

КОРМОПРОИЗВОДСТВО: ПОЛЕВОЕ И ЛУГОВОЕ /
FODDER PRODUCTION: FIELD AND MEADOW<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.2.339-346>

УДК 633.28:574.24

**Влияние агрометеорологических факторов на продолжительность вегетации и урожайность зеленой массы сорго-суданкового гибрида Навигатор**

© 2025. О. В. Балун, Е. П. Шкодина✉

ФГБУН «Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

*Сорго-суданковые гибриды (ССГ) – это гибриды сахарного или зернового сорго (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) и суданской травы (*Sorghum xdrummondii* (Steud.) Millsp. & Chase), обладающие более высоким потенциалом по сравнению с родительскими формами. Изучение ССГ Навигатор в качестве новой кормовой культуры для условий Новгородской области проводили в течение восьми лет (2016–2023 гг.) на дерново-подзолистых среднеоккультуренных почвах. Цель исследований – выявить влияние агрометеорологических условий региона на продолжительность межфазных периодов вегетации и урожайность зеленой массы ССГ Навигатор. Для выявления зависимостей использованы методы корреляционного и регрессионного анализов. Согласно значениям гидротермического коэффициента (ГТК), из восьми лет испытаний три года были засушливыми (ГТК – 0,98...1,10), один – оптимально влажным (ГТК – 1,37), четыре – избыточно влажными (ГТК – 1,73...2,65). В результате исследований установлена тесная взаимосвязь между суммой активных температур и длительностью межфазных периодов вегетации: «посев – всходы» ($r = 0,94$); «посев – кущение» ($r = 0,92$); «всходы – кущение» ($r = 0,98$); «всходы – выход в трубку» ($r = 0,96$); «кущение – выход в трубку» ($r = 0,91$). Установлено, что увеличение урожайности тесно связано с количеством выпавших осадков в период «посев – кущение» ($r = 0,88$) и гидротермическим коэффициентом (ГТК) в период «посев – выход в трубку» ($r = 0,70$). Выявленные зависимости подтверждают перспективность продвижения ареала выращивания ССГ Навигатор в качестве кормовой культуры на северо-запад Нечерноземной зоны РФ.*

Ключевые слова: сумма активных температур, количество осадков, метеоусловия, ГТК, межфазный период, кормовые злаковые

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук» (тема FFZF-2025-0009, рег. № НИОКР 1022041500149-1).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Авторы благодарят А. Б. Володина, заведующего лабораторией селекции и первичного семеноводства сорго ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ», за предоставленный семенной материал и плодотворное сотрудничество.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Балун О. В., Шкодина Е. П. Влияние агрометеорологических факторов на продолжительность вегетации и урожайность зеленой массы сорго-суданкового гибрида Навигатор. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2025;26(2):339–346. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.2.339-346>

Поступила: 04.02.2025

Принята к публикации: 11.03.2025

Опубликована онлайн: 29.04.2025

The influence of agrometeorological factors on the duration of vegetation and yield of green mass of sorghum-sudangrass hybrid ‘Navigator’

© 2025. Olga V. Balun, Elena P. Shkodina✉

St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg, Russian Federation

*Sorghum-sudanass hybrids (SSH) are hybrids of sugar or grain sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) and Sudanese grass (*Sorghum xdrummondii* (Steud.) Millsp. & Chase), which have a higher potential compared to the parent forms. The study of SSH ‘Navigator’ as a new fodder crop for the conditions of the Novgorod region was carried out for eight years (2016–2023) on sod-podzolic medium-cultivated soils. The purpose of the research was to identify the influence of the agrometeorological conditions of the region on the duration of interphase vegetation periods and the yield of the green mass of sorghum-sudangrass hybrid ‘Navigator’. Correlation and regression analysis methods were used to identify the dependencies. According to the values of the hydrothermal coefficient (HTC), of the eight years of testing, three years were arid (HTC – 0.98...1.10), one was optimally humid (HTC – 1.37), four were excessively humid (HTC – 1.73...2.65). As a result of the*

research, a close relationship has been established between the sum of active temperatures and the duration of interphase vegetation periods: “sowing – young growth” ($r = 0.94$); “sowing – tillering” ($r = 0.92$); “young growth – tillering” ($r = 0.98$); “young growth – shooting” ($r = 0.96$); “tillering – shooting” ($r = 0.91$). It has been established that the increase in yield is closely related to the amount of precipitation during the “sowing – tillering” period ($r = 0.88$) and with the hydrothermal coefficient (GTC) during the “sowing – shooting” period ($r = 0.70$). The revealed dependencies confirm the prospects of promoting the area of sorghum-sudangrass hybrid ‘Navigator’ cultivation as a fodder crop to the North-West of the Non-Chernozem zones of the Russian Federation.

Keywords: sum of active temperatures, the amount of precipitation, meteorological conditions, hydrothermal coefficient, interphase period, fodder cereals

Acknowledgments: the work was carried out with the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences (theme FFZF-2025-009, reg. No. NIOKR 1022041500149-1).

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

The authors thank A. B. Volodin, Head of the Laboratory of Sorghum Breeding and Primary Seed Production at the North Caucasus Federal National Research University, for the seed material provided and for fruitful cooperation.

Conflict of interest: the authors stated no conflict of interest.

For citations: Balun O. V., Shkodina E. P. The influence of agrometeorological factors on the duration of vegetation and yield of green mass of sorghum-sudangrass hybrid ‘Navigator’. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2025;26(2):339–346. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.2.339-346>

Received: 04.02.2025

Accepted for publication: 11.03.2025

Published online: 29.04.2025

Изменения климата наиболее существенно сказываются на развитии сельского хозяйства и особенно ярко проявляются в условиях Нечерноземья РФ на низкообеспеченных органическим веществом почвах. На основании многочисленных исследований, посвященных этой тематике, учеными предлагаются различные модели и прогнозы последствий климатических изменений [1, 2, 3]. Для Нечерноземной зоны РФ в XXI веке прогнозируется как положительное, так и отрицательное воздействие изменений климата на сельскохозяйственное производство. Так, предполагается рост биоклиматического потенциала региона, выражающийся в ожидаемом увеличении теплообеспеченности сельхозкультур и запасов органики в гумусовом горизонте [1, 2].

Укрепление кормовой базы животноводства является одной из главных задач обеспечения продовольственной безопасности государства уже на протяжении многих лет. Основным источником кормов являются многолетние травы [4, 5]. Интенсификация и концентрация в животноводстве, изменения климата в сторону потепления и участвовавшие в связи с этим неблагоприятные климатические явления (засуха и аномальная жара, ливни и смерчи) в период заготовки кормов приводят к их недостатку. Дефицит кормов производители животноводческой продукции восполняют, как правило, за счет внешних источников, чаще всего концентратов, что ведет к увеличению себестоимости кормов на 55–67 % [6]. На повестке дня по-прежнему остается получение дешевых и качественных кормов.

Отделом мелиорации Новгородского НИИСХ проведен анализ метеорологических

данных за 70-летний период (1950–2018 гг.), результаты которого свидетельствуют о потеплении климата Новгородской области: сумма активных температур вегетационного периода увеличилась более чем на 200 °С, среднегодовая температура – почти на 3 °С. Также отмечено увеличение частоты возникновения периодов с недостатком осадков в течение вегетации при росте общего количества осадков в теплый период года [7].

Введение в производство новых культур с заданными характеристиками является одним из наиболее дешевых способов повышения продуктивности кормового гектара [8]. Поэтому в 2016 г. учеными Новгородского НИИСХ началось агроэкологическое испытание нетрадиционных для региона кормовых культур, обеспечивающих в засушливых условиях высокий уровень урожайности кормовой массы. Это культуры триб просовые и сорговые: пайза, чумиза, могар, просо посевное и африканское, суданская трава, сорго сахарное, сорго-суданковые гибриды [9]. За годы исследований мы выяснили, что однолетние теплолюбивые интродуценты являются отличным источником дополнительных кормов в позднелетний и осенний периоды, когда особо остро ощущается их недостаток. Именно они во второй половине лета и до заморозков способны обеспечить потребности животноводства свежей зеленой массой.

Сорго-суданковые гибриды (ССГ) создаются селекционерами для получения продукции с улучшенными характеристиками по уровню урожайности и качеству. Исходными родительскими формами являются разновидности

ности сахарного и зернового сорго (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) и суданская трава (*Sorghum xdrummondii* (Steud.) Millsp. & Chase). Высокая вариабельность генетического материала позволяет получать гетерозисные гибриды, устойчивые к неблагоприятным условиям возделывания с повышенной урожайностью зеленой массы и сена по сравнению с родительскими формами [10, 11]. В ареале возделывания (степная зона) сорго-суданковые гибриды, как и суданскую траву, выращивают в основном на зеленый корм и сено, причем ССГ по продуктивности превосходят сорта суданской травы, формируя 50–65 т/га зеленой массы, 9–13 т/га сухого вещества¹. Исследования показали, что ССГ в условиях Новгородской области стабильно дают высокие урожаи зеленой массы, однако вегетационный период для них остается, как правило, незавершенным [9, 12]. По состоянию на январь 2025 г., в Государственном реестре селекционных достижений² зарегистрировано 33 сорго-суданковых гибрида, допущенных к использованию на территории РФ, из них нет ни одного, рекомендованного для Северо-Западного региона (2-й регион допуска).

До недавнего времени в Северо-Западном регионе Нечерноземной зоны РФ не было опыта выращивания ССГ и данных о природных факторах, влияющих на их рост и развитие.

Цель исследования – выявить влияние агрометеорологических факторов на продолжительность вегетации и урожайность зеленой массы сорго-суданкового гибрида Навигатор в природно-климатических условиях Новгородской области.

Новизна исследований – впервые в Северо-Западном регионе Нечерноземной зоны РФ проведен анализ многолетних данных по возделыванию сорго-суданкового гибрида Навигатор – новой для региона кормовой культуры, установлены зависимости продолжительности межфазных периодов вегетации и уровня урожайности от агрометеорологических условий.

Материал и методы. Исследования проводили на опытном поле Новгородского НИИСХ – филиала Санкт-Петербургского ФИЦ РАН в 2016–2023 гг. Почвы опытного участка легкосуглинистые дерново-подзолистые, среднеокультуренные. Пахотный слой почвы (0–20 см) характеризуется повышенным и высоким содержанием обменных форм калия (101–229 мг/кг), повышенным и очень высоким – подвижных форм фосфора (120–737 мг/кг) (по методу Кирсанова)³, слабокислой и нейтральной реакцией среды (рН_{KCl} 5,1–6,6)⁴, низким содержанием гумуса – 2,81–3,57 % (по методу Тюрина)⁵.

Объект исследования – ССГ Навигатор, включен в Госреестр РФ в 2007 г. по Северо-Кавказскому (6) и Дальневосточному (12) регионам. Среднеспелый, обладает слабой кустистостью, куст прямостоячий, облиственность до 35 %. Полегания и поражения болезнями не выявлено. Средняя урожайность в сухом веществе по Северо-Кавказскому региону составляет 11,5 т/га. Оригинатор – ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ». Авторы: Э. К. Вахопский, А. Б. Володин⁶.

Предшественники ССГ Навигатор: в 2016 г., 2021–2023 гг. – овес; 2017, 2018, 2020 гг. – картофель; 2019 г. – занятый пар по пласту многолетних трав.

Посев проводили рядовым способом с междурядьем 15 см вручную во второй половине мая после окончания весенних заморозков и наступления оптимальных температур. Норма высева семян 20 кг/га, площадь делянок 10 м², повторность четырехкратная, размещение систематическое. Вносили минеральные удобрения в дозе N₆₀P₆₀K₆₀. Измерения, учеты и фенологические наблюдения проводили в соответствии с Методическими указаниями ВНИИ кормов им. В. Р. Вильямса⁷. Урожайность зеленой массы определяли в фазу «выход в трубку».

¹Капустин С. И., Володин А. Б. Возделывание сорго и однолетних кормовых культур в засушливых условиях юга России: учебно-методическое пособие. Ставрополь, 2022. 103 с.

²ФГБУ «Госсорткомиссия». Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Том 1. Сорта растений. [Электронный ресурс]. URL: <https://reestr.gossortrf.ru/> (дата обращения: 22.01.2025).

³ГОСТ Р 54650-2011. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО. М.: Стандартиформ, 2019. 7 с. URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/52221/>

⁴ГОСТ 26483-85. Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение ее pH по методу ЦИНАО.

М.: Государственный комитет СССР по стандартам. 1985. 7 с. URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/29278>

⁵ГОСТ 26213-21. Почвы. Методы определения органического вещества. М.: Российский институт стандартизации, 2021. 7 с. URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/75803/>

⁶URL: <https://reestr.gossortrf.ru/>

⁷Методические указания по проведению полевых опытов с кормовыми культурами. М.: ВНИИК, 1987. 197 с.

Уровень влагообеспеченности определяли по гидротермическому коэффициенту (ГТК), который рассчитывали по методу Селянинова⁸. Влияние метеоусловий на продолжительность фаз роста и развития, уровень урожайности сорго-суданкового гибрида Навигатор устанавливали

методами корреляционного и регрессионного анализа⁹ с помощью программных продуктов Microsoft Excel.

Вегетационные периоды в годы исследований различались по гидротермическому режиму (табл. 1).

*Таблица 1 – Метеорологические условия периода наблюдений (по данным метеостанции Великий Новгород¹⁰) /
Table 1 – Meteorological conditions of the observation period (according to the Veliky Novgorod weather station¹⁰)*

Период / Period	Год / Year			Вегетационный период / The growing season	
	сумма осадков, мм / precipitation amount, mm	среднегодовая температура воздуха, °C / average annual air temperature, °C	ГТК / hydro- thermal coefficient	сумма осадков, мм / precipitation amount, mm	сумма температур воздуха >10 °C / the sum of air temperatures >10 °C
2016	416	6,4	1,73	381	2051
2017	885	5,8	2,65	448	1713
2018	543	6,1	1,37	236	2102
2019	821	6,8	1,76	328	1910
2020	587	7,7	1,10	229	1909
2021	817	5,8	1,93	404	2159
2022	525	6,2	0,98	163	2041
2023	701	5,7	0,99	215	1989
Среднее / Average	662	6,3	1,56	301	1984

За годы наблюдений сумма активных температур вегетационного периода варьировала от 1713 °C (2017 г.) до 2159 °C (2021 г.), количество осадков изменялось от 163 мм (2022 г.) до 448 мм (2017 г.). Из восьми лет наблюдений три года были засушливыми (2020, 2022 и 2023), один год – оптимально влажным (2018) и четыре года – избыточно влажными (2016, 2017, 2019, 2021). Неблагоприятные погодные условия 2017 года признаны экстремальными, в регионе была объявлена чрезвычайная ситуация.

Результаты и их обсуждение. Ранее нами установлено, что в условиях Нечерноземья сохраняются основные закономерности роста и развития ССГ Навигатор, характерные для ареала возделывания. На начальном этапе идет медленное развитие растений, с фазы «выход в трубку» начинается интенсивный рост и формирование зеленой массы [12].

Всходы сорго-суданкового гибрида Навигатор появлялись, как правило, в течение двух-трех недель, в 2018 г. период до всходов длился больше месяца (табл. 2). Продолжительность периода от всходов до выхода в трубку составляла

в разные годы от 19 до 57 дней, самая короткая – в 2018 г., когда затянулся период от посева до всходов.

Период от выхода в трубку до начала колошения достаточно длительный, его продолжительность составила за годы исследований от одного до полутора месяцев. Именно в этот период наблюдается интенсификация роста, формируется основная вегетативная масса, в эти сроки растения наиболее питательны и пригодны для заготовки кормов. Урожайность зеленой массы в начале и конце периода может отличаться в разы. В таблице 2 отражена урожайность зеленой массы к концу фазы «выход в трубку». В начале фазы урожайность составила от 7,9 т/га в 2017 г. до 25,4 т/га в 2021 г. В среднем за годы исследований содержание сухого вещества в растениях составило 19,4 %, урожайность зеленой массы в переводе на сухое вещество изменялась от 3,9 до 12,6 т/га.

На длительность межфазных периодов сорго-суданкового гибрида Навигатор и урожайность зеленой массы большое влияние оказывали метеорологические условия вегетационного периода. Многолетние исследования

⁸Агрометеорология: учебник. СПб.: ООО «КВАДРО», 2012. 368 с.

⁹Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.

¹⁰Архив_погоды_в_Великом_Новгороде. [Электронный ресурс]. URL: <http://rp5.ru/> (дата обращения: 20.12.2024).

ученых Брянской ГСХА с интродуцированными сорговыми культурами показали, что в условиях Центрального района Нечерноземной зоны наблюдается отрицательная связь между продолжительностью вегетации суданской травы и средней температурой воздуха [13]. В наших исследованиях, проведенных в Новгородской

области, на длительность межфазных периодов «посев – кущение» и «выметывание – цветение» суданской травы линии Землячка существенное влияние оказывала сумма температур $>10^{\circ}\text{C}$ ($r = 0,84 \dots 0,99$), «кущение – выметывание» – количество осадков ($r = 0,63 \dots 0,93$) [14].

Таблица 2 – Наступление фаз роста и развития сорго-суданкового гибрида Навигатор и урожайность зеленой массы (2016–2023 гг.) /

Table 2 – The onset of growth and development phases of sorghum-sudangrass hybrid ‘Navigator’ and the yield of green mass (2016–2023)

Год / Year	Дата посева / Date of sowing	Дата наступления фазы / Date of onset of phase					Дата осеннего заморозка / Date of autumn frost	Урожайность зеленой массы, т/га / Green mass yield, t/ha
		всходы / young growth	кущение / tillering	выход в трубку / shooting	выметывание / heading of panicles	цветение / flowering		
2016	30.05	15.06	01.07	11.07	24.08	20.09	12.10	87,2
2017	22.05	07.06	04.07	28.07	21.09	-	21.10	23,8
2018	22.05	05.07	18.07	24.07	28.08	07.09	25.09	75,7
2019	15.05	06.06	24.06	05.07	19.08	11.09	18.09	55,7
2020	25.05	08.06	30.06	27.07	27.08	15.10	21.10	69,9
2021	25.05	09.06	07.07	15.07	12.08	26.08	17.09	50,8
2022	18.05	06.06	05.07	25.07	23.08	29.08	05.09	20,2
2023	23.05	16.06	24.07	08.08	21.08	28.08	10.10	35,4

Математический анализ данных таблиц 1, 2 позволяет выявить зависимости развития ССГ Навигатор от погодных условий вегетационных периодов (табл. 3).

На продолжительность межфазных периодов у ССГ Навигатор наиболее сильное влияние оказала сумма активных температур в начальные периоды: «посев – всходы», «всходы – кущение», «кущение – выход в трубку», коэффициент корреляции составил 0,91–0,98. С возрастанием суммы температур $>10^{\circ}\text{C}$ до $17\text{--}20^{\circ}\text{C}$ увеличивалась на сутки длина этих периодов.

Существенную положительную зависимость длины межфазного периода от количества выпавших осадков наблюдали в периоды «выход в трубку – выметывание» ($r = 0,77$) и «кущение – выход в трубку» ($r = 0,64$). Также отмечена тесная связь степени увлажненности, характеризуемой гидротермическим коэффициентом (ГТК), с продолжительностью периода «посев – кущение», которая в годы исследования варьировала от 30 до 62 суток, ГТК периода в среднем составил 1,2 единицы. При увеличении ГТК на 0,1 единицу длина межфазного периода уменьшается на 1,8 суток.

Изучением зависимости показателей продуктивности сорговых культур от метеорологических факторов занимались ученые ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»,

которыми в условиях Ростовской области установлены корреляционные зависимости урожайности зеленой массы суданской травы от количества осадков ($r = 0,79$) и средней температуры воздуха за вегетацию ($r = -0,59$) [15]. В Новгородской области урожайность суданской травы линии Землячка зависела от суммы активных температур ($r = 0,80$), а также продолжительности межфазного периода «всходы – выход в трубку» ($r = 0,93$) [14].

Основной задачей исследований в природно-климатических условиях Новгородской области с низкой теплообеспеченностью вегетационного периода было получение зеленой массы сорго-суданкового гибрида Навигатор. Учет урожая проводили в фазу «выход в трубку». Длительность периода от посева до укоса составила 40–77 суток, от всходов до укоса – 19–57 суток в зависимости от погодных условий.

Наиболее тесная связь урожайности зеленой массы ССГ Навигатор получена с суммой осадков за период «посев – кущение» и описывается параболической зависимостью, которая показывает, что максимальную урожайность наблюдали при выпадении 95 мм осадков, увеличение или уменьшение этого количества приводило к снижению урожайности зеленой массы (табл. 4).

Таблица 3 – Зависимость продолжительности межфазных периодов сорго-суданкового гибрида Навигатор от метеоусловий, сут (2016–2023 гг.) /
Table 3 – Dependence of the interphase periods duration of the sorghum-sudangrass hybrid 'Navigator' on the weather conditions, days (2016–2023)

Межфазный период / The interphase period	Метеопараметр / Meteorological parameter		
	сумма осадков, мм / precipitation amount, mm	сумма температур воздуха > 10 °C / the sum of air temperatures > 10 °C	ГТК / НТС
Посев – всходы / Sowing – young growth	$y = 0,23x + 14,55$; $R^2 = 0,16$	$y = 0,06x + 3,37$; $R^2 = 0,89$	$y = -4,70x + 28,17$; $R^2 = 0,11$
Всходы – кушение / Young growth – tillering	$y = -0,02x + 23,82$; $R^2 = 0,01$	$y = 0,06x - 2,94$; $R^2 = 0,97$	$y = -11,59x + 36,89$; $R^2 = 0,45$
Кушение – выход в трубку / Tillering – shooting	$y = 0,09x + 9,54$; $R^2 = 0,41$	$y = 0,05x + 1,93$; $R^2 = 0,83$	$y = 1,21x + 11,60$; $R^2 = 0,06$
Выход в трубку – выметывание / Shooting – heading of panicles	$y = 0,22x + 7,32$; $R^2 = 0,60$	$y = 0,03x + 7,53$; $R^2 = 0,15$	$y = 15,67x + 4,83$; $R^2 = 0,46$
Выметывание – цветение / Heading of panicles – flowering	$y = 0,002x + 20,45$; $R^2 = 0,0002$	$y = 0,02x + 14,22$; $R^2 = 0,08$	$y = -1,16x + 22,84$; $R^2 = 0,06$
Посев – кушение / Sowing – tillering	$y = -0,33x + 72,60$; $R^2 = 0,38$	$y = 0,06x - 1,40$; $R^2 = 0,85$	$y = -17,55x + 66,60$; $R^2 = 0,65$
Посев – выход в трубку / Sowing – Shooting	$y = -0,03x + 63,69$; $R^2 = 0,03$	$y = 0,06x + 5,03$; $R^2 = 0,75$	$y = -6,37x + 69,36$; $R^2 = 0,20$
Посев – выметывание / Sowing – Heading of panicles	$y = 0,03x + 87,35$; $R^2 = 0,01$	$y = 0,06x - 4,36$; $R^2 = 0,06$	$y = 3,58x + 89,00$; $R^2 = 0,01$
Посев – цветение / Sowing – flowering	$y = -0,04x + 113,14$; $R^2 = 0,04$	$y = 0,08x - 49,33$; $R^2 = 0,17$	$y = -8,89x + 116,29$; $R^2 = 0,06$
Всходы – выход в трубку / Young growth – shooting	$y = 0,04x + 33,51$; $R^2 = 0,05$	$y = 0,05x + 5,91$; $R^2 = 0,93$	$y = -3,73x + 43,69$; $R^2 = 0,10$
Всходы – выметывание / Young growth – heading of panicles	$y = 0,07x + 57,33$; $R^2 = 0,07$	$y = 0,1x - 50,84$; $R^2 = 0,30$	$y = 6,62x + 61,98$; $R^2 = 0,02$
Всходы – цветение / Young growth – flowering	$y = -0,02x + 84,95$; $R^2 = 0,01$	$y = 0,04x + 17,92$; $R^2 = 0,29$	$y = -7,76x + 92,03$; $R^2 = 0,07$

Таблица 4 – Зависимость урожайности сорго-суданкового гибрида Навигатор от метеопараметров и продолжительности межфазных периодов, т/га (2016–2023 гг.) /
Table 4 – Dependence of the yield of the sorghum-sudangrass hybrid 'Navigator' on meteorological parameters and the duration of the interphase periods, t/ha (2016–2023)

Межфазный период / The interphase period	Метеопараметр / Meteorological parameter			Продолжительность периода, сут / Duration of the period, days
	сумма осадков, мм / precipitation amount, mm	сумма температур воздуха > 10 °C / the sum of air temperatures > 10 °C	ГТК / НТС	
Посев – всходы / Sowing – young growth	$y = -0,04x^2 + 2,82x + 6,87$ $R^2 = 0,28$	$y = 0,05x + 34,32$ $R^2 = 0,10$	$y = -27,78x^2 + 79,49x + 8,65$ $R^2 = 0,46$	$y = 0,47x + 39,92$ $R^2 = 0,04$
Всходы – кушение / Young growth – tillering	$y = -0,02x^2 + 1,46x + 25,13$ $R^2 = 0,08$	$y = -0,11x + 101,91$ $R^2 = 0,48$	$y = -76,68x^2 + 231,51x - 97,13$ $R^2 = 0,41$	$y = -1,88x + 93,52$ $R^2 = 0,44$
Кушение – выход в трубку / Tillering – shooting	$y = -0,003x^2 + 0,48x + 41,86$ $R^2 = 0,21$	$y = -0,04x + 60,92$ $R^2 = 0,04$	$y = -1,07x^2 + 6,95x + 42,02$ $R^2 = 0,02$	$y = -0,14x + 52,45$ $R^2 = 0,002$
Посев – кушение / Sowing – tillering	$y = -0,04x^2 + 6,89x - 244,76$ $R^2 = 0,77$	$y = -0,05x + 88,3$ $R^2 = 0,12$	$y = -69,35x^2 + 197,28x - 67,28$ $R^2 = 0,59$	$y = -0,73x + 83,49$ $R^2 = 0,12$
Посев – выход в трубку / Sowing – shooting	$y = -0,003x^2 + 1,28x - 46,89$ $R^2 = 0,41$	$y = -0,07x + 115,79$ $R^2 = 0,23$	$y = -34,03x^2 + 133,24x - 51$ $R^2 = 0,49$	$y = -0,81x + 98,79$ $R^2 = 0,14$
Всходы – выход в трубку / Young growth – shooting	$y = -0,002x^2 + 0,58x + 22,52$ $R^2 = 0,19$	$y = -0,07x + 99,34$ $R^2 = 0,38$	$y = -26,03x^2 + 110,62x - 40,99$ $R^2 = 0,38$	$y = -1,44x + 104,3$ $R^2 = 0,35$

Вышеотмеченная тенденция сохранялась и для периода «посев – выход в трубку»: при выпадении за указанный период 200 мм осадков урожайность зеленой массы достигала 89 т/га, отклонение суммы осадков от этого значения в сторону увеличения или уменьшения приводило к снижению урожайности зеленой массы. При математической обработке данных получена тесная зависимость урожайности с ГТК в период «посев – кушение» ($r = 0,77$) и «посев – выход в трубку» ($r = 0,70$).

Увеличение на одни сутки продолжительности межфазных периодов «всходы – кушение» и «всходы – выход в трубку» снижало урожайность зеленой массы ССГ Навигатор на 1,9 и 1,4 т/га соответственно.

Заключение. Проведенные исследования по оценке влияния метеорологических факторов на рост, развитие и урожайность зеленой массы сорго-суданкового гибрида Навигатор

в условиях Новгородской области (2016–2023 гг.) позволили сделать следующие выводы:

- на продолжительность межфазных периодов ССГ Навигатор наиболее существенное влияние оказала сумма активных температур в периоды: «посев – всходы», «всходы – кушение», «кушение – выход в трубку» ($r = 0,91–0,98$);

- формирование урожайности зеленой массы ССГ Навигатор имело тесную параболическую зависимость от суммы осадков ($r = 0,88$) и гидротермического коэффициента ($r = 0,77$) в период «посев – кушение», а также от ГТК в период «посев – выход в трубку» ($r = 0,70$);

- сорго-суданковый гибрид Навигатор на Северо-Западе Нечерноземья РФ является перспективной кормовой культурой с урожайностью зеленой массы 52,3 т/га и содержанием сухого вещества 19,4 % в среднем за годы исследований.

Список литературы

1. Рекомендации по развитию агропромышленного комплекса и сельских территорий Нечерноземной зоны Российской Федерации до 2030 года. Версия 2.0. Под ред. С. Г. Митина, А. Л. Иванова. М.: ООО «Издательство МБА», 2021. 400 с.
2. Положихина М. А. Продовольственная безопасность России в условиях изменения климата. Экономические и социальные проблемы России. 2021;(1):45–65. DOI: <https://doi.org/10.31249/espr/2021.01.03> EDN: VLKKZN
3. Zandalinas S. I., Fritsch F. B., Mittler R. Global Warming, Climate Change, and Environmental Pollution: Recipe for a Multifactorial Stress Combination Disaster. Trends in Plant Science. 2021;26(6):588–599. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2021.02.011>
4. Косолапов В. М., Чернявских В. И. Кормопроизводство: состояние, проблемы и роль ФНЦ «ВИК им. В. Р. Вильямса» в их решении. Достижения науки и техники АПК. 2022;36(4):5–14. DOI: https://doi.org/10.53859/02352451_2022_36_4_5 EDN: XOTNHE
5. Коновалова Н. Ю., Коновалова С. С. Влияние способа посева и интенсивности использования на ботанический состав, продуктивность и питательность бобово-злаковых агрофитоценозов. АгроЗооТехника. 2021;4(3):1. DOI: <https://doi.org/10.15838/alt.2021.4.3.1> EDN: XSKBKP
6. Буюров В. С., Комоликова И. В., Буюров А. В. Развитие животноводства и птицеводства России в условиях импортозамещения. Орёл: ФГБОУ ВО Орловский ГАУ, 2024. 205 с. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=65204775> EDN: HKDKBG
7. Балун О. В., Яковлева В. А. Влияние способа осушения на водно-воздушный режим мелиорируемых почв. Современные тенденции в научном и кадровом обеспечении АПК: мат.-лы Всеросс. научн.-практ. конф. с международ. участием. Великий Новгород: Новгородский ГУ имени Ярослава Мудрого, 2020. С. 272–277. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42923285> EDN: BJVBUT
8. Косолапов В. М., Чернявских В. И., Костенко С. И. Новые сорта кормовых культур и технологии для сельского хозяйства России. Кормопроизводство. 2021;(6):22–26. DOI: <https://doi.org/10.25685/krm.2021.89.77.001> EDN: QRYDNS
9. 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. DOI: <https://doi.org/10.31407/ijees12.204>
10. Ковтунова Н. А. Эффект гетерозиса у гибридов сорго на основе цитоплазматической мужской стерильности. Достижения науки и техники АПК. 2023;37(7):39–44. DOI: https://doi.org/10.53859/02352451_2023_37_7_39 EDN: PKWSEL
11. Капустин С. И., Володин А. Б., Капустин А. С., Кухарук М. Ю. Сорго-суданковые гибриды для засушливых условий Центрального Предкавказья. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2021;(4(90)):38–43. DOI: <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2021-90-4-38-43> EDN: WISJLY
12. Шкодина Е. П. Сорго-суданковый гибрид: новая кормовая культура для Нечерноземной зоны. Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2024;1(65):62–67. DOI: <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2024-1-62-67> EDN: YPGZZU
13. Дьяченко В. В. Суданская трава в полеводческом кормопроизводстве Нечерноземья. Брянск: Брянский ГАУ, 2009. 224 с. Режим доступа: <https://elibrary.ru/tvlbph> EDN: TVLBPH
14. Балун О. В., Шкодина Е. П. Влияние агрометеорологических факторов на продолжительность вегетации и урожайность зеленой массы суданской травы линия Землячка. Аграрная наука. 2024;(5):85–90. DOI: <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-382-5-85-90> EDN: AODMWK

15. Ковтунова Н. А., Ковтунов В. В., Романюкин А. Е., Ермолина Г. М. Урожайность сорго травянистого в зависимости от метеорологических условий. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2022;23(3):334–342. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.3.334-342> EDN: IZMXUW

References

1. Recommendations on the development of the agro-industrial complex and rural areas of the Non-Chernozem zone of the Russian Federation until 2030. Version 2.0. Edited by S. G. Mitin, A. L. Ivanov. Moscow: *ООО «Izdatel'stvo MBA»*, 2021. 400 p.
2. Polozhikhina M. A. Food security in Russia in the context of climate change. *Ekonomicheskie i sotsial'nye problemy Rossii*. 2021;(1):45–65. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31249/espr/2021.01.03>
3. Zandalinas S. I., Fritsch F. B., Mittler R. Global Warming, Climate Change, and Environmental Pollution: Recipe for a Multifactorial Stress Combination Disaster. *Trends in Plant Science*. 2021;26(6):588–599. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2021.02.011>
4. 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. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AICis*. 2022;36(4):5–14. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.53859/02352451_2022_36_4_5
5. Konovalova N. Yu., Konovalova S. S. The influence of the seeding method and intensity of use on botanical composition, productivity and nutritional value of legume-grass agrophytocenoses. *AgroZooTekhnika = Agricultural and Livestock Technology*. 2021;4(3):1. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15838/alt.2021.4.3.1>
6. Buyarov V. S., Komolikhina I. V., Buyarov A. V. Development of Russian livestock and poultry farming in the context of import substitution. Orel: *FGBOU VO Orlovskiy GAU*, 2024. 205 p. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=65204775>
7. Balun O. V., Yakovleva V. A. The influence of the drainage method on the water-air regime of reclaimed soils. Modern trends in scientific and personnel support of the agro-industrial complex: Proceedings of the All-Russian scientific-practical conference with international participation. Velikiy Novgorod: *Novgorodskiy GU imeni Yaroslava Mudrogo*, 2020. pp. 272–277. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42923285>
8. Kosolapov V. M., Chernyavskikh V. I., Kostenko S. I. New varieties of forage crops and technologies for Russian agriculture. *Kormoproizvodstvo = Forage Production*. 2021;(6):22–26. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25685/krm.2021.89.77.001>
9. 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. DOI: <https://doi.org/10.31407/ijeec.12.204>
10. Kovtunova N. A. The effect of heterosis in sorghum hybrids based on cytoplasmic male sterility. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AICis*. 2023;37(7):39–44. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.53859/02352451_2023_37_7_39
11. Kapustin S. I., Volodin A. B., Kapustin A. S., Kukharuk M. Yu. Sorghum-sudanese hybrids for arid conditions of the Central Ciscaucasia. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2021;(4(90)):38–43. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2021-90-4-38-43>
12. Shkodina E. P. Sorghum-sudanese hybrid: a new feed crop for the Non-chernozem zone. *Vestnik Ulyanovskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii = Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy*. 2024;1(65):62–67. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2024-1-62-67>
13. Dyachenko V. V. Sudanese grass in field forage production in the Non-Chernozem region. Bryansk: Bryanskiiy GAU, 2009. 224 p. URL: <https://elibrary.ru/tvlbph>
14. Balun O. V., Shkodina E. P. The influence of agrometeorological factors on the duration of vegetation and the yield of the green mass of the Sudanese grass Zemlyachka line. *Agrarnaya nauka = Agrarian science*. 2024;(5):85–90. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-382-5-85-90>
15. Kovtunova N. A., Kovtunov V. V., Romanyukin A. E., Ermolina G. A. Sudan grass productivity depending on meteorological conditions. *Agrarnaya nauka Euro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2022;23(3):334–342. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.3.334-342>

Сведения об авторах

Балун Ольга Васильевна, кандидат техн. наук, доцент, старший научный сотрудник, ФГБУН «Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук», 14-я линия В.О., д. 39, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, 199178, e-mail: info@spcras.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8476-0792>

✉ **Шкодина Елена Петровна**, старший научный сотрудник, ФГБУН «Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук», 14-я линия В.О., д. 39, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, 199178, e-mail: info@spcras.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4057-9910>, e-mail: kriempereoal@mail.ru

Information about the author

Olga V. Balun, PhD in Engineering, associate professor, senior researcher, St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, 14th line V.O., 39, St. Petersburg, Russian Federation, 199178, e-mail: info@spcras.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8476-0792>

✉ **Elena P. Shkodina**, senior researcher, St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, 14th line V.O., 39, St. Petersburg, Russian Federation, 199178, e-mail: info@spcras.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4057-9910>, e-mail: kriempereoal@mail.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author