующих факторных признаках;*
ε — случайная ошибка модели.

 © Авторы статьи / Authors of the article

Данная спецификация функции прибыли позволяет оценить вклад отдельных факторов в формирование конечного финансового результата в расчете на 1 га плодовых насаждений.

На начальном этапе был проведен анализ корреляционных связей между результативным и факторными показателями.

Далее по аналогии с анализом производственной функции урожайности, осуществлялось поэтапное исключение факторов из модели с учетом уровня мультиколлинеарности, статистической значимости коэффициентов и экономической интерпретации влияния соответствующих статей затрат.

Результаты итоговой оценки параметров функции прибыли на 1 га плодовых насаждений представлены в таблице 5.

Таблица 5 - Оценка коэффициентов функции прибыли на 1 га плодовых насаждений

DOI: https://doi.org/10.60797/JAE.2026.73.13.8

Показатель	Стандартизированный коэффициент (БЕТА)	Стандартная ошибка БЕТА	Нестандартизированный коэффициент B	Стандартная ошибка B	*t*-статистика	*p*-значение	Коллинеарная статистика	
							Толерантность	VIF
Свободный член	–	–	-3560,787	841,205	-4,233	<0,001	–	–
Q	0,858	0,316	15,794	5,817	2,715	0,010	0,169	5,905
W	-0,704	0,300	-0,362	0,154	-2,351	0,024	0,189	5,301
O	-0,519	0,145	-1,950	0,546	-3,569	0,001	0,800	1,249
P	0,421	0,179	4,531	1,925	2,354	0,024	0,529	1,891

Примечание: обобщенные данные по результатам исследований

Полученные оценки коэффициентов в таблице 5 свидетельствуют о том, что при уровне значимости 5% статистически значимое влияние на величину прибыли оказывают урожайность плодовых культур, цена реализации плодов, затраты на оплату труда с начислениями, а также затраты по организации производства. Прочие статьи затрат статистически значимого влияния на финансовый результат не показали и были исключены из итоговой спецификации модели.

Значения VIF показывают, что критической мультиколлинеарности между объясняющими переменными нет. Для *Q* и *W* наблюдается умеренная мультиколлинеарность, для *O* и *P* — слабая. Следовательно, оценки коэффициентов регрессии устойчивы и могут быть интерпретированы как количественная оценка влияния каждой переменной на функцию прибыли.

Обобщающие статистики регрессионного анализа представлены в таблице 6.

Таблица 6 - Основные показатели качества регрессионной модели

DOI: https://doi.org/10.60797/JAE.2026.73.13.9

Показатель	Обозначение	Значение
Коэффициент множественной корреляции	R	0,638
Коэффициент детерминации	R^2	0,408
Скорректированный коэффициент детерминации	$\bar{R}^2$	0,340
Значение *F*-критерия Фишера	$F(2;37)$	6,020
Уровень значимости модели в целом	p	<0,001
Стандартная ошибка оценки	SE	1783,1173

Примечание: обобщенные данные по результатам исследований

Значение коэффициента детерминации (R^2=0,41) указывает на то, что около 41% вариации прибыли на 1 га объясняется включенными в модель факторами. Значение *F-критерия Фишера* при уровне значимости p<0,001 подтверждает статистическую значимость модели в целом.

Дисперсионный анализ (ANOVA) показал статистическую значимость регрессионной модели в целом (F=6,0; p<0,001), что свидетельствует о наличии статистически значимой зависимости между зависимой и объясняющими переменными.

 © Авторы статьи / Authors of the article

Степень влияния факторов на прибыль (убыток) в расчете на 1 га плодовых насаждений представлена в таблице 7.

Таблица 7 - Ключевые позиции факторов

DOI: https://doi.org/10.60797/JAE.2026.73.13.10

№ п.п.	Независимая переменная	Абсолютная стоимость стандартизированного коэффициента регрессии	Доля, %
1	*Q*	0,858	34,3
2	*W*	0,704	28,1
3	*O*	0,519	20,7
4	*P*	0,421	16,8
	Всего	2,502	100,0

Примечание: обобщенные данные по результатам исследований

Графическое представление значимости отдельных факторов приведено на рисунке 4.

Рисунок 4 - Степень влияния факторов на прибыль (убыток) на 1 га плодовых насаждений

DOI: https://doi.org/10.60797/JAE.2026.73.13.11

Из данных таблицы 7 и рисунка 4 следует, что наибольший вклад в формирование прибыли (убытка) на 1 га плодовых насаждений вносит урожайность плодовых культур (Q) — 34,3%, тогда как наименьшее влияние оказывает цена реализации плодов (P) — 16,8%.

В результате поэтапной редукции факторов с учетом мультиколлинеарности, статистической значимости коэффициентов и их экономической интерпретации получена следующая итоговая модель прибыли на 1 га плодовых насаждений:

$$П = -3561 + 15{,}794 \cdot Q + 4{,}531 \cdot P - 0{,}362 \cdot W - 1{,}950 \cdot O.$$

Результаты полученной модель показывают, что с ростом урожайности на 1 ц/га прибыль вырастет в среднем на 15,8 бел. руб./га, а увеличение цены реализации на 1 бел. руб./т приведет к росту прибыли на 4,5 бел. руб./га.

При этом при повышении затрат на оплату труда с начислениями на 1 руб./га прибыль снизится на 0,36 бел. руб./га, а при росте затрат по организации производства прибыль уменьшится на 1,95 бел. руб./га. Соответственно, рост необоснованных расходов на оплату труда и организацию производства, которые не повышают урожайность культур и цену реализации, будут способствовать снижению прибыльности производства.

Дальнейший анализ показал, что полученная модель является статистически корректной. Визуализация фактических и расчетных значений прибыли на 1 га плодовых насаждений отразил отсутствие систематического смещения оценок. Проведенный анализ остатков не выявил признаков гетероскедастичности, а значения VIF не превышают критических уровней.

Обобщенные результаты исследования построенных моделей приведены в таблице 8.

 © Авторы статьи / Authors of the article

Таблица 8 - Сравнение основных характеристик рассмотренных моделей эффективности использования земель под плодовыми насаждениями

DOI: https://doi.org/10.60797/JAE.2026.73.13.12

Показатели	Производственная функция (полная)	Производственная функция (сокращенная)	Функция прибыли (полная)	Функция прибыли (сокращенная)
Результативный показатель	Урожайность, ц/га	Урожайность, ц/га	Прибыль (убыток), бел. руб./га	Прибыль (убыток), бел. руб./га
Тип модели	Кобба–Дугласа (ln–ln)	Кобба–Дугласа (ln–ln)	Линейная	Линейная
Число наблюдений	40	40	40	40
Коэффициент детерминации R^2	0,793	0,737	0,539	0,408
Скорректированный R^2	0,739	0,723	0,379	0,340
F-критерий Фишера	14,801	51,946	3,385	6,020
Уровень значимости модели (p)	<0,001	<0,001	<0,005	<0,001
Количество включенных факторов	8	3	10	4
Количество статистически значимых факторов (p<0,05)	0	3	4	4
Мультиколлинеарность (*VIF* max)	≤6,7	≤1,5	≤19,0	≤5,9
Гетероскедастичность	Не выявлена	Не выявлена	Не выявлена	Не выявлена
Нормальность остатков	Существенных отклонений не выявлено	Существенных отклонений не выявлено	Существенных отклонений не выявлено	Существенных отклонений не выявлено
Экономическая интерпретируемость	Удовлетворительная	Высокая	Удовлетворительная	Высокая

Примечание: обобщенные данные по результатам исследований

Данные приведенные в таблице 8 показывают, что проведенные исследования позволили получить статистически значимые модели с высокой экономической интерпретируемостью.

Редукция начальных полных моделей позволила устранить мультиколлинеарность, повысить F-критерий моделей и выявить статистически значимые факторы, при незначительном снижении коэффициентов детерминации.

Для обобщения результатов двухэтапного эконометрического анализа, подставим полученную функцию урожайности в модель прибыли (убытка) на 1 га плодовых насаждений:

$$\Pi = -3561 + 52{,}1 \cdot C^{0{,}336} \cdot L^{0{,}203} + 4{,}531 \cdot P - 0{,}362 \cdot W - 1{,}950 \cdot O.$$

Полученная составная функция прибыли (убытка) на 1 га плодовых насаждений выражает форму зависимости экономической эффективности использования земель в плодоводстве от определяющих производственно-экономических показателей.

Заключение

Обобщая проведенные исследования, следует отметить целесообразность двухэтапного эконометрического моделирования. Данный подход позволил разграничить механизмы влияния отдельных факторов на эффективности использования земель, занятых плодовыми насаждениями. Полученная составная функция прибыли (убытка) на 1 га плодовых насаждений позволила не просто выявить ключевые производственно-экономические факторы, оказывающие влияние на финансовый результат от использования земель, но и определить оптимальную форму взаимосвязи между показателями.

 © Авторы статьи / Authors of the article

Полученный результат был достигнут в результате отдельного эконометрического моделирования урожайности плодовых культур на первом этапе исследования. Это обусловлено тем, что продуктивность сельскохозяйственных земель является ключевым фактором экономической эффективности использования земель.

Использованная при моделировании производственная функция Кобба–Дугласа, позволяет описать влияние производственных факторов на урожайность плодовых культур. Построенная функция является статистически значимой и подтверждает нелинейный характер воздействия факторов на продуктивность земель. Производственная функция урожайности показывает, что с ростом затрат на удобрения и средства защиты растений в расчете на 1 га насаждений на 1% урожайность плодовых культур вырастет на 0,336%, а увеличение прямых затрат труда на единицу площади повысит урожайность на 0,203%. Выявленные факторы указывают на то, что важным направлением роста урожайности плодовых культур в Беларуси является интенсификация производства. При этом полученные значения указывают на наличие убывающей отдачи от интенсификации.

Разработанная на втором этапе моделирования функция прибыли (убытка) на 1 га плодовых насаждений также является статистически значимой и показывает, что с ростом урожайности на 1 ц/га прибыль вырастет в среднем на 15,8 бел. руб./га, а увеличение цены реализации на 1 бел. руб./т приведет к росту прибыли на 4,5 бел. руб./га. При этом при повышении затрат на оплату труда с начислениями на 1 руб./га прибыль снизится на 0,36 бел. руб./га, а при росте затрат по организации производства прибыль уменьшится на 1,95 бел. руб./га.

Объединение двух функций в одну составную показывает, на каких производственно-экономических факторах следует сконцентрироваться сельскохозяйственным организациям для повышения экономической эффективности земель.

Как показывает составная функция, рост прямых затрат труда на единицу площади способствует росту прибыли, а повышение оплаты труда на 1 га насаждений снижает ее. Соответственно, эффективность производства будет расти до тех пор, пока отдача от дополнительных затрат труда выше прироста затрат на оплату труда. Это предполагает важность правильной организации труда и продуманной кадровой политики в каждом конкретном хозяйстве.

Существенное отрицательное влияние затрат по организации производства на прибыль говорит о необходимости повышения эффективности управления и оптимизация организационных издержек, которые должны быть обоснованными.

Рост затрат на удобрения и средства защиты растений в расчете на 1 га насаждений повышают эффективность производства, но более медленными темпами, вследствие убывающей предельной отдачи.

Повышение цены реализации напрямую увеличивает прибыль организации. Для фруктов характерна существенная ценовая дифференциация в течение года. Максимальная цена приходится на конец зимы и весну. Соответственно, возможность сохранить продукцию к этому периоду повышает эффективность плодоводства.

Полученные в ходе исследований модели можно использовать, как по отдельности, так и в виде составной функции. Использование составной модели позволяет понять, как производственные показатели влияют на прибыль через урожайность, и как рыночные факторы и затраты влияют напрямую. Такой подход помогает лучше понять взаимосвязи и использовать эконометрические методы для принятия управленческих решений с целью повышения эффективности использования земель при производстве плодовой продукции.

Результаты моделирования применимы для анализа отдельных сельскохозяйственных организаций Беларуси, специализирующихся на производстве плодовой продукции, а также могут использоваться при разработке различных государственных целевых программ и инвестиционных проектов в сфере плодоводства. Распространение результатов на другие регионы требует дополнительной эмпирической проверки.

Таким образом, разработанная двухэтапная эконометрическая модель позволяет провести последовательный анализ производственной и экономической эффективности использования земель под плодовыми насаждениями, оценить количественно вклад отдельных факторов в формирование урожайности и прибыли, а также выступать в качестве инструмента принятия управленческих решений в товарном плодоводстве.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Ma Y. Land Use Efficiency Assessment under Sustainable Development Goals: A Systematic Review / Y. Ma, M. Zheng, X. Zheng [et al.] // Land. — 2023. — Vol. 12. — № 4. — Art. 894. — DOI: 10.3390/land12040894.

2. Plantinga A.J. Integrating Economic Land-Use and Biophysical Models / A.J. Plantinga // Annual Review of Resource Economics. — 2015. — Vol. 7. — P. 233–249. — DOI: 10.1146/annurev-resource-100814-125056.

3. Fezzi C. Structural Agricultural Land Use Modeling for Spatial Agro-Environmental Policy Analysis / C. Fezzi, I.J. Bateman // American Journal of Agricultural Economics. — 2011. — Vol. 93. — № 4. — P. 1168–1188. — DOI: 10.1093/ajae/aar037.

 © Авторы статьи / Authors of the article

4. Van Vliet J. Manifestations and Underlying Drivers of Agricultural Land Use Change in Europe / J. Van Vliet, H.L.F. de Groot, P. Rietveld [et al.] // Landscape and Urban Planning. — 2015. — Vol. 133. — P. 24–36. — DOI: 10.1016/j.landurbplan.2014.09.001.

5. Волков С.Н. Организация рационального использования и охраны земель в сельскохозяйственных организациях (внутрихозяйственное землеустройство) : научно-практическое пособие / С.Н. Волков, З.А. Волкова, Т.А. Емельянова [и др.]. — Москва : ГУЗ, 2015. — 587 с.

6. Комов Н.В. Комплексное землепользование и землеустройство в системе устойчивого развития России / Н.В. Комов, Л.П. Подболотова, В.Д. Горлов // Образование. Наука. Научные кадры. — 2024. — № 2. — URL: https://cyberleninka.ru/article/n/kompleksnoe-zemlepolzovanie-i-zemleustroystvo-v-sisteme-ustoychivogo-razvitiya-rossii (дата обращения: 13.03.2026).

7. Бондаренко А.М. Эколого-экономическая эффективность системы внутрихозяйственного землеустройства многолетних насаждений / А.М. Бондаренко, Л.С. Качанова // Московский экономический журнал. — 2019. — № 11. — URL: https://cyberleninka.ru/article/n/ekologo-ekonomicheskaya-effektivnost-sistemy-vnutrihozyaystvennogo-zemleustroystva-mnogoletnih-nasazhdeniy (дата обращения: 13.07.2026).

8. Минаков И.А. Проблемы повышения эффективности садоводства в новых экономических условиях / И.А. Минаков // Садоводство и виноградарство. — 2001. — № 1. — С. 4–5.

9. Дмитриев А.М. Проблемы агропромышленной интеграции и пути их решения / А.М. Дмитриев, А.А. Жедь, Г.А. Шамаль // Экономические проблемы агропромышленного комплекса : материалы Международной научно-практической конференции. — Минск, 1999. — С. 107–108.

10. Национальная стратегия устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2030 года : одобрено протоколом заседания Президиума Совета Министров Республики Беларусь от 2 мая 2017 г. № 10. — Минск, 2017. — 148 с. — URL: http://www.economy.gov.by/uploads/files/NSUR2030/Natsionalnaja-strategija-ustojchivogo-sotsialno-ekonomicheskogo-razvitija-Respubliki-Belarus-na-period-do-2030-goda.pdf (дата обращения: 27.03.2023).

11. Завражнов А.И. Слаборослое интенсивное садоводство / А.И. Завражнов, В.А. Потапов // Садоводство и виноградарство. — 2001. — № 3. — С. 7–9.

12. Трунов А.Ю. Оценка динамики продуктивности яблони в интенсивных садах / А.Ю. Трунов, Ю.В. Трунов, С.А. Брюхина [и др.] // Наука и образование. — 2024. — Т. 7. — № 4. — URL: https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-dinamiki-produktivnosti-yabloni-v-intensivnyh-sadah (дата обращения: 31.03.2026).

13. Balachandran A. Applications and Advances in Fruit Crop Modeling: A Review / A. Balachandran, P.R. Manju, S. Simi [et al.] // Journal of Advances in Biology & Biotechnology. — 2025. — Vol. 28. — № 12. — P. 1094–1107. — DOI: 10.9734/jabb/2025/v28i123453.

14. Эконометрика : учебник для магистров / И.И. Елисеева, С.В. Курышева, Ю.В. Нерадовская [и др.]; под ред. И.И. Елисеевой. — Москва : Юрайт, 2014. — 453 с.

15. Куприенко Н.В. Статистические методы изучения связей. Корреляционно-регрессионный анализ : учебное пособие / Н.В. Куприенко, О.А. Пономарева, Д.В. Тихонов. — Санкт-Петербург : Издательство Политехнического университета, 2009. — 118 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Ma Y. Land Use Efficiency Assessment under Sustainable Development Goals: A Systematic Review / Y. Ma, M. Zheng, X. Zheng [et al.] // Land. — 2023. — Vol. 12. — № 4. — Art. 894. — DOI: 10.3390/land12040894.

2. Plantinga A.J. Integrating Economic Land-Use and Biophysical Models / A.J. Plantinga // Annual Review of Resource Economics. — 2015. — Vol. 7. — P. 233–249. — DOI: 10.1146/annurev-resource-100814-125056.

3. Fezzi C. Structural Agricultural Land Use Modeling for Spatial Agro-Environmental Policy Analysis / C. Fezzi, I.J. Bateman // American Journal of Agricultural Economics. — 2011. — Vol. 93. — № 4. — P. 1168–1188. — DOI: 10.1093/ajae/aar037.

4. Van Vliet J. Manifestations and Underlying Drivers of Agricultural Land Use Change in Europe / J. Van Vliet, H.L.F. de Groot, P. Rietveld [et al.] // Landscape and Urban Planning. — 2015. — Vol. 133. — P. 24–36. — DOI: 10.1016/j.landurbplan.2014.09.001.

5. Volkov S.N. Organizatsiya ratsional'nogo ispol'zovaniya i okhrany zemel' v sel'skokhozyaystvennykh organizatsiyakh (vnutrikhozyaystvennoe zemleustroystvo) [Organization of Rational Use and Protection of Land in Agricultural Organizations (On-Farm Land Management)] : scientific and practical guide / S.N. Volkov, Z.A. Volkova, T.A. Emelyanova [et al.]. — Moscow : GUZ, 2015. — 587 p. [in Russian]

6. Komov N.V. Kompleksnoe zemlepol'zovanie i zemleustroystvo v sisteme ustoychivogo razvitiya Rossii [Integrated land use and land management in the system of sustainable development of Russia] / N.V. Komov, L.P. Podbolotova, V.D. Gorlov // Obrazovanie. Nauka. Nauchnye kadry [Education. Science. Scientific Personnel]. — 2024. — № 2. — URL: https://cyberleninka.ru/article/n/kompleksnoe-zemlepolzovanie-i-zemleustroystvo-v-sisteme-ustoychivogo-razvitiya-rossii (accessed: 13.03.2026). [in Russian]

7. Bondarenko A.M. Ekologo-ekonomicheskaya effektivnost' sistemy vnutrikhozyaystvennogo zemleustroystva mnogoletnikh nasazhdeniy [Ecological and economic efficiency of the system of on-farm land management of perennial plantations] / A.M. Bondarenko, L.S. Kachanova // Moskovskiy ekonomicheskiy zhurnal [Moscow Economic Journal]. — 2019. — № 11. — URL: https://cyberleninka.ru/article/n/ekologo-ekonomicheskaya-effektivnost-sistemy-vnutrihozyaystvennogo-zemleustroystva-mnogoletnih-nasazhdeniy (accessed: 13.07.2026). [in Russian]

 © Авторы статьи / Authors of the article

8. Minakov I.A. Problemy povysheniya effektivnosti sadovodstva v novykh ekonomicheskikh usloviyakh [Problems of increasing the efficiency of horticulture in new economic conditions] / I.A. Minakov // Sadovodstvo i vinogradarstvo [Horticulture and Viticulture]. — 2001. — № 1. — P. 4–5. [in Russian]

9. Dmitriev A.M. Problemy agropromyshlennoy integratsii i puti ikh resheniya [Problems of agro-industrial integration and ways to solve them] / A.M. Dmitriev, A.A. Zhed, G.A. Shamal' // Ekonomicheskie problemy agropromyshlennogo kompleksa : materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [Economic Problems of the Agro-Industrial Complex : Proceedings of the International Scientific and Practical Conference]. — Minsk, 1999. — P. 107–108. [in Russian]

10. Natsional'naya strategiya ustoychivogo sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya Respubliki Belarus' na period do 2030 goda [National Strategy for Sustainable Socio-Economic Development of the Republic of Belarus for the Period up to 2030] : odobreno protokolom zasedaniya Prezidiuma Soveta Ministrov Respubliki Belarus' ot 2 maya 2017 g. № 10. — Minsk, 2017. — 148 p. — URL: http://www.economy.gov.by/uploads/files/NSUR2030/Natsionalnaja-strategija-ustojchivogo-sotsialno-ekonomicheskogo-razvitija-Respubliki-Belarus-na-period-do-2030-goda.pdf (accessed: 27.03.2023). [in Russian]

11. Zavrazhnov A.I. Slaborosloe intensivnoe sadovodstvo [Dwarf intensive horticulture] / A.I. Zavrazhnov, V.A. Potapov // Sadovodstvo i vinogradarstvo [Horticulture and Viticulture]. — 2001. — № 3. — P. 7–9. [in Russian]

12. Trunov A.Yu. Otsenka dinamiki produktivnosti yabloni v intensivnykh sadakh [Assessment of the dynamics of apple tree productivity in intensive orchards] / A.Yu. Trunov, Yu.V. Trunov, S.A. Bryukhina [et al.] // Nauka i obrazovanie [Science and Education]. — 2024. — Vol. 7. — № 4. — URL: https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-dinamiki-produktivnosti-yabloni-v-intensivnyh-sadah (accessed: 31.03.2026). [in Russian]

13. Balachandran A. Applications and Advances in Fruit Crop Modeling: A Review / A. Balachandran, P.R. Manju, S. Simi [et al.] // Journal of Advances in Biology & Biotechnology. — 2025. — Vol. 28. — № 12. — P. 1094–1107. — DOI: 10.9734/jabb/2025/v28i123453.

14. Ekonometrika [Econometrics] : master's textbook / I.I. Eliseeva, S.V. Kurysheva, Yu.V. Neradovskaya [et al.]; edited by I.I. Eliseeva. — Moscow : Yurayt, 2014. — 453 p. [in Russian]

15. Kuprienko N.V. Statisticheskie metody izucheniya svyazey. Korrelyatsionno-regressionnyy analiz [Statistical Methods for Studying Relationships. Correlation and Regression Analysis] : study guide / N.V. Kuprienko, O.A. Ponomareva, D.V. Tikhonov. — Saint Petersburg : Polytech University Publishing House, 2009. — 118 p. [in Russian]