

О.В. Балун

Е.П. Шкодина ✉

С.Ю. Жукова

В.А. Яковлева

Новгородский научно-исследовательский институт сельского хозяйства — филиал ФГБУН «Санкт-Петербургский федеральный исследовательский центр Российской академии наук» (Новгородский НИИСХ — филиал СПб ФИЦ РАН), дер. Борки, Новгородская обл., Россия

✉ kriempereoal@mail.ru

Поступила в редакцию: 28.03.2025

Accepted in revised: 12.07.2025

Accepted for publication: 27.07.2025

© Балун О.В., Шкодина Е.П., Жукова С.Ю., Яковлева В.А.

Olga V. Balun

Elena P. Shkodina ✉

Svetlana Yu. Zhukova

Valentina A. Yakovleva

Novgorod Research Institute of Agriculture — Branch of the St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Borki, Novgorod Region, Russia

✉ kriempereoal@mail.ru

Received by the editorial office: 28.03.2025

Accepted in revised: 12.07.2025

Accepted for publication: 27.07.2025

© Balun O.V., Shkodina E.P., Zhukova S.Yu., Yakovleva V.A.

Зависимость урожайности зеленой массы и продолжительности межфазных периодов сорговых интродуцентов от условий выращивания

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Для аграрного сектора северо-запада Нечернозёмной зоны грядущие изменения климата в сторону потепления имеют положительные характеристики. Однако необходимо своевременно корректировать ассортимент культурных растений, чтобы обеспечить продовольственную безопасность региона. Для кормопроизводства региона в качестве однолетних кормовых культур актуально введение в севообороты сорговых интродуцентов, обладающих высоким адаптационным потенциалом. Актуально определить основные закономерности влияния метеоусловий региона на рост, развитие и урожайность культур.

Материалы и методы. Исследования проводили в условиях Новгородской области на сорго сахарное Силосное 88 (гибрид 1-го поколения), сорго-суданковом гибриде Навигатор и суданской траве Землячка (линия) в 2016–2023 гг. Фенологические наблюдения и учеты проводили согласно методическим указаниям по проведению полевых опытов с кормовыми культурами ВНИИ кормов, зависимости определяли с помощью Microsoft Excel методом регрессионного и корреляционного анализов.

Результаты. В процессе работы установлены следующие зависимости на первых этапах развития растений: сильная положительная, обуславливающая увеличение продолжительности межфазных периодов при увеличении суммы активных температур ($r = 0,93–0,99$) и количества осадков ($r = 0,72$); сильная отрицательная зависимость урожайности зеленой массы от количества осадков ($r = 0,71$) и средняя — от суммы активных температур ($r = 0,66$). Корреляционные связи коэффициента увлажнения (ГТК) с длительностью межфазных периодов и урожайностью зеленой массы не выявлены. Установлена тесная взаимосвязь между длительностью периода «всходы — кущение» и урожайностью зеленой массы. Таким образом, установлено, что сорговые культуры наиболее чувствительны к изменениям погодных условий на начальных этапах развития.

Ключевые слова: сумма температур, количество осадков, ГТК, регрессионный анализ, коэффициент корреляции

Для цитирования: Балун О.В., Шкодина Е.П., Жукова С.Ю., Яковлева В.А. Зависимость урожайности зеленой массы и продолжительности межфазных периодов сорговых интродуцентов от условий выращивания. *Аграрная наука*. 2025; 397 (08): 70–77. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-397-08-70-77>

The dependence of the yield of the green mass and the duration of the interphase periods of the introduced plants on the growing conditions

ABSTRACT

Relevance. For the agricultural sector in the north-west of the Non-Chernozem zone, the upcoming climate changes towards warming have positive characteristics. However, it is necessary to adjust the range of cultivated plants in a timely manner to ensure the food security of the region. For the fodder production of the region, it is important to introduce introduced species with high adaptive potential into crop rotations as annual fodder crops. It is important to determine the main patterns of the influence of the weather conditions of the region on the growth, development and yield of crops.

Materials and methods. The research was conducted in the Novgorod region on sorghum sugar Silage 88 (1st generation hybrid), sorghum-Sudanese hybrid Navigator and Sudanese grass Zemlyachka (line) in 2016–2023. Phenological observations and records were carried out according to the methodological guidelines for conducting field experiments with fodder crops of the All-Russian Research Institute of Feed, dependencies were determined using Microsoft Excel using regression and correlation analysis.

Results. In the course of the work, the following dependences were established at the first stages of plant development: a strong positive one, causing an increase in the duration of interphase periods with an increase in the sum of active temperatures ($r = 0.93–0.99$) and quantity precipitation ($r = 0.72$); a strong negative dependence of the yield of green mass on quantity precipitation ($r = 0.71$) and an average on the sum of active temperature ($r = 0.66$). Correlations of the hydrothermal coefficient (GTK) with the duration of interphase periods and the yield of green mass have not been revealed. A close relationship has been established between the duration of the “germination — tillering” period and the yield of the green mass. Thus, it has been established that sorghums cultures are most sensitive to changes in weather conditions at the initial stages of development.

Key words: sum of temperatures, quantity precipitation, GTC, regression analysis, correlation coefficient

For citation: Balun O.V., Shkodina E.P., Zhukova S.Yu., Yakovleva V.A. The dependence of the yield of the green mass and the duration of the interphase periods of the introduced plants on the growing conditions. *Agrarian science*. 2025; 397 (08): 70–77 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-397-08-70-77>

Введение/Introduction

Вопросы обеспечения населения качественным питанием в достаточном количестве во все времена рассматриваются на государственном уровне как первостепенные. После введения в отношении Российской Федерации санкций была разработана Доктрина Продовольственной безопасности¹, в которой отражены основные направления государственной политики в этой области (далее — Доктрина).

Показателем продовольственной безопасности является продовольственная независимость, определяемая как уровень самообеспечения населения производимой в стране сельхозпродукцией. В Доктрине приводятся индикаторы безопасности (процентное отношение производства к внутреннему потреблению) по 11 основным группам сельхозпродукции. Уровень независимости для мяса составляет не менее 85%, для молока и молочной продукции — не менее 90%.

По данным, приведенным в статье М.А. Положихиной [1], население страны полностью обеспечено сахаром и растительным маслом, уровень обеспеченности овощами и картофелем — 88–95%, мясной продукцией — 97% (соответствует индикаторам продовольственной безопасности). Потребление населением молока и молочной продукции составляет 234 кг/чел в год при рациональной норме 325 кг/чел, производство молочной продукции внутри страны — менее 84% самообеспечения, что ниже установленного показателя (90%).

Положительной динамики в молочном животноводстве не прослеживается, так как поголовье КРС молочного направления продолжает снижаться. На уровне правительства и регионов принимаются меры по исправлению ситуации, приняты ряд законов и постановлений².

Наибольший удельный вес в структуре всех затрат в животноводстве приходится на корма [2–4]. При производстве молока и мяса КРС на корма приходится 50–55% всех затрат, при производстве мяса птицы и яиц — 67–76%. Для снижения затрат необходимо обеспечить отрасль кормами собственного производства с низкой себестоимостью, а устойчивое повышение продуктивного потенциала животных возможно решить за счет формирования конкурентоспособной племенной и кормовой базы [5–8].

Проведенный анализ использования кормов в хозяйствах Новгородской области показал существенное завышение в рационах доли

концентрированных кормов, количество которых должно составлять до 20–30% от общей питательности рациона, а 70–80% — приходится на грубые и сочные корма [8]. Совершенствование рационов кормления и кормового баланса до рекомендуемых норм способствует снижению затрат при производстве мясо-молочной продукции.

К дисбалансу в рационах приводит дефицит зеленых кормов в позднелетний период, обусловленный ограниченным набором кормовых культур, а также климатическими изменениями. В Новгородской области за последние 70 лет среднегодовая температура увеличилась на 3 °С, сумма активных температур вегетационного периода > 10 °С — на 200 °С [7].

Вместе с тем ученые отмечают, что климат становится более контрастным и неустойчивым: если дожди — то ливневые и залповые, если ветры — то шквалистые. Засушливые периоды увеличиваются даже на северо-западе Нечерноземья (которое характеризуется как зона избыточного увлажнения)³. В целом же потепление климата для Нечерноземья явление скорее положительное, так как прогнозируется, что оно приведет к увеличению теплообеспеченности растений и запасов органики в почве⁴.

Производство объемистых и сочных кормов осуществляется с использованием традиционных культур, основу которых составляют многолетние травы, являющиеся самым дешевым источником кормов, под них отводятся около 40% площадей [6, 8, 9]. Для бесперебойного обеспечения кормосырьевого конвейера зеленой массой необходимо включать в ассортимент культуры с различными темпами роста и разных групп скороспелости. В условиях, когда частота возникновения опасных метеорологических явлений увеличивается, традиционные кормовые культуры зачастую неспособны адаптироваться под них (отава многолетних трав не отрастает для скашивания). Поэтому назрела необходимость в поиске альтернативных культур, адаптированных к засухе и нетребовательных к почвенному плодородию [10, 11].

Сорговые (сорго сахарное, суданская трава, сорго-суданковые гибриды) — культуры, которые дают высокие урожаи зеленой массы в засушливых условиях с высокой питательностью полученных из них кормов. В Северо-Кавказском и Нижневолжском регионах, в зоне интенсивного возделывания этих культур на различные цели (пищевые, кормовые, технические), их относят к страховым: они жаро- и засухоустойчивы, при

¹ Доктрина продовольственной безопасности Российской Федерации. Утверждена Указом Президента Российской Федерации от 21 января 2020 года № 20.

² Федеральный закон от 3 августа 1995 года № 123-ФЗ «О племенном животноводстве» (с изменениями и дополнениями), Закон Новгородской области от 27.10.2017 № 170-ОЗ О молочном животноводстве (принят Постановлением Новгородской областной Думы от 25.10.2017 № 328-ОД).

³ Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2020 год. Москва. 2021; 104. https://psv4.userapi.com/s/v1/d/75slxHCouGuA_qWfN_MFm2AvpdHCoraHqGHUpq0BcamlCMXiz5Tq9jgTIDjYx1fVsWz00fi0G_6ff-u-9UkccsJrTgqq9yzmXqlsDhwysUHIQ/doklad_klimat2020_-_Kopia.pdf (дата обращения: 04.03.2025).

⁴ Под редакцией Митина С.Г., Иванова А.Л. Рекомендации по развитию агропромышленного комплекса и сельских территорий Нечернозёмной зоны Российской Федерации до 2030 года. Версия 2.0. М.: Издательство МБА. 2021; 400. DOI: 10.52479/9785604569429

выгорании кормовых трав во время раннелетней засухи они способны закрыть потребности в зеленой массе⁵ [12]. В регионах возделывания урожайность сорго сахарного на силос выше, чем у кукурузы, на 18–25%, а суданская трава по урожайности и питательности занимает первое место среди других злаковых трав [13].

Для традиционной зоны выращивания сорговых культур закономерности их роста, развития, способы и цели выращивания хорошо известны и научно обоснованы. Известно, что сорговые являются типичными растениями короткого дня, при длинном световом дне происходит замедление развития и, соответственно, увеличение продолжительности вегетационного периода [13].

Выявлены зависимости урожайности и качественных показателей от метеорологических условий. Так, исследованиями АНЦ «Донской» установлено, что увеличение осадков в период от всходов до первого укоса на 1 мм дает прибавку урожайности зеленой массы суданской травы 0,14 т/га с коэффициентом корреляции $0,89 \pm 0,22$, а увеличение суммы активных температур на 10 °С имеет отрицательную корреляционную связь и уменьшает урожайность на 0,06 т/га [14]. Впоследствии корреляционные зависимости подтверждены работами на суданской траве Алиса с $r = 0,78$ для суммы осадков и $r = -0,57$ для суммы температур [15].

В степной зоне наличие осадков в июне положительно коррелировало с урожайностью смеси однолетних трав ($r = 0,98$), а увеличение температур в это же время вызывало отрицательную связь с $r = -0,87$ [16]. В работах [17–19] изучены корреляционные связи биохимических показателей зерна проса посевного и сорго с метеорологическими показателями вегетационных периодов.

Агроэкологические испытания сорговых культур в условиях северо-западной зоны показали их высокую адаптивность и перспективность для укрепления кормовой базы Нечерноземья при выращивании на корм [10]. Однако свойства, закономерности и особенности роста и развития культур в условиях зоны, зависимость этих параметров от метеоусловий региона не изучены.

Цель исследования — установить зависимость урожайности зеленой массы и продолжительности межфазных периодов сорговых интродуцентов от метеоусловий вегетационных периодов.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Исследования проводили на опытном поле Новгородского научно-исследовательского института сельского хозяйства — филиала Санкт-Петербургского федерального исследовательского центра Российской академии наук в 2016–2023 гг.

Почвы участка дерново-подзолистые, легкосуглинистые среднекультуренные, содержание гумуса — 2,81–3,57%, подвижного калия (K_2O) — 101–229 мг/кг почвы, фосфора (P_2O_5) — 120–737 мг/кг, рН 5,1–6,6. Характеристика почв приводится по данным агрохимического обследования сельскохозяйственных угодий Станцией агрохимической службы «Новгородская» (ФГБУ «САС «Новгородская», Россия) в 2020 г.

Эксперимент проводили на трех сорговых культурах: суданской траве (линия Землячка), сорго-суданковом гибриде Навигатор, сорго сахарном Силосное 88 (гибрид 1-го поколения) по Методике ВИК⁶.

Для определения влияния метеорологических факторов на продолжительность фаз развития и урожайность культур использовали методы регрессионного и корреляционного анализа по Б.А. Доспехову⁷ и программы Microsoft Excel (США).

Погодные условия за восемь лет опытных работ отличались большим разнообразием: вегетационные периоды четырех лет были избыточно влажными (ГТК > 1,6), трех лет — сухими (ГТК < 1,2), один вегетационный период характеризовался как достаточно влажный (ГТК = 1,37) (табл. 1). Расчет ГТК производился по методу Селянинова⁸.

Среднегодовая температура в регионе за восемь лет наблюдений была выше средней многолетней

Таблица 1. Метеорологические условия периода наблюдений (на основании данных по метеостанции Великий Новгород)⁹

Table 1. Meteorological conditions of the observation period (based on data from the Veliky Novgorod weather station)

Год	Метеопараметр				
	Среднегодовая температура, °С	Годовая сумма осадков, мм	Сумма температур более 10 °С	Сумма осадков за период с t > 10 °С	ГТК
2016	6,4	416	2408	416	1,73
2017	5,8	885	1813	481	2,65
2018	6,1	543	2001	274	1,37
2019	6,8	821	2232	392	1,76
2020	7,7	587	2305	253	1,10
2021	5,8	817	2092	404	1,93
2022	6,2	525	2379	232	0,98
2023	5,7	701	2428	241	0,99
Среднее	6,3	662	2207	336	1,56
Норма	5,7	605	2356	308	1,31

⁵ Капустин С.И., Володин А.Б. Возделывание сорго и однолетних кормовых культур в засушливых условиях юга России. Учебно-методическое пособие. Ставрополь. 2022; 103.

⁶ Методические указания по проведению полевых опытов с кормовыми культурами. М.: ВНИИК. 1987; 197.

⁷ Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат. 1985; 351.

⁸ Журина Л.Л., Лосев А.П. Агрометеорология: учебник. СПб.: Квадро. 2012; 368.

⁹ http://tp5.ru/Архив_погоды_в_Великом_Новгороде

на 0,6 °С (увеличение на 10,5%), а сумма осадков увеличилась по сравнению с нормой на 57 мм (9,4%). Сумма активных температур (выше 10 °С) в среднем за эти годы была ниже нормы на 149 °С, или на 6,3%, а количество осадков за этот же период превысило норму на 28 мм (9,1%). Распределение осадков и температуры в течение вегетационных периодов было очень неравномерным. Периоды высоких среднесуточных температур чередовались с волнами холодных воздушных течений, сезоны с дефицитом осадков наблюдались в различные временные периоды как с недостаточным, так и с избыточным увлажнением. За время наблюдений 2017 год был экстремальным по количеству выпавших за вегетационный период осадков с самой низкой суммой активных температур.

Таким образом, при общей тенденции к изменению климата суммы активных температур за период вегетации не увеличились, а даже уменьшились, что объясняется сокращением самого периода вегетации из-за поздневесенних и раннеосенних заморозков.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Сорговые культуры являются теплолюбивыми, необходимая сумма активных температур от посева до созревания в зоне традиционного возделывания — от 2000–2500 °С¹⁰ до 2500–3500 °С [20]. Как всходы, так и взрослые растения погибают при заморозках -1–3 °С. При выращивании на зеленый корм достаточно суммы температур 1400–1800 °С¹¹ [13]. По данным многочисленных источников, семена сорговых культур начинают прорасти при +8–10 °С, а оптимальными температурами в период роста и развития является диапазон +25–30 °С. Оптимальной для посева считается температура почвы +12–14 °С, поскольку посев в недостаточно прогретую почву приводит к изреживанию и задержке всходов. Всходы, пока идет формирование корневой системы, не переносят заморозков, чувствительны как к низким,

так и к высоким температурам — и те и другие оказывают на них угнетающее воздействие.

В годы исследований в условиях Новгородской области жизненный цикл растений оставался, как правило, незавершенным (табл. 2).

На момент наступления заморозков (05.09 — 21.10) все сорговые культуры в основном цвели, и только суданская трава Землячка в 2016–2017 гг. начала формировать семена, а в 2020 г. при благоприятных погодных условиях успела их сформировать.

Посев культур проводили при наступлении благоприятных погодных условий — с 15 по 30 мая. Нечерноземная зона относится к зоне рискованного земледелия, поэтому посев в оптимально прогретую почву не страхует от различного воздействия на них в последующем метеофакторов вегетационного периода. Так, период от посева до появления всходов в исследуемый промежуток времени составил в среднем 23–24 дня, в 2020 г. и 2021 г. всходы появились через две недели, в 2018-м — через 44 дня. Самый длительный период до всходов в 2018 г. был обусловлен чередованием низких положительных температур первой половины июня с высокими температурами второй половины месяца при отсутствии осадков.

В 2020 и 2021 годах условия для появления всходов были оптимальными. Понятно, что на длительность межфазных периодов сорговых культур значительное влияние оказывают метеорологические условия вегетационного периода. Поскольку сорговые культуры не являются типичными для зоны растениями, а проходят интродукцию в регион, возникает необходимость выяснить закономерности влияния в условиях региона метеорологических параметров (количества осадков, суммы активных температур > 10 °С, ГТК) на длительность межфазных периодов и урожайность зеленой массы сорговых культур. Для этого накопленные данные за вегетационные периоды подвергли математическому анализу.

Таблица 2. Даты наступления фаз развития сорговых культур и урожайность зеленой массы за 2016–2023 гг.

Table 2. Dates of the onset of sorghum crop development phases, green mass yield 2016–2023

Год	Фаза развития							Дата заморозка	Средняя урожайность сорговых культур, т/га
	посев	всходы	кущение	выход в трубку	выметывание	цветение	созревание		
2016	30.05	07–15.06	01–28.07	11.07 — 09.08	24.08	20.09	–	12.10	73
2017	22.05	07.06 — 05.07	04–18.07	24–28.07	04–21.09	21.09	–	21.10	21
2018	22.05	05.07	10–18.07	18–24.07	17.08 — 07.09	28.08 — 07.09	–	25.09	79
2019	15.05	06.06	24.06	05.07	19.08 — 11.09	11.09	–	18.09	55
2020	25.05	08.06	28–30.06	27.07 — 11.08	11–30.08	15.09	22.09 (с. тр. Землячка)	21.10	74
2021	25.05	9.06	30.06 — 07.07	15.07	12.08	26.08 — 07.09	–	17.09	67
2022	18.05	06.06	5.07	25.07	19–23.08	29.08	–	05.09	22
2023	23.05	13–27.06	24.07	08.08 — 11.09	21.08 — 26.09	28.08 — 09.10	–	10.10	24

Примечание: * растянутость наступления фаз развития растений связана с их биологическими особенностями.

¹⁰ Медведев П.Ф., Сметанникова А.И. Кормовые растения европейской части СССР. Справочник. Л.: Колос. 1981; 336.

¹¹ Капустин С.И., Володин А.Б. Возделывание сорго и однолетних кормовых культур в засушливых условиях юга России. Учебно-методическое пособие. Ставрополь. 2022; 103.

Вычисление коэффициента корреляции и регрессионных уравнений показало, что на длину межфазных периодов большее влияние оказывает сумма активных температур. Наиболее тесная зависимость (с коэффициентом корреляции более 0,95) наблюдается в начале вегетации в межфазные периоды «посев — всходы», «всходы — кущение» и «кущение — выход в трубку», а также в период «посев — выход в трубку» и «всходы — выход в трубку» (табл. 3).

Тесная связь длины межфазных периодов с осадками с коэффициентом корреляции более 0,72–0,77 была отмечена только для двух межфазных периодов — «всходы — кущение» и «выход в трубку — кущение». Данные зависимости положительные и показывают, что с увеличением количества осадков межфазный период удлиняется. Тесной зависимости со степенью увлажненности (ГТК) отмечено не было (табл. 3).

Природно-климатические условия Новгородской области из-за недостатка тепла не позволяют получать семена сорговых культур, поэтому исследованиями предусмотрено выращивание сорговых культур в аспекте использования их в качестве кормовых культур для получения зеленой массы, идущей как непосредственно на корм скоту, так и на сено, сенаж, силос. Учет урожая проводили в фазу выметывания, которая наступала (в зависимости от года и культуры) с середины августа до конца сентября.

Каждый отдельно взятый метеопараметр в течение вегетационных периодов имеет различную степень влияния на урожайность сорговых культур. Корреляционный анализ зависимости урожайности от суммы осадков выявил наиболее сильное влияние наличия или отсутствия осадков на урожайность в межфазный период «всходы — кущение» с коэффициентом корреляции $r = 0,71$ (табл. 4).

Сумма осадков в данный межфазный период изменялась в широких пределах — от 25 до 116 мм. Уравнение зависимости урожайности сорговых культур от суммы осадков показало, что снижение количества осадков в данный период на 10 мм приводит к увеличению урожайности сорговых культур на 0,5 т/га.

В этот же период («всходы — кущение») была получена наиболее тесная отрицательная зависимость и с суммой температур (с коэффициентом корреляции

Таблица 3. Зависимость длительности межфазных периодов сорговых культур (y, сут.) от метеоусловий (x)

Table 3. Dependence of the duration of interphase periods of sorghums cultures (y, days) from weather conditions (x)

Межфазный период	Метеопараметр		
	сумма осадков, мм	сумма температур, °С	ГТК
Посев — всходы	$y = 0,23x + 13,81$ $R^2 = 0,16$	$y = 0,06x + 2,95$ $R^2 = 0,91$	$y = -5,57x + 29,71$ $R^2 = 0,15$
Всходы — кущение	$y = 0,15x + 15,00$ $R^2 = 0,52$	$y = 0,06x - 1,97$ $R^2 = 0,86$	$y = 2,95x + 19,80$ $R^2 = 0,04$
Кущение — выход в трубку	$y = 0,12x + 10,80$ $R^2 = 0,24$	$y = 0,06x + 0,26$ $R^2 = 0,96$	$y = -0,57x + 18,39$ $R^2 = 0,01$
Выход в трубку — выметывание	$y = 0,21x + 12,25$ $R^2 = 0,60$	$y = 0,04x + 8,77$ $R^2 = 0,35$	$y = 5,30x + 21,81$ $R^2 = 0,19$
Выметывание — цветение	$y = 0,05x + 16,63$ $R^2 = 0,13$	$y = 0,05x + 4,56$ $R^2 = 0,50$	$y = 0,64x + 18,20$ $R^2 = 0,02$
Посев — кущение	$y = 0,07x + 39,21$ $R^2 = 0,10$	$y = 0,07x - 3,32$ $R^2 = 0,77$	$y = -1,95x + 48,67$ $R^2 = 0,01$
Посев — выход в трубку	$y = 0,06x + 53,72$ $R^2 = 0,09$	$y = 0,06x + 2,46$ $R^2 = 0,85$	$y = -2,93x + 67,75$ $R^2 = 0,02$
Посев — выметывание	$y = 0,04x + 86,38$ $R^2 = 0,03$	$y = 0,04x + 27,12$ $R^2 = 0,22$	$y = -0,32x + 96,06$ $R^2 = 0,0001$
Посев — цветение	$y = 0,004x + 109,2$ $R^2 = 0,01$	$y = 0,03x + 58,15$ $R^2 = 0,16$	$y = -0,74x + 111,27$ $R^2 = 0,001$
Всходы — выход в трубку	$y = 0,14x + 25,38$ $R^2 = 0,35$	$y = 0,05x + 0,32$ $R^2 = 0,93$	$y = 2,08x + 38,41$ $R^2 = 0,01$
Всходы — выметывание	$y = 0,09x + 56,12$ $R^2 = 0,13$	$y = 0,04x + 46,21$ $R^2 = 0,19$	$y = -0,20x + 73,49$ $R^2 = 0,0002$
Всходы — цветение	$y = 0,05x + 76,26$ $R^2 = 0,09$	$y = 0,04x + 27,11$ $R^2 = 0,35$	$y = 3,10x + 82,58$ $R^2 = 0,02$

$r = 0,66$), которая изменялась в годы исследований от 223 °С до 645 °С. Полученное уравнение регрессии показало, что с увеличением суммы температур на 100 °С урожайность зеленой массы сорговых культур уменьшается на 12 т/га. С незначительно меньшей теснотой связи ($r = 0,65$) получена зависимость урожайности зеленой массы сорговых культур от суммы температур за период «всходы — выметывание». Уравнение зависимости показало, что при увеличении суммы температур на 100 °С урожайность зеленой массы уменьшается на 9 т/га. Сумма температур за

Таблица 4. Зависимость урожайности сорговых культур (т/га) от метеопараметров и длительности фазы развития

Table 4. Dependence of sorghums cultures crop yields (t/ha) on meteorological parameters and duration of the development phase

Фаза	Метеопараметр			Длина фазы, сут.
	сумма осадков, мм	сумма температур, °С	ГТК	
Посев — всходы	$y = 0,51x + 38,05$ $R^2 = 0,03$	$y = 0,06x + 35,36$ $R^2 = 0,12$	$y = -3,80x + 56,00$ $R^2 = 0,01$	$y = 0,38x + 43,75$ $R^2 = 0,02$
Всходы — кущение	$y = -0,55x + 79,61$ $R^2 = 0,51$	$y = -0,12x + 103,13$ $R^2 = 0,44$	$y = -19,94x + 74,46$ $R^2 = 0,18$	$y = -2,43x + 108,89$ $R^2 = 0,72$
Кущение — выход в трубку	$y = -0,43x + 70,91$ $R^2 = 0,17$	$y = -0,05x + 67,64$ $R^2 = 0,10$	$y = 1,87x + 48,77$ $R^2 = 0,01$	$y = -0,84x + 66,12$ $R^2 = 0,08$
Выход в трубку — выметывание	$y = -0,04x + 54,3344$ $R^2 = 0,01$	$y = 0,02x + 40,05$ $R^2 = 0,02$	$y = -7,41x + 59,67$ $R^2 = 0,01$	$y = -0,48x + 66,91$ $R^2 = 0,04$
Посев — кущение	$y = -0,29x + 79,35$ $R^2 = 0,20$	$y = -0,06x + 96,21$ $R^2 = 0,11$	$y = -10,07x + 65,44$ $R^2 = 0,06$	$y = -1,28x + 110,16$ $R^2 = 0,30$
Посев — выход в трубку	$y = -0,17x + 78,10$ $R^2 = 0,25$	$y = 0,0001x + 51,75$ $R^2 = 0,01$	$y = -6,83x + 61,10$ $R^2 = 0,06$	$y = -0,97x + 112,45$ $R^2 = 0,33$
Посев — выметывание	$y = -0,08x + 71,34$ $R^2 = 0,10$	$y = -0,05x + 129,5$ $R^2 = 0,12$	$y = -7,46x + 63,45$ $R^2 = 0,04$	$y = -0,92x + 138,84$ $R^2 = 0,45$
Всходы — выход в трубку	$y = -0,19x + 74,83$ $R^2 = 0,28$	$y = -0,05x + 87,66$ $R^2 = 0,28$	$y = -1,80x + 55,27$ $R^2 = 0,01$	$y = -1,08x + 95,74$ $R^2 = 0,44$
Всходы — выметывание	$y = -0,09x + 70,53$ $R^2 = 0,12$	$y = -0,09x + 171,3$ $R^2 = 0,42$	$y = -4,30x + 59,18$ $R^2 = 0,02$	$y = -1,05x + 128,54$ $R^2 = 0,58$

данный межфазный период в Новгородской области изменялась от 980 до 1470 °С и в среднем за 8-летний период наблюдений составила 1280 °С.

Степень увлажнения (ГТК) в периоды роста сорговых культур не оказала существенного влияния на уровень урожайности, кроме межфазного периода «всходы — кущение» со средней тесной связи $r = 0,42$.

Более сильное влияние (по сравнению с метеорологическими параметрами) на урожайность зеленой массы сорговых культур оказала продолжительность межфазных периодов. Наиболее тесная связь была отмечена в фазу «всходы — кущение» ($r = 0,85$). Длительность данной фазы в среднем составляет 23 дня с диапазоном изменения 10–36 суток. Урожайность зеленой массы сорговых культур увеличивается на 2,3 т/га при уменьшении длительности данного межфазного периода на сутки. Тесная связь обнаружена между урожайностью и длительностью периода «всходы — выметывание» ($r = 0,76$), которая указывает на увеличение урожайности зеленой массы на 10 т/га при сокращении данного периода на 10 суток при среднем его значении 70 суток.

Выводы/Conclusions

Исследованиями, проведенными на сорго сарнаком, суданской траве и сорго-суданковом

гибриде в 2016–2023 гг., установлена степень влияния метеопараметров на урожайность и продолжительность межфазных периодов. Установлена сильная зависимость длительности первых этапов развития культур от наличия осадков и суммы активных температур, слабая — длительности периодов от всходов до выметывания и цветения. Установлено, что уровень урожайности больше зависит от длительности межфазных периодов, чем от метеоусловий вегетационного периода.

Длительность межфазных периодов имеет тесную корреляционную связь с суммой температур в межфазные периоды от всходов до выхода в трубку с коэффициентом корреляции $r = 0,93-0,99$ и с суммой осадков в межфазные периоды «всходы — кущение» ($r = 0,72$) и «выход в трубку — выметывание» ($r = 0,77$).

Уровень урожайности зеленой массы сорговых культур находится в тесной отрицательной зависимости от суммы осадков и суммы температур в межфазный период «всходы — кущение» с коэффициентом корреляции $r = 0,66-0,71$ и не зависит от условий увлажнения (ГТК).

На урожайность зеленой массы сорговых культур большое влияние оказала длительность межфазных периодов «всходы — кущение» ($r = 0,85$) и «всходы — выметывание» ($r = 0,76$).

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.

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.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и образования в рамках государственного задания (тема FFZF-2025-0009, рег. № НИОКР 1022041500149-1).

FUNDING

The research was carried out with the support of the Ministry of Science and Education within the framework of a state assignment (topic FFZF-2025-009, registration number research and development work 1022041500149-1).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Положихина М.А. Продовольственная безопасность России в условиях изменения климата. *Экономические и социальные проблемы России*. 2021; (1): 45–65. <https://doi.org/10.31249/espr/2021.01.03>
2. Михайлова Л.Р., Лаврентьев А.Ю., Шерне В.С. Рожьсодержащие комбикорма в рационе бычков на доращивании. *Аграрная наука*. 2022; 360(6): 37–42. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-360-6-37-42>
3. Крупин Е.О., Шакиров Ш.К. Изменения отдельных диагностических маркеров углеводного, липидного и минерального обмена веществ у дойных коров, обусловленные кормлением. *Аграрная наука*. 2023; 367(2): 30–34. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-367-2-30-34>
4. Крупин Е.О., Шакиров Ш.К., Хашимов Р.И. Изменение качественных показателей молока коров в зависимости от скармливания кормовой добавки в различных дозах. *Аграрная наука*. 2024; 385(8): 61–66. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-385-8-61-66>
5. Буюров В.С., Комоликова И.В., Буюров А.В. Развитие животноводства и птицеводства России в условиях импортозамещения. Орел: *Изд-во Орловского ГАУ*. 2024: 204. ISBN 978-5-93382-384-1 <https://www.elibrary.ru/hkdkbg>
6. Бевз С.Я., Тошкина Е.А. Структура посевных площадей в системе ресурсосберегающего сырьевого конвейера. *Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета*. 2022; (4): 122–130. <https://doi.org/10.24412/2078-1318-2022-4-122-130>

REFERENCES

1. Polozhikhina M.A. Food security in Russia in the context of climate change. *Economic and social problems of Russia*. 2021; (1): 45–65 (in Russian). <https://doi.org/10.31249/espr/2021.01.03>
2. Mikhailova L.R., Lavrentiev A.Yu., Sherne V.S. Rye containing compound feeds in the diet of bulls on rearing. *Agrarian science*. 2022; 360(6): 37–42 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-360-6-37-42>
3. Krupin E.O., Shakirov Sh.K. Changes in individual diagnostic markers of carbohydrate, lipid and mineral metabolism in dairy cows due to feeding. *Agrarian science*. 2023; 367(2): 30–34 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-367-2-30-34>
4. Krupin E.O., Shakirov Sh.K., Khashimov R.I. Changes in the quality indicators of cow's milk depending on feeding the feed additive in different doses. *Agrarian science*. 2024; 385(8): 61–66 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-385-8-61-66>
5. Buyarov V.S., Komolikova I.V., Buyarov A.V. Development of animal husbandry and poultry farming in Russia in the context of import substitution. Ore: *Orel State Agrarian University*. 2024: 204 (in Russian). ISBN 978-5-93382-384-1 <https://www.elibrary.ru/hkdkbg>
6. Bevs S.Ya., Toshkina E.A. Structure of sowing area in the system of resource-saving raw material conveyor. *Izvestiya Saint-Petersburg state agrarian university*. 2022; (4): 122–130 (in Russian). <https://doi.org/10.24412/2078-1318-2022-4-122-130>

7. Балун О.В., Яковлева В.А. Влияние способа осушения на водно-воздушный режим мелиорируемых почв. *Современные тенденции в научном и кадровом обеспечении АПК. Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием*. Великий Новгород: Новгородский государственный университет им. Ярослава Мудрого. 2020; 272–277. <https://www.elibrary.ru/bjbut>
8. Пак Л.Н., Иванов Д.А., Рублюк М.В. Многолетние травы семейства бобовых (*Fabaceae* L.) как основная база развития кормопроизводства Нечерноземья (обзор). *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2024; 25(5): 754–769. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.5.754-769>
9. Косолапов В.М., Черныавских В.И. Кормопроизводство: состояние, проблемы и роль ФНЦ «ВИК им. В.П. Вильямса» в их решении. *Достижения науки и техники АПК*. 2022; 36(4): 5–14. https://doi.org/10.53859/02352451_2022_36_4_5
10. Shkodina E.P., Balun O.V., Kapustin S.I., Volodin A.B., Kapustin A.S. Ecological variety trial of annual forage crops in the Novgorod region. *International Journal of Ecosystems and Ecology Science*. 2022; 12(2): 337–344. <https://doi.org/10.31407/ijees12.204>
11. Зенькова Н.Н., Шлома Т.М., Ковалёва И.В. Продуктивность и кормовая ценность сорговых культур в Витебской области. *Наше сельское хозяйство*. 2022; (6): 40–45. <https://www.elibrary.ru/gjsckx>
12. Кибальник О.П., Семин Д.С. Биоэнергетическая оценка исходного материала сахарного сорго при использовании на силос. *Кормопроизводство: вчера, сегодня, завтра. Сборник Всероссийской научно-практической конференции*. Новосибирск: Золотой колос. 2022; 5–8. <https://www.elibrary.ru/zyquqs>
13. Капустин А.С., Капустин С.И., Кухарук М.Ю. Ботанические и биологические особенности суданской травы в засушливых условиях Северного Кавказа. *Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук*. 2023; (5): 117–126. <https://www.elibrary.ru/wuzusg>
14. Ковтунова Н.А., Ковтунов В.В., Шишова Е.А. Влияние метеорологических условий на урожайность и качество зеленой массы суданской травы. *Вестник российской сельскохозяйственной науки*. 2016; (3): 39–40. <https://www.elibrary.ru/wzbnsp>
15. Ковтунова Н.А., Ковтунов В.В., Романыкин А.Е., Ермолина Г.М. Урожайность сорго травянистого в зависимости от метеорологических условий. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2022; 23(3): 334–342. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.3.334-342>
16. Теличко О.Н., Ключкова Н.Л. Реакция травосмеси однолетних трав на метеорологические условия возделывания в степной зоне Приморского края. *Проблемы внедрения результатов инновационных исследований и пути их решения. Сборник статей по итогам Международной научно-практической конференции*. Стерлитамак: Агентство международных исследований. 2023; 303–305. <https://www.elibrary.ru/awhhcw>
17. Бычкова В.В., Кибальник О.П., Сазонова И.А., Каменева О.Б. Влияние метеорологических условий года на биохимический состав зерна сорго. *Аграрная наука*. 2023; (12): 102–107. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-377-12-102-107>
18. Антимонова О.Н., Сыркина Л.Ф. Формирование урожайности сортов проса посевного в зависимости от гидротермических условий. *Вестник КрасГАУ*. 2020; (10): 74–82. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2020-10-74-82>
19. Антимонова О.Н., Антимонов А.К. Влияние гидротермических условий на содержание белка и незаменимых аминокислот в пшене проса посевного в лесостепи Самарской области. *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. 2024; 54(10): 48–57. <https://www.elibrary.ru/aapspm>
20. Кибальник О.П., Ефремова И.Г., Бочкарева Ю.В., Прахов А.В., Семин Д.С. Продуктивность сорговых культур в зависимости от агротехнических приемов возделывания в регионах Российской Федерации (обзор). *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2021; 22(2): 155–166. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.2.155-166>
7. Balun O.V., Yakovleva V.A. Influence of the drainage method on the water-air regime of reclaimed soils. *Current trends in scientific and personnel support of the agroindustrial complex. Proceedings of the All-Russian scientific and practical conference with international participation*. Veliky Novgorod: Yaroslav-the-Wise Novgorod State University. 2020; 272–277 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/bjbut>
8. Pak L.N., Ivanov D.A., Rublyuk M.V. Perennial grasses of the legume family (*Fabaceae* L.) as the main basis for the development of fodder production in the Non-Black Earth Region (review). *Agricultural Science Euro-North-East*. 2024; 25(5): 754–769 (in Russian). <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.5.754-769>
9. Kosolapov V.M., Chernyavskikh V.I. Fodder production: state, problems and role of the Federal Williams Research Centre of Fodder Production and Agroecology in their solving. *Achievements of science and technology in agribusiness*. 2022; 36(4): 5–14 (in Russian). https://doi.org/10.53859/02352451_2022_36_4_5
10. Shkodina E.P., Balun O.V., Kapustin S.I., Volodin A.B., Kapustin A.S. Ecological variety trial of annual forage crops in the Novgorod region. *International Journal of Ecosystems and Ecology Science*. 2022; 12(2): 337–344. <https://doi.org/10.31407/ijees12.204>
11. Zenkova N.N., Shloma T.M., Kovaleva I.V. Productivity and forage value of sorghums cultures in the Vitebsk region. *Nashe sel'skoye khozyaystvo*. 2022; (6): 40–45 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/gjsckx>
12. Kibalnik O.P., Semin D.S. Bioenergetic assessment of the source material of sugar sorghum when used for silage. *Feed production: yesterday, today, tomorrow. Collection of the All-Russian scientific and practical conference*. Novosibirsk: Zolotoy kolos. 2022; 5–8 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/zyquqs>
13. Kapustin A.S., Kapustin S.I., Kukharuk M.Yu. Botanical and biological peculiarities of Sudan grass in dried conditions of the North Caucasus. *Vestnik of the Far East Branch of the Russian Academy of Sciences*. 2023; (5): 117–126 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/wuzusg>
14. Kovtunova N.A., Kovtunov V.V., Shishova E.A. Influence of meteorological conditions on cropping power and quality of green mass in Sudan-grass. *Vestnik of the Russian agricultural science*. 2016; (3): 39–40 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/wzbnsp>
15. Kovtunova N.A., Kovtunov V.V., Romanyukin A.E., Ermolina G.A. Sudan grass productivity depending on meteorological conditions. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2022; 23(3): 334–342 (in Russian). <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.3.334-342>
16. Telichko O.N., Klochkova N.L. Response of seed mixes of annual grasses on the weather conditions in the steppe zone of Primorsky Krai. *Problems of implementing the results of innovative research and ways to solve them. Collection of articles based on the results of the International scientific and practical conference*. Sterlitamak: Agency of international research. 2023; 303–305 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/awhhcw>
17. Bychkova V.V., Kibalnik O.P., Sazonova I.A., Kameneva O.B. Influence of meteorological conditions of the year on the biochemical composition of sorghum grain. *Agrarian science*. 2023; (12): 102–107 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-377-12-102-107>
18. Antimonova O.N., Syrkina L.F. The formation of crop yield of millet varieties depending on hydrothermal conditions. *Bulletin of KrasGAU*. 2020; (10): 74–82 (in Russian). <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2020-10-74-82>
19. Antimonova O.N., Antimonov A.K. Influence of hydrothermal conditions on the content of protein and essential amino acids in common millet in the forest-steppe of the Samara region. *Siberian Herald of Agricultural Science*. 2024; 54(10): 48–57 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/aapspm>
20. Kibalnik O.P., Efremova I.G., Bochkareva Yu.V., Prakhov A.V., Semin D.S. Productivity of sorghum crops depending on agrotechnical methods of cultivation in the regions of the Russian Federation (review). *Agricultural Science Euro-North-East*. 2021; 22(2): 155–166 (in Russian). <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.2.155-166>

ОБ АВТОРАХ

Ольга Васильевна Балун

кандидат технических наук, старший научный сотрудник
bov0001@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8476-0792>

Елена Петровна Шкодина

старший научный сотрудник
kriempereoal@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4057-9910>

Светлана Юрьевна Жукова

старший научный сотрудник
zhukova.s@spcras.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8034-2489>

Валентина Александровна Яковлева

старший научный сотрудник
yakovleva.v@spcras.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0349-8185>

Новгородский научно-исследовательский институт сельского хозяйства — филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Санкт-Петербургский федеральный исследовательский центр Российской академии наук» (Новгородский НИИСХ — филиал СПб ФИЦ РАН), ул. Парковая, 2., дер. Борки, Новгородский р-н, Новгородская обл., 173516, Россия

ABOUT THE AUTHORS

Olga Vasilyevna Balun

Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher
bov0001@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8476-0792>

Elena Petrovna Shkodina

Senior Researcher
kriempereoal@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4057-9910>

Svetlana Yurievna Zhukova

Senior Researcher
zhukova.s@spcras.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8034-2489>

Valentina Alexandrovna Yakovleva

Senior Researcher
yakovleva.v@spcras.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0349-8185>

Novgorod Research Institute of Agriculture — Branch of the Federal State Budgetary Institution of Science “St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences”,

2 Parkovaya Str., Borki village, Novgorod district, Novgorod region, 173516, Russia



АГРОПРОМ УРАЛ

Международная выставка
сельскохозяйственной техники,
материалов и оборудования
для животноводства и растениеводства

29–31 октября 2025

г. Екатеринбург,
МВЦ «Екатеринбург-Экспо»



Забронируйте стенд
www.agroprom-ural.ru

Организаторы



Международная
Выставочная
Компания



ЕКАТЕРИНБУРГ
ЭКСПО
МЕЖДУНАРОДНЫЙ
ВЫСТАВОЧНЫЙ ЦЕНТР

