

УДК 631.582:633.174

Научная статья



Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-400-11-105-112

В.С. Бударина ✉

А.Н. Асташов

Т.В. Асташова

К.А. Пронудин

Д.Д. Бабушкин

Российский научно-исследовательский и проектно-технологический институт сорго и кукурузы, Саратов, Россия

✉ v.plaksina88@yandex.ru

Поступила в редакцию: 03.09.2025

Одобрена после рецензирования: 11.10.2025

Принята к публикации: 26.10.2025

© Бударина В.С., Асташов А.Н., Асташова Т.В., Пронудин К.А., Бабушкин Д.Д.

Research article



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-400-11-105-112

Vera S. Budarina ✉

Alexander N. Astashov

Tatiana V. Astashova

Kirill A. Pronudin

Denis D. Babushkin

Russian Research, Design and Technology Institute of Sorghum and Corn, Saratov, Russia

✉ v.plaksina88@yandex.ru

Received by the editorial office: 03.09.2025

Accepted in revised: 11.10.2025

Accepted for publication: 26.10.2025

© Budarina V.S., Astashov A.N., Astashova T.V., Pronudin K.A., Babushkin D.D.

Биоэнергетическая эффективность короткороотационных севооборотов с включением позднеспелых культур в условиях аридного климата Нижнего Поволжья

РЕЗЮМЕ

Актуальность. В связи с глобальными изменениями климата особый интерес представляет изучение вопроса повышения продуктивности севооборотов в условиях с неравномерным выпадением осадков в течение вегетационного периода. Выявить наиболее эффективные схемы севооборотов независимо от ценовой политики возможно с помощью биоэнергетической оценки. Включение засухоустойчивых поздних культур, способных восполнять потери урожая других культур в неблагоприятные годы, обеспечивает стабилизацию выхода продукции и повышает эффективность агроценозов.

Методы. Изучение эффективности включения в четырехпольный севооборот зернового сорго и кукурузы проведено на основе биоэнергетического анализа. По показателям суммы накопленной энергии с урожаем и затрат совокупной энергии на возделывание культур рассчитаны следующие показатели: прирост энергии, биологический коэффициент, энергетическая рентабельность и энергетическая себестоимость урожая. Математическая обработка результатов проведена методом дисперсионного анализа с помощью программы AGROS 2.09.

Результаты. В результате энергетического анализа выявлено, что включение пропашных культур в агроценозы значительно повышает эффективность использования пашни в условиях недостаточного увлажнения. В вариантах с насыщением севооборотов пропашными культурами установлены максимальный выход энергии с урожаем пар — озимая пшеница — соя — зерновое сорго (32,67 ГДж/га) и пар — озимая пшеница — соя — кукуруза (35,12 ГДж/га) при затратах совокупной энергии 11,16–11,35 ГДж/га. В этих вариантах прирост энергии составил 21,68–23,94 ГДж/га, энергетическая рентабельность — 194,33–211,12%, себестоимость энергии урожая — 0,39–0,41 ГДж/га, коэффициенты энергетической эффективности — 2,94–3,12. Корреляционный анализ выявил сильную положительную зависимость коэффициентов биоэнергетической эффективности севооборотов от гидротермических условий возделывания сельскохозяйственных культур, коэффициент корреляции между показателями составил 0,71–0,74. В острозасушливые годы различия по эффективности севооборотов при разных чередованиях культур выражены сильнее, чем в средние и увлажненные.

Ключевые слова: севооборот, аридизация, эффективность, яровая пшеница, яровой ячмень, соя, сорго, кукуруза, биоэнергетический коэффициент

Для цитирования: Бударина В.С., Асташов А.Н., Асташова Т.В., Пронудин К.А., Бабушкин Д.Д. Биоэнергетическая эффективность короткороотационных севооборотов с включением позднеспелых культур в условиях аридного климата Нижнего Поволжья. *Аграрная наука*. 2025; 400(11): 105–112.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-400-11-105-112>

Bioenergetic efficiency of short-term crop rotations with the inclusion of late-ripening crops in the arid climate of the Lower Volga region

ABSTRACT

Relevance. Due to global climate changes, it is of particular interest to study the issue of increasing crop rotation productivity in conditions with uneven precipitation during the growing season. It is possible to identify the most effective crop rotation schemes, regardless of pricing policy, using bioenergy assessment. The inclusion of drought-resistant late crops capable of making up for crop losses of other crops in unfavorable years ensures the stabilization of output and increases the efficiency of agroecosystems.

Methods. The study of the effectiveness of the inclusion of grain sorghum and corn in the four-field crop rotation was carried out on the basis of bioenergetic analysis. The following indicators were calculated based on the amount of accumulated energy from the harvest and the cost of total energy for crop cultivation: energy gain, bioenergy coefficient, energy profitability and energy cost of harvest. The mathematical processing of the results was carried out by the method of variance analysis using the AGROS 2.09 program.

Results. As a result of the energy analysis, it was revealed that the inclusion of row crops in agroecosystems significantly increases the efficiency of using arable land in conditions of insufficient moisture. In the variants with saturation of crop rotations with row crops, the maximum energy output is set with a harvest of steam — winter wheat — soybeans — grain sorghum (32.67 GJ/ha) and steam — winter wheat — soybeans — corn (35.12 GJ/ha) at a total energy consumption of 11.16–11.35 GJ/ha. In these variants, the energy gain was 21.68–23.94 GJ/ha, the energy profitability was 194.33–211.12%, the cost of crop energy was 0.39–0.41 GJ/ha, and the energy efficiency coefficients were 2.94–3.12. Correlation analysis revealed a strong positive dependence of the coefficients of bioenergetic efficiency of crop rotations on the hydrothermal conditions of crop cultivation, the correlation coefficient between the indicators was 0.71–0.74. In acute arid years, differences in the efficiency of crop rotations with different crop alternations are more pronounced than in average and moistened ones.

Key words: crop rotation, aridization, efficiency, spring wheat, spring barley, soybeans, sorghum, corn, bioenergy coefficient

For citation: Budarina V.S., Astashov A.N., Astashova T.V., Pronudin K.A., Babushkin D.D. Bioenergetic efficiency of short-term crop rotations with the inclusion of late-ripening crops in the arid climate of the Lower Volga region. *Agrarian science*. 2025; 400(11): 105–112 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-400-11-105-112>

Введение/Introduction

Проблема сохранения посевов и повышения урожайности сельскохозяйственных культур приобретает в последние годы особую актуальность в связи с резкими изменениями климата [1–5].

Тенденции устойчивого роста температуры воздуха прослеживаются при сравнении средних многолетних показателей за 2001–2018 гг. со стандартной климатической нормой. Средняя годовая температура воздуха изменялась по природным зонам от 5,1 до 6,8 °С, а за 18-летний период ее значения составляли от 6,2 до 7,8 °С, то есть увеличились на 1,0–1,1 °С. Однако основной вклад в рост годовой температуры воздуха вносят уже не зимние месяцы, а март, июль, август, сентябрь и ноябрь, причем наибольшее увеличение температуры воздуха (на 2,0–2,2 °С) на современном этапе наблюдается в августе [6, 7].

Прогнозируемые изменения климата приведут к увеличению частоты и интенсивности дестабилизирующих явлений в экосистемах. Одним из таких проявлений станет нерегулярный характер выпадения осадков, а также периоды экстремальной засухи [8, 9]. Данные стрессовые факторы влияют на урожайность сельскохозяйственных культур напрямую или через сложные взаимодействия со свойствами почвы, в том числе доступностью питательных веществ [10–12]. Глобальные климатические трансформации актуализируют исследования, направленные на увеличение продуктивности агроэкосистем в регионах, характеризующихся нестабильным режимом увлажнения в период вегетации культур.

В условиях рыночной экономики ассортимент выращиваемых растений главным образом определяется спросом на продукцию. Но в условиях недостаточной увлажненности внедрение засухоустойчивых поздних культур, способных компенсировать потери урожая других растений, играет ключевую роль в стабилизации общего объема производства. При этом в Саратовской области урожайность ранних яровых культур в среднем составляет 1,6–1,7 т/га, а сорго формирует 2,2–3,2 т/га зерна, по данным Министерства сельского хозяйства области. Увеличение видового разнообразия может повысить эффективность агроценозов за счет взаимодополняемости использования ресурсов. Устойчивость систем земледелия критически зависит от разнообразия культур [13, 14].

Использование в севооборотах несколько сельскохозяйственных растений с разными сроками обработки почвы, посева и уборки является необходимостью для своевременного выполнения сельскохозяйственных работ [15, 16]. Сочетание культур, сходных по направлению использования, но различных по своим реакциям на конкретные стрессовые факторы позволит повысить устойчивость агроэкосистем [17].

В работах многих ученых показан высокий уровень достоверности энергетической оценки

систем земледелия [18–20]. Данный подход обеспечивает количественную оценку эффективности производства независимо от колебаний цен на рынке [21]. Данный инструмент позволяет рассчитать энергозатраты, связанные с производством продукции, и оценить их окупаемость, а также провести сравнительный анализ агроэкосистем по показателю энергопотребления на каждую единицу выпускаемой продукции [22].

Оценка энергетической рентабельности агроценозов предполагает сопоставление суммарных энергетических ресурсов, затраченных на создание продукта, с объемом энергии, аккумулированной в полученном урожае. Использование энергетических эквивалентов обеспечивает более объективный и точный анализ, поскольку оценка сельскохозяйственного производства основывается на энергии, затраченной на единицу продукции, что исключает влияние ценовых колебаний [23, 24]. Биоэнергетические эквиваленты служат дополнением к экономической оценке технологий, не заменяя ее.

В аграрном секторе снижение совокупного энергопотребления в расчете на единицу произведенной продукции становится возможным благодаря применению ресурсосберегающих методик в процессе возделывания сельскохозяйственных культур. Внедрение инновационных технологий, ориентированных на рациональное использование ресурсов, является ключевым фактором повышения энергетической эффективности в сельскохозяйственном производстве.

Цель исследований — выявить эффективность включения позднеспелых культур в короткороционные севообороты на основе биоэнергетического анализа продуктивности агроценозов.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Экспериментальные работы осуществляли с 2008 по 2019 год в южной микроне правобережья Саратовской области Российской Федерации на опытных участках Всероссийского научно-исследовательского и проектно-технологического института сорго и кукурузы (РосНИИСК «Россорго»).

Нижнее Поволжье является зоной рискованного земледелия, где влажные годы периодически чередуются с засушливыми или острозасушливыми. Сравнение долгосрочных средних температурных показателей с установленными климатическими стандартами выявляет ясно выраженную тенденцию к устойчивому увеличению температуры воздуха.

Для характеристики погодных условий использовали данные основной метеостанции НИИСХ Юго-Востока (г. Саратов). Метеорологические условия в ходе всего исследовательского периода отличались значительным разнообразием и воспроизводили весь диапазон климатических особенностей, свойственных указанной местности.

Анализ условий увлажнения в течение вегетационного периода культур за 12-летний период выявил следующие закономерности.

Благоприятные условия наблюдались в 2008, 2013 и 2017 годах, когда гидротермический коэффициент (ГТК) варьировал в пределах 1,04–1,20. В среднем за указанные годы количество выпавших осадков составило 326 мм, а суммарная активная температура достигла 2962 °С. Умеренными условиями увлажнения характеризовались 2009, 2014–2016, 2018 и 2019 годы, ГТК в диапазоне 0,6–0,9. В эти годы зарегистрировано 201 мм осадков с апреля по сентябрь, а сумма активных температур составила 3069 °С. Засушливые и жаркие условия сложились в 2010, 2011 и 2012 годах, что отразилось в низких значениях ГТК (0,25–0,49). Общее количество осадков за вегетационный период составило всего 125 мм, в то время как средняя сумма активных температур достигала 3352,4 °С.

Почва опытного поля представляет собой слабо-выщелоченный маломощный тяжелосуглинистый южный чернозем с низким содержанием гумуса. Содержание гумуса в пахотном слое составляет 3,5–4,2%, гидролизующего азота — 10–15 мг, доступного фосфора — 2,4–12,0 мг, обменного калия — 21–32 мг, кальция — до 8 мг на 100 г почвы. Почва характерна для юго-восточных черноземных степей России.

Экспериментальную часть работ проводили в стационарном опыте. Объект исследований — короткоротационные севообороты, представленные в таблице 1.

Размещение делянок систематическое, повторность трехкратная. Норма высева, глубина заделки семян и агротехника возделывания культур соответствовали зональной технологии. В целях производства экологически безопасной сельскохозяйственной продукции в рамках севооборота было полностью исключено использование минеральных удобрений и гербицидов, что способствовало минимизации химической нагрузки на почву и растения.

При проведении экспериментальных работ использовали сорта сельскохозяйственных культур местной селекции, допущенных к возделыванию в Нижневолжском регионе: озимая пшеница (Левобережная 3), яровая мягкая пшеница (Саратовская 68), яровой ячмень (Нутанс 553), кукуруза (Радуга), сорго зерновое (Перспективный 1), соя (Соер 4).

Таблица 1. Схема стационарного опыта по изучению короткоротационных севооборотов

Table 1. Scheme of stationary experience in the study of short-rotation crop rotations

Варианты	Чередование культур
1	пар черный — озимая пшеница — соя — яровая мягкая пшеница
2	пар черный — озимая пшеница — соя — яровой ячмень
3	пар черный — озимая пшеница — соя — кукуруза
4	пар черный — озимая пшеница — соя — зерновое сорго

Питательную ценность зерна оценивали на основе биохимического анализа в соответствии со стандартами: содержание протеина (ГОСТ 10846-91¹), жира (ГОСТ 13496.15-97²), клетчатки (ГОСТ 31675-2012³), золы (ГОСТ 10847-2019⁴).

Биоэнергетическую оценку эффективности экспериментальных схем севооборотов проводили на основе полученного экспериментального материала согласно стандартным методикам⁵⁻⁷.

Валовую энергетическую ценность (ВЭ) основной продукции рассчитывали по формуле:

$$ВЭ = 0,23 \times \text{протеин} + 0,376 \times \text{жир} + 0,167 \times \text{клетчатка} + 0,174 \times БЭВ^8$$

По показателям суммы накопленной энергии с урожаем (Q) и затрат совокупной энергии на возделывание культур (ЕТ) рассчитывали следующие показатели: прирост энергии (ΔQ), биоэнергетический коэффициент (r), энергетическую рентабельность (R) и энергетическую себестоимость урожая (CQ).

Математическая обработка результатов исследований проведена методами дисперсионного и корреляционного анализов с использованием программы Microsoft Excel (США) и пакета программ статистического и биометрико-генетического анализа в растениеводстве и селекции AGROS (версия 2.09)⁹.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Для биоэнергетической оценки изучаемых севооборотов был проведен биохимический анализ зерна возделываемых культур, определено содержание сырого протеина, жира, клетчатки, золы и БЭВ (рис. 1).

На основании содержания основных питательных веществ в зерне культур рассчитан выход

¹ ГОСТ 10846-91 Зерно и продукты его переработки. Метод определения белка.

² ГОСТ 32905-2014 Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения содержания сырого жира (ISO 6492:1999, MOD).

³ ГОСТ 31675-2012 Корма. Методы определения содержания сырой клетчатки с применением промежуточной фильтрации.

⁴ ГОСТ 10847-2019 Зерно. Определение зольности.

⁵ Жученко А.А., Афанасьев В.Н. Энергетический анализ в сельском хозяйстве. Кишинев. 1988; 70.

⁶ Посыпанов Г.С., Долгодворов В.Е. Методика энергетической оценки эффективности технологического приема, культуры, сорта. М.: МСХА. 1995; 22.

⁷ Биоэнергетическая оценка севооборотов: метод, рекомендации. Новосибирск: РАСХН. Сибирское отделение. СибНИИСХ. 1993; 36.

⁸ Вафина Э.Ф., Сутыгин П.Ф. Энергетическая оценка эффективности приемов технологий возделывания полевых культур. 2016; 62.

⁹ Мартынов С.П. Пакет программ статистического и биометрико-генетического анализа в растениеводстве и селекции AGROS (версия 2.09). Тверь, 1999.

валовой энергии с урожаем основной продукции севооборотов. Наибольший аккумулированный объем валовой энергии отмечается у пропашных культур, а также у озимой пшеницы. В ходе исследований получены следующие средние значения: кукуруза — 56,62 ГДж/га, зерновое сорго — 46,80 ГДж/га, озимая пшеница — 50,51 ГДж/га. У сои наблюдается некоторое снижение выхода суммарной энергии, составляющее 33,36 ГДж/га. Самые низкие показатели характерны для ранних яровых культур: яровой ячмень — 26,05 ГДж/га, яровая пшеница — 27,72 ГДж/га.

При рассмотрении результатов исследования по годам отмечается существенная разница в показателях (рис. 2).

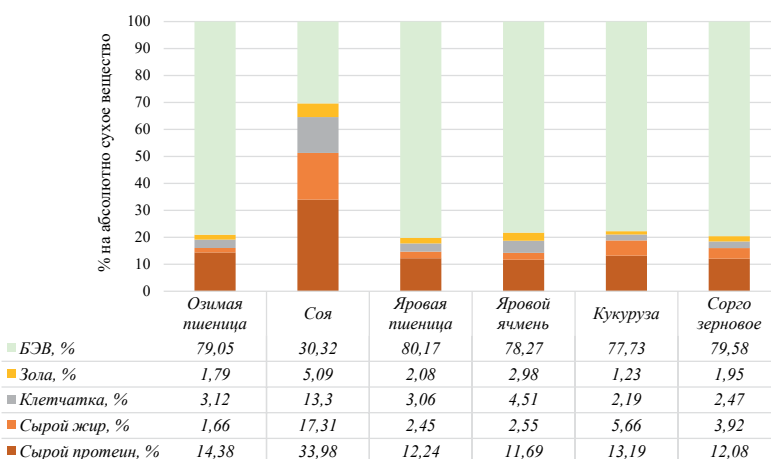
Максимальный выход валовой энергии отмечен в благоприятные годы (2008-й, 2013-й и 2017-й) на всех культурах севооборота (рис. 2). У озимой пшеницы содержание валовой энергии составило 55,22–104,51 ГДж/га, у ранних яровых — 26,27–54,93 ГДж/га, у сои — 32,21–67,19 ГДж/га, у зернового сорго — 52,78–81,43 ГДж/га, у кукурузы — 71,13–95,64 ГДж/га.

В средние годы (2009, 2014–2016, 2018–2019 гг.) показатели несколько ниже. Выход валовой энергии с 1 га изменялся у озимой пшеницы в пределах 33,35–68,93 ГДж, у сои — 11,74–59,60 ГДж, у яровой пшеницы — 14,44–34,98 ГДж, у ярового ячменя — 11,21–37,29 ГДж, у кукурузы — 41,60–71,54 ГДж, у зернового сорго — 34,31–61,64 ГДж. Низкий выход валовой энергии отмечен в годы с недостаточным увлажнением (2010–2012 гг.) у всех культур севооборота. Однако даже в острозасушливые годы кукуруза и зерновое сорго обеспечили выход валовой энергии выше ранних яровых культур: яровая пшеница — 5,52–19,62 ГДж/га, яровой ячмень — 6,43–21,68 ГДж/га, соя — 5,52–29,68 ГДж/га, озимая пшеница — 9,27–25,76 ГДж/га, зерновое сорго — 24,32–36,00 ГДж/га, кукуруза — 27,41–40,44 ГДж/га.

В рамках изучаемых схем чередования культур суммарный объем энергии, полученной с урожаем, в среднем за период проведения исследований варьировал от 27,48 до 35,12 ГДж/га (табл. 2).

Рис. 1. Биохимический состав зерна с.-х. культур, 2008–2019 гг.

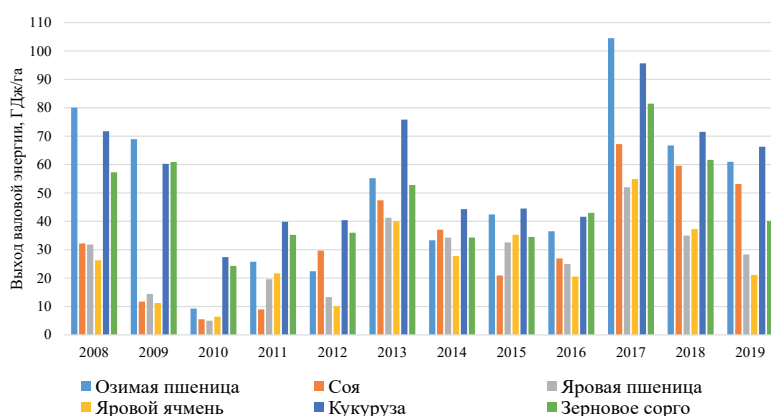
Fig. 1. Biochemical composition of grain of agricultural crops, 2008–2019



HCP_{05} (протеин) = 2,36 HCP_{05} (жир) = 0,40 HCP_{05} (клетчатка) = 0,41 HCP_{05} (зола) = 0,44 HCP_{05} (БЭВ) = 2,53

Рис. 2. Выход валовой энергии с урожаем культур в экспериментальном севообороте, 2008–2019 гг.

Fig. 2. Gross energy output with crop yield in the experimental crop rotation, 2008–2019



$HCP_{0,05} = 7,761$

Таблица 2. Биоэнергетическая эффективность четырехпольных севооборотов, 2008–2019 гг.

Table 2. Bioenergetic efficiency of four-field crop rotations, 2008–2019

Показатель	Вариант опыта*				HCP_{05}
	1	2	3	4	
Выход зерна, т/га	1,42	1,40	1,77	1,67	0,085
Сумма накопленной энергии (Q), ГДж/га	27,90	27,48	35,12	32,67	1,621
Затраты совокупной энергии (E_T)	10,70	10,62	11,35	11,16	0,08
Прирост энергии (ΔQ), ГДж/га	17,37	17,63	23,94	21,68	–
Биоэнергетический коэффициент (r)	2,61	2,59	3,12	2,94	0,135
Энергетическая рентабельность (R), %	162,31	160,36	211,12	194,33	–
Себестоимость энергии урожая (C_0), ГДж/га	0,53	0,52	0,39	0,41	0,103

Примечание: 1. Пар — озимая пшеница — соя — яровая пшеница. 2. Пар — озимая пшеница — соя — яровой ячмень. 3. Пар — озимая пшеница — соя — кукуруза. 4. Пар — озимая пшеница — соя — сорго зерновое.

Максимальные значения получены при следующих схемах ротации культур: пар — озимая пшеница — соя — зерновое сорго — 32,67 ГДж/га и пар — озимая пшеница — соя — кукуруза — 35,12 ГДж/га при затратах совокупной энергии 11,16–11,35 ГДж/га соответственно. В этих вариантах прирост энергии составил 21,68–23,94 ГДж/га,

энергетическая рентабельность — 194,33–211,12%, себестоимость энергии урожая — 0,39–0,41 ГДж/га.

В вариантах с включением яровой пшеницы и ячменя биоэнергетическая эффективность ниже, сумма накопленной энергии — 27,48–27,90 ГДж/га при затратах 10,62–10,70 ГДж/га, прирост энергии — 17,37–17,63 ГДж/га, энергетическая рентабельность — 160,36–162,31%, себестоимость энергии урожая — 0,52–0,53 ГДж/га.

В ходе многолетних исследований показатели биоэнергетической эффективности варьировали в диапазоне от 2,59 до 3,12 (рис. 3). Максимальные значения отмечены в агросистемах, включающих культуры позднего срока посева: при включении зернового сорго коэффициент составил 2,94, кукурузы — 3,12. Менее продуктивными с точки зрения биоэнергетики оказались варианты с ранними яровыми культурами, где соответствующие коэффициенты находились в пределах 2,59–2,61.

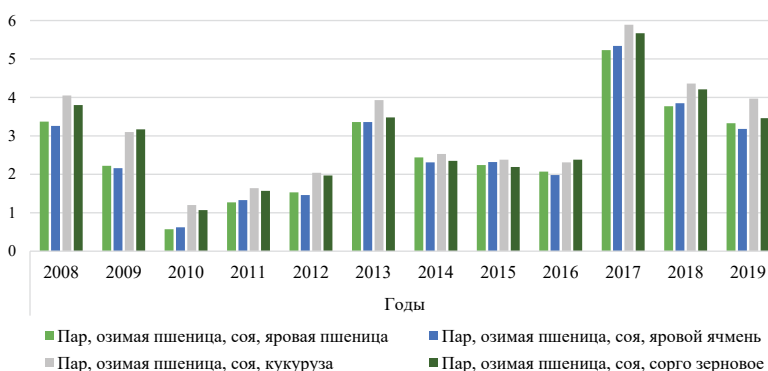
Статистический анализ продемонстрировал выраженную положительную зависимость коэффициентов биоэнергетической эффективности схем севооборотов от гидротермических параметров вегетационного периода культур. Коэффициент корреляции, характеризующий данную зависимость, варьируется в диапазоне от 0,71 до 0,74. Это свидетельствует о том, что более благоприятные гидротермические условия, такие как оптимальное сочетание температуры и влажности, оказывают существенное влияние на повышение биоэнергетической эффективности севооборотов.

Эта выраженная взаимосвязь визуализирована на рисунке 4 и подкрепляется уравнением линейной регрессии, а также коэффициентом аппроксимации. Последний изменялся от 0,5082 в случае включения зернового сорго в севооборот до 0,5617 при включении яровой пшеницы.

Хотя биоэнергетическая оценка независима от цен, высокая энергоэффективность включения сорго и кукурузы в структуру посевных площадей в условиях недостаточного увлажнения подтверждается экономической выгодой для фермеров, особенно в засушливые годы. При этом уровень экономической эффективности изучаемых схем севооборотов с насыщением пропашными культурами возрастает до 126–132%,

Рис. 3. Биоэнергетические коэффициенты (r) в севооборотах

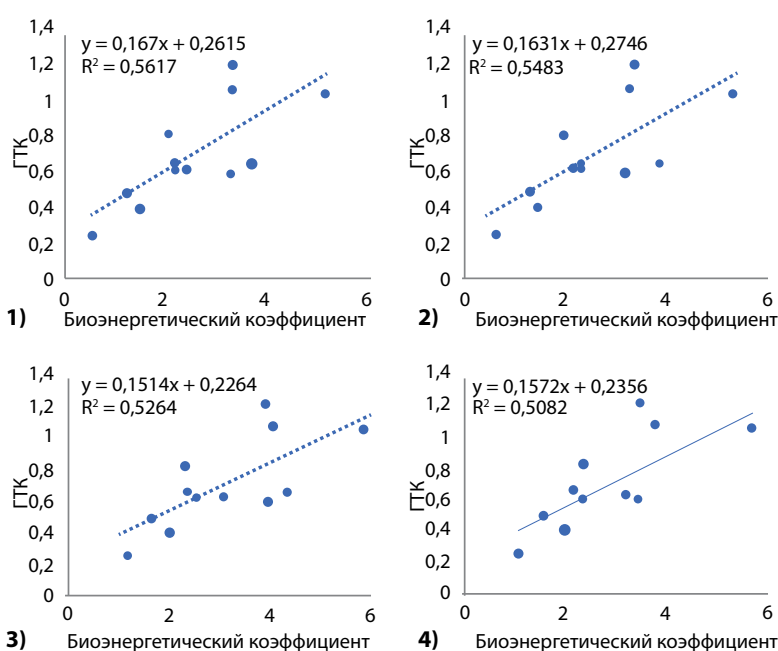
Fig. 3. Bioenergetic coefficients (r) in crop rotations



$HC_{0,05}=0,135$

Рис. 4. Зависимость биоэнергетических коэффициентов от погодных условий: 1) пар — озимая пшеница — соя — яровая пшеница; 2) пар — озимая пшеница — соя — яровой ячмень; 3) пар — озимая пшеница — соя — кукуруза; 4) пар — озимая пшеница — соя — зерновое сорго

Fig. 4. Dependence of bioenergy coefficients on weather conditions: 1) steam — winter wheat — soybeans — spring wheat; 2) steam — winter wheat — soybeans — spring barley; 3) steam — winter wheat — soybeans — corn; 4) steam — winter wheat — soybeans — grain sorghum



при рентабельности зернопаровых севооборотов — 107–117% [25].

В засушливых условиях Оренбургской области проводили исследования на многолетнем стационарном опыте Федерального научного центра биологических систем и агротехнологий РАН, направленные на определение перспективных севооборотов с различным насыщением позднеспелыми культурами, такими как кукуруза, просо, сорго и др. Выявлено, что в биоэнергетическом плане посевы кукурузы и сорго эффективны в севооборотах. Самый высокий энергетический коэффициент (1,98–2,37) отмечается у них за счет накопления большого количества энергии в продукции [26].

Выводы/Conclusions

Использование поздних культур, устойчивых к засухе, может быть ключевым для обеспечения продовольственной безопасности в регионах с аридным климатом. Тот факт, что энергетическая оценка всех изучаемых севооборотов показала их высокую эффективность, говорит о перспективности данного подхода. Яровые посевы сильнее зависят от количества влаги, доступной в течение вегетации, и в годы с острой засухой не могут давать удовлетворительные урожаи. Ранние яровые культуры сильнее зависят от количества влаги, доступной в течение вегетации, и в годы с острой засухой не могут давать удовлетворительные урожаи.

Все авторы несут ответственность за работу и представленные данные. Все авторы внесли равный вклад в работу. Авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена в рамках тематического плана ФГБНУ «Российский научно-исследовательский и проектно-технологический институт сорго и кукурузы» согласно госзаданиям № АААА-А19-119041190006-4 и № 124020300051-4 Министерства сельского хозяйства Российской Федерации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Магомедтагиров А.А. Агроклиматическое обоснование севооборотов в интенсивном и биологизированном земледелии. *Современные векторы развития науки. Сборник статей по материалам Ежегодной научно-практической конференции преподавателей по итогам НИР за 2023 год*. Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина. 2024; 32–34. <https://elibrary.ru/drlgqd>
2. Фитишин К.Р. Влияние климатических изменений на урожайность основных сельскохозяйственных культур. *Инновационные технологии в науке и образовании. Сборник научных трудов XII Международной научно-практической конференции*. Ростов-на-Дону: Общество с ограниченной ответственностью «ДГТУ-ПРИНТ». 2024; 119–122. <https://doi.org/10.23947/itse.2024.119-122>
3. Зейналов А.С., Орел Д.С. Адаптационные возможности и изменения в биоэкологии *Cydia pomonella* L. в Центральном районе Нечерноземной зоны России на фоне глобального потепления. *Аграрная наука*. 2023; (6): 89–95. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-371-6-89-95>
4. Жазылбек Л.И., Несипбеков Е.Н. Влияние изменения климата на устойчивость культурных растений в условиях Казахстана. *Мировая глобализация: фундаментальные и прикладные аспекты: сборник научных трудов по материалам IV Международной научно-практической конференции*. М.: Экономическое образование. 2024; 173–178. <https://elibrary.ru/roekpv>
5. Рябцева Н.А. Влияние климатических факторов на действие регуляторов роста в агроценозах ярового ячменя. *Аграрная наука*. 2024; (10): 117–121. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-387-10-117-121>
6. Левицкая Н.Г., Демакина И.И. Современные изменения климата Саратовской области и стратегия адаптации к ним селекции и агротехнологий. *Успехи современного естествознания*. 2019; (10): 7–12. <https://www.doi.org/10.17513/use.37206>
7. Губарев Д.И., Левицкая Н.Г., Деревягин С.С. Влияние изменений климата на деградацию почв в аридных зонах Поволжья. *Аридные экосистемы*. 2022; 28(1): 20–27. <https://www.doi.org/10.24412/1993-1939-3916-2022-1-20-27>
8. Huang Y., Gerber S., Huang T., Lichstein J.W. Evaluating the drought response of CMIP5 models using global gross primary productivity, leaf area, precipitation, and soil moisture data. *Global Biogeochemical Cycles*. 2016; 30(12): 1827–1846. <https://www.doi.org/10.1002/2016GB005480>
9. Варданян Т.Г. Глобальное изменение климата и водное хозяйство Армении. *Вестник Тверского государственного университета. Серия: География и геоэкология*. 2017; (1): 18–36. <https://www.elibrary.ru/yhvdcr>

Энергетическая оценка эффективности изучаемых севооборотов показала, что для стабилизации биоэнергетической эффективности в условиях аридизации климата Нижнего Поволжья рекомендуется замещать в короткоротационных севооборотах не менее 25% площадей под ранние яровые культуры на позднеспелые, такие как кукуруза и зерновое сорго. В зернопаропропашных севооборотах выявлены максимальные коэффициенты энергетической эффективности — 2,94–3,12. Включение только ранних яровых культур менее эффективно, коэффициенты энергетической эффективности 2,59–2,61.

All authors bear responsibility for the work and presented data. All authors made an equal contribution to the work. The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism. The authors declare no conflict of interest.

FINANCING

The research was carried out within the framework of the thematic plan of the Federal State Budgetary Scientific Institution "Russian Research, Design and Technology Institute of Sorghum and Corn" in accordance with state assignment No. АААА-А19-119041190006-4 and No. 124020300051-4 of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation.

REFERENCES

1. Magomedtagirov A.A. Agroclimatic justification for crop rotation in intensive and biologized agriculture. *Modern vectors of scientific development. A collection of articles based on the materials of the Annual scientific and practical conference of teachers on the results of research in 2023*. Krasnodar: Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin. 2024; 32–34 (in Russian). <https://elibrary.ru/drlgqd>
2. Fitišin K.R. The impact of climate change on the yield of major agricultural crops. *Innovative technologies in science and education. Collection of scientific papers of the XII International scientific and practical conference*. Rostov-on-Don: Limited Liability Company "DSTU-PRINT". 2024; 119–122 (in Russian). <https://doi.org/10.23947/itse.2024.119-122>
3. Zeynalov A., Orel D.S. Adaptation possibilities and changes in the bioecology of *Cydia pomonella* L. in the central region of the non-black soil zone of Russia on the background of global warming. *Agrarian science*. 2023; (6): 89–95 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-371-6-89-95>
4. Zhazylbek L.I., Nesipbekov E.N. The Impact of Climate Change on the Resilience of Cultivated Plants in Kazakhstan. *World Globalization: Fundamental and Applied Aspects: A Collection of Scientific Papers Based on the Proceedings of the IV International Scientific and Practical Conference*. Moscow: Economic Education. 2024; 173–178 (in Russian). <https://elibrary.ru/roekpv>
5. Ryabtseva N.A. The influence of climatic factors on the effect of growth regulators in agrocenoses of spring barley. *Agrarian science*. 2024; (10): 117–121 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-387-10-117-121>
6. Levitskaya N.G., Demakina I.I. Modern climate characters of the Saratov region and adaptation strategy of breeding and agrotechnologies to them. *Advances in current natural sciences*. 2019; (10): 7–12 (in Russian). <https://www.doi.org/10.17513/use.37206>
7. Gubarev D.I., Levitskaya N.G., Derevyagin S.S. Influence of Climate Change on Soil Degradation in Arid Zones of the Volga Region. *Arid Ecosystems*. 2022; 12(1): 15–21. <https://doi.org/10.1134/S2079096122010061>
8. Huang Y., Gerber S., Huang T., Lichstein J.W. Evaluating the drought response of CMIP5 models using global gross primary productivity, leaf area, precipitation, and soil moisture data. *Global Biogeochemical Cycles*. 2016; 30(12): 1827–1846. <https://www.doi.org/10.1002/2016GB005480>
9. Vardanyan T.G. Global climate change and water economy of Armenia. *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geografiya i geoekologiya*. 2017; (1): 18–36 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/yhvdcr>

10. Faucon M.P., Houben D., Lambers H. Plant Functional Traits: Soil and Ecosystem Services. *Trends Plant Sci.* 2017 May; 22(5): 385–394. DOI: 10.1016/j.tplants.2017.01.005. Epub 2017 Feb 14. PMID: 28209328
11. Mariotte P. *et al.* Plant-Soil Feedback: Bridging Natural and Agricultural Sciences. *Trends in Ecology & Evolution.* 2018; 33(2): 129–142. <https://www.doi.org/10.1016/j.tree.2017.11.005>
12. Schimel J.P. Life in Dry Soils: Effects of Drought on Soil Microbial Communities and Processes. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics.* 2018; 49: 409–432. <https://www.doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-110617-062614>
13. Plaxina V.S., Astashov A.N., Bochkareva Ju.V., Azizov Z.M., Safronov A.A. Improvement of the ecological sustainability of short-term rotation under the aridization conditions. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.* 2022; 949: 012135. <https://www.doi.org/10.1088/1755-1315/949/1/012135>
14. Toigildin A., Morozov V., Podsevalov M., Toigildina I., Ayupov D. Ecological role of crop rotation in the efficient use of agricultural territories of the forest-steppe zone of the Volga region. *E3S Web of Conferences.* 2020; 208: 01014. <https://www.doi.org/10.1051/e3sconf/202020801014>
15. Zeleney A.V., Chamurliov O.G., Laptina Yu.A., Gubina L.V., Romenskaya O.N., Feofilova L.A. Effectiveness of biologization predecessors and methods in increasing grain crops productivity and field crop rotations productivity in Nizhne Povolzhje region. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.* 2021; 843: 012024. <https://www.doi.org/10.1088/1755-1315/843/1/012024>
16. Степных Н.В., Нестерова Е.В., Заргарян А.М., Копылова С.А. Стратегическое значение диверсификации растениеводства. *Земледелие.* 2022; (2): 7–13. <https://www.elibrary.ru/dnrbgb>
17. Трофимов И.А., Трофимова Л.С., Яковлева Е.П., Емельянов А.В., Скрипникова Е.В. Адаптации в сельском хозяйстве и иммунитет сельскохозяйственных культур к болезням и вредителям. *Аграрная наука.* 2019; (2): 24–28. <https://www.doi.org/10.32634/0869-8155-2019-326-2-24-28>
18. Азизов З.М., Архипов В.В., Имашев И.Г. Эффективность производства зерна в севооборотах засушливой степи Нижнего Поволжья. *Аграрный научный журнал.* 2021; (2): 4–8. <https://www.doi.org/10.28983/asj.y2021i2pp4-8>
19. Широков Ю.А. Анализ перспектив энергоэкономической оценки агротехнологий. *Агроинженерия.* 2021; (4): 46–52. <https://www.doi.org/10.26897/2687-1149-2021-4-46-52>
20. Беляк В.Б., Тимошкин О.А. Совершенствование набора культур и структуры кормовых угодий для мясного скота в лесостепной зоне. *Международный сельскохозяйственный журнал.* 2019; (1): 49–52. <https://www.doi.org/10.24411/2587-6740-2019-11013>
21. Ткачук О.А., Павликова Е.В. Сравнительная оценка энергетической эффективности агротехнических приемов в полевых севооборотах лесостепи Среднего Поволжья. *Современные проблемы науки и образования.* 2015; (1–1): 1690. <https://www.elibrary.ru/vifdcf>
22. Мамедова Ш.А. Биоэнергетическая и экономическая эффективность выращивания бобовых растений. *Бюллетень науки и практики.* 2021; 7(1): 98–106. <https://www.doi.org/10.33619/2414-2948/62/10>
23. Ткачук О.А., Орлов А.Н., Павликова Е.В. Совершенствование элементов технологии возделывания яровой пшеницы, обеспечивающих снижение энергетических затрат и повышение урожайности на черноземных почвах лесостепи Поволжья. *Нива Поволжья.* 2012; (2): 40–45. <https://www.elibrary.ru/punxh>
24. Барановский А.В., Тимошин Н.Н., Курдюкова О.Н. Энергетическая эффективность возделывания сорго и других зерновых культур в Донбассе. *Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН.* 2024; 26(5): 147–159. <https://www.elibrary.ru/orwtrk>
25. Плаксина В.С., Родина Т.В., Киреева О.В. Повышение рентабельности за счет возделывания кормовых культур в агроценозах. Селекция сельскохозяйственных растений и совершенствование технологии их возделывания. *Материалы Международной научно-практической конференции.* Иркутск: Иркутский ГАУ. 2024; 111–115. <https://www.elibrary.ru/tjwokd>
26. Митрофанов Д.В. Агроэкономическая и биоэнергетическая оценка шестипольных севооборотов в засушливых условиях Оренбургской области. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета.* 2019; (2): 20–24. <https://www.elibrary.ru/odznxo>
10. Faucon M.P., Houben D., Lambers H. Plant Functional Traits: Soil and Ecosystem Services. *Trends Plant Sci.* 2017 May; 22(5): 385–394. DOI: 10.1016/j.tplants.2017.01.005. Epub 2017 Feb 14. PMID: 28209328
11. Mariotte P. *et al.* Plant-Soil Feedback: Bridging Natural and Agricultural Sciences. *Trends in Ecology & Evolution.* 2018; 33(2): 129–142. <https://www.doi.org/10.1016/j.tree.2017.11.005>
12. Schimel J.P. Life in Dry Soils: Effects of Drought on Soil Microbial Communities and Processes. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics.* 2018; 49: 409–432. <https://www.doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-110617-062614>
13. Plaxina V.S., Astashov A.N., Bochkareva Ju.V., Azizov Z.M., Safronov A.A. Improvement of the ecological sustainability of short-term rotation under the aridization conditions. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.* 2022; 949: 012135. <https://www.doi.org/10.1088/1755-1315/949/1/012135>
14. Toigildin A., Morozov V., Podsevalov M., Toigildina I., Ayupov D. Ecological role of crop rotation in the efficient use of agricultural territories of the forest-steppe zone of the Volga region. *E3S Web of Conferences.* 2020; 208: 01014. <https://www.doi.org/10.1051/e3sconf/202020801014>
15. Zeleney A.V., Chamurliov O.G., Laptina Yu.A., Gubina L.V., Romenskaya O.N., Feofilova L.A. Effectiveness of biologization predecessors and methods in increasing grain crops productivity and field crop rotations productivity in Nizhne Povolzhje region. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.* 2021; 843: 012024. <https://www.doi.org/10.1088/1755-1315/843/1/012024>
16. Stepanykh N.V., Nesterova E.V., Zargaryan A.M., Kopylova S.A. Strategic importance of crop production diversification. *Zemledelie.* 2022; (2): 7–13 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/dnrbgb>
17. Trofimov I.A., Trofimova L.S., Yakovleva E.P., Yemelyanov A.V., Skripnikova E.V. Adaptations in agriculture and immunity of agricultural cultures to diseases and pests. *Agrarian science.* 2019; (2): 24–28 (in Russian). <https://www.doi.org/10.32634/0869-8155-2019-326-2-24-28>
18. Azizov Z.M., Arkhipov V.V., Imashev I.G. Efficiency of grain production in crop rotations of the dry steppe of the Lower Volga region. *Agrarian Scientific Journal.* 2021; (2): 4–8 (in Russian). <https://www.doi.org/10.28983/asj.y2021i2pp4-8>
19. Shirokov Yu.A. Analysis of the prospects of energy-economic assessment of agricultural technologies. *Agricultural Engineering.* 2021; (4): 46–52 (in Russian). <https://www.doi.org/10.26897/2687-1149-2021-4-46-52>
20. Belyak V.B., Timoshkin O.A. Improving the mix of cultures and structures forage lands for beef cattle in the forest-steppe zone. *International Agricultural Journal.* 2019; (1): 49–52 (in Russian). <https://www.doi.org/10.24411/2587-6740-2019-11013>
21. Tkachuk O.A., Pavlikova E.V. Comparative assessment of energy efficiency agrotechnical methods in crop rotation steppe Middle Volga. *Modern problems of science and education.* 2015; (1–1): 1690 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/vifdcf>
22. Mammadova Sh.A. Energy and economic efficiency of cultivation of legumes. *Bulletin of Science and Practice.* 2021; 7(1): 98–106 (in Russian). <https://www.doi.org/10.33619/2414-2948/62/10>
23. Tkachuk O.A., Orlov A.N., Pavlikova E.V. Improving the elements of spring wheat cultivation technology that reduce energy costs and increase yields on chernozem soils of the forest-steppe of the Middle Volga region. *Niva Povolzhya.* 2012; (2): 40–45 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/punxh>
24. Baranovsky A.V., Timoshin N.N., Kurdyukova O.N. Energy efficiency of sorghum and other grain crops cultivation in Donbass. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS.* 2024; 26(5): 147–159 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/orwtrk>
25. Plaksina V.S., Rodina T.V., Kireeva O.V. Increasing profitability by cultivating forage crops in agroecosystems. *Breeding of agricultural plants and improvement of their cultivation technology. Proceedings of the International scientific and practical conference.* Irkutsk: Irkutsk State Agrarian University. 2024; 111–115 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/tjwokd>
26. Mitrofanov D.V. Agro-economic and bioenergetic assessment of six-field crop rotation under arid conditions of Orenburg region. *Izvestia Orenburg State Agrarian University.* 2019; (2): 20–24 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/odznxo>

ОБ АВТОРАХ

Вера Сергеевна Бударина

кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник
v.plaksina88@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1808-8974>

Александр Николаевич Асташов

кандидат сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник
alex-astashov@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-2744-9428>

Татьяна Владимировна Асташова

кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник
rodina008@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-6670-417x>

Кирилл Алексеевич Пронудин

научный сотрудник
pronudin.kirill@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9760-6732>

Денис Дмитриевич Бабушкин

младший научный сотрудник
denchik241088@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-3520-9376>

Российский научно-исследовательский и проектно-технологический институт сорго и кукурузы,
1-й Институтский проезд, 4, Саратов, 410050, Россия

ABOUT THE AUTHORS

Vera Sergeevna Budarina

Candidate of Agricultural Sciences,
Chief Researcher
v.plaksina88@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1808-8974>

Alexander Nikolaevich Astashov

Candidate of Agricultural Sciences,
Senior Researcher
alex-astashov@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-2744-9428>

Tatiana Vladimirovna Astashova

Candidate of Agricultural Sciences,
Leading Researcher
rodina008@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-6670-417x>

Kirill Alekseevich Pronudin

Research Associate
pronudin.kirill@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9760-6732>

Denis Dmitrievich Babushkin

Junior Research
denchik241088@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-3520-9376>

Russian Research, Design and Technology Institute of
Sorghum and Corn,
4 1st Institute Passage, Saratov, 410050, Russia

ПРО ЯБЛОКО

**ЗДЕСЬ ФОРМИРУЕТСЯ БУДУЩЕЕ
РОССИЙСКОГО САДОВОДСТВА**

9-11 июня 2026

МВЦ «МинводыЭКСПО»

ОРГАНИЗАТОРЫ:



ПОДРОБНАЯ
ИНФОРМАЦИЯ
О ВЫСТАВКЕ >

