Научная статья
УДК 632.93:632.51:633.1:629.735.45
doi:10.35694/YARCX.2026.74.2.003

ЭФФЕКТИВНОСТЬ УПРАВЛЕНИЯ СОРНЫМ КОМПОНЕНТОМ АГРОФИТОЦЕНОЗОВ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР С ПОМОЩЬЮ БПЛА

Александр Михайлович Труфанов[1], Сергей Владимирович Щукин[2], Виктория Владимировна Седова[3], Иван Анатольевич Волков[4]
[1, 2, 3, 4]Ярославский государственный аграрный университет, Ярославль, Россия
[1]a.trufanov@yacx.ru, ORCID 0000-0002-8815-2441
[2]s.shhukin@yarcx.ru ,ORCID 0000-0001-9718-9273
[3]director@crgt-76.ru
[4]semena.volkov@yandex.ru

Реферат. В настоящее время актуально изучение влияния различных методов управления сорными растениями, в том числе ресурсосберегающих и технически новых, таких как использование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Статья включает результаты исследований влияния способов применения гербицидов (традиционное наземное опрыскивание, малообъёмное опрыскивание с помощью БПЛА – агродрона DJI Agras T-10 с разной нормой расхода рабочего раствора – 8 и 16 л/га) на фоне различных по интенсивности систем обработки почвы и удобрений на засорённость посевов и урожайность, проведённых в 2023 и 2025 годах в многолетнем полевом опыте Ярославского ГАУ в посевах овса и озимой ржи на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве. Результаты исследований свидетельствуют, что для существенного снижения численности сорных растений в посевах зерновых культур (до 6,0–13,5 шт./м^2) целесообразно использовать вариант применения БПЛА с нормой внесения рабочего раствора гербицида 16 л/га, независимо от применяемой системы обработки почвы, а наиболее эффективным в снижении сухой массы сорных растений в посеве овса является вариант применения гербицида с помощью БПЛА с нормой раствора 8 л/га (до 3,0–5,3 г/м^2), особенно при поверхностно-отвальной обработке, в посеве озимой ржи – наземного опрыскивания (до 4,2–21,6 г/м^2). Для получения максимальной урожайности зерна овса (58,5 ц/га) и озимой ржи (32,8 ц/га) целесообразно использовать вариант применения гербицида беспилотным летательным аппаратом в норме 16 л/га рабочего раствора на фоне внесения NPK как при отвальной, так и поверхностно-отвальной обработке.

Ключевые слова: *опрыскивание БПЛА, гербициды, системы обработки почвы, системы удобрения, урожайность зерновых культур, овёс, озимая рожь, засорённость посевов, численность и сухая масса сорных растений*

EFFECTIVENESS OF WEED COMPONENT MANAGEMENT IN GRAIN CROPS AGROPHYTOCENOSES USING UAVS

Aleksandr M. Trufanov[1], Sergey V. Shchukin[2], Victoriya V. Sedova[3], Ivan A. Volkov[4]
[1 ,2, 3, 4]Yaroslavl State Agrarian University, Yaroslavl, Russia
[1]a.trufanov@yacx.ru, ORCID 0000-0002-8815-2441
[2]s.shhukin@yarcx.ru ,ORCID 0000-0001-9718-9273
[3]director@crgt-76.ru
[4]semena.volkov@yandex.ru

Abstract. Currently, it is relevant to study the impact of various methods of weed management, including resource-saving and technically new ones, such as the use of unmanned aerial vehicles (UAVs). The article includes the results of studies on the impact of herbicide application methods (traditional ground spraying, low-volume spraying using a UAV – DJI Agras T-10 agrodrone with different consumption rates of spray solution – 8 and 16 l/ha) against the background of different intensity systems of tillage and fertilizers on crop weed infestation and yields, carried out in 2023 and 2025 in the long-term field experiment at the Yaroslavl SAU in oats and winter rye crops on soddy-podzolic medium-loamy soil. The research results show that in order to significantly reduce the number of weeds in grain crops (up to 6.0–13.5 pcs ./m^2), it is advisable to use the option of using a UAV with a rate of application of a herbicide spray material of 16 l/ha, regardless of the applied tillage system, and the most effective in reducing the dry weight of weeds in oats sowing is the option of using herbicide using a UAV with a solution rate of 8 l/ha (up to 3.0–5.3 g/m^2), especially during surface-moldboard tillage, in the sowing of winter rye – ground spraying (up to 4.2–21.6 g/m^2). To obtain the maximum yield of oats grain (58.5 c/ha) and winter rye (32.8 c/ha), it is advisable to use the option of applying the herbicide by an unmanned aerial vehicle at a rate of 16 l/ha of spray material against the background of NPK application both for moldboard and surface-moldboard tillage.

Keywords: *UAV spraying, herbicides, tillage systems, fertilization systems, grain crop yields, oats, winter rye, crop infestation, number and dry weight of weeds*

Введение. Определяющими факторами роста, развития растений и получения запланированной урожайности являются особенности технологий возделывания, включающие обоснованные ресурсосберегающие системы обработки почвы, удобрений и защиты растений [1].

Засорённость посевов, особенно при ресурсосберегающей направленности земледелия, зачастую выступает основным стресс-фактором для культурных растений [2]. По оценкам, около трети потерь урожая во всём мире ежегодно происходит из-за неблагоприятного воздействия сорняков и других вредных объектов, поэтому крайне важно внедрить эффективную систему защиты растений.

В настоящее время химическая защита растений реализуется как наземным, так и авиационным способами. При авиационном способе для этих целей применяются легкомоторные самолёты и беспилотные летательные аппараты (БПЛА) [3]. Особую роль БПЛА играют в такой относительно новой сфере сельского хозяйства, как «точное земледелие», которое становится всё более популярным подходом к устойчивой интенсификации сельского хозяйства, направленной на достижение баланса между производительностью в сельском хозяйстве и охраной окружающей среды [4; 5].

Использование БПЛА в сельском хозяйстве идёт по двум основным направлениям: визуализация и мониторинг, а также опрыскивание сельскохозяйственных культур [6; 7]. Беспилотные авиационные средства позволяют проводить разнообразные оценки, начиная от состояния азота и прогнозирования урожайности до обнаружения водного стресса и заболеваний [8].

Использование БПЛА в системе защиты растений предполагает ультрамалообъёмное опрыскивание с нормой расхода рабочей жидкости от 5 до 20 л/га. При этом применяются пестициды, разрешённые для авиационного внесения (отмечаются буквой «А» в Государственном каталоге пестицидов и агрохимикатов, утверждаемом Минсельхозом России). Спектр их довольно широк, из них более 50 наименований препаратов – это гербициды [9]. Внедрение технологии БПЛА в комплексные программы борьбы с сорняками может повысить эффективность применения гербицидов и уменьшить воздействие на окружающую среду, полезных насекомых и дикую природу [10].

Согласно Стратегии развития беспилотной авиации РФ до 2030 года, принятой в 2023 году, должна быть создана новая отрасль экономики, ориентированная на отечественные технологии: доля российских БАС (беспилотных авиационных систем) должна составить не менее 70%, при активном внедрении БПЛА в сельском хозяйстве и других отраслях при финансировании через нацпроект «Беспилотные авиационные системы» (696 млрд рублей до 2030 года). Использование агродронов в растениеводстве успешно практикуется в США, Китае и многих странах мира. Лидерами по объёму работ с БПЛА выступают такие отрасли, как энергетика (14%), строительство (12%) и сельское хозяйство (9%).

Основным производителем подобной техники является КНР: главным экспортёром БПЛА выступает компания DJI (контроль почти 70% мирового рынка). Следует отметить, что в КНР покупка агродронов хозяйствами до 70% субсидируется государством [11]. При этом рынок БПЛА для сельского хозяйства России развивается медленно из-за наличия ряда сложностей, прежде всего в области нормативно-правового регулирования. Изменения в лучшую сторону произошли только после вступления в силу постановления Правительства РФ от 25 мая 2019 г. N 658 «Об утверждении Правил государственного учета беспилотных гражданских воздушных судов с максимальной взлетной массой от 0,15 килограмма до 30 килограммов, сверхлегких пилотируемых гражданских воздушных судов с массой конструкции 115 килограммов и менее, ввезенных в Российскую Федерацию или произведенных в Российской Федерации», где были утверждены правила использования гражданских беспилотников в сельском хозяйстве.

Беспилотные летательные аппараты обладают рядом неоспоримых преимуществ перед традиционными средствами: благодаря небольшой высоте полёта нет риска опрыскивания нецелевых объектов; могут использоваться в тёмное время суток; работа БПЛА не зависит от рельефа, а удалённое управление позволяет человеку избежать прямого контакта с ядовитыми веществами; нисходящий поток воздуха, создаваемый роторами, способствует попаданию распыляемой жидкости в нижнюю часть купола растений и повышает уровень проницаемости; окупаемость БПЛА гораздо выше в сравнении с традиционной сельскохозяйственной авиацией; возможно использование БПЛА при повышенной влажности почвы, из-за которой затруднено использование наземной техники; отсутствие технологической колеи и уплотнения почвы; возможна обработка кустарников и высокостебельных культур [12; 13; 14].

Практика внедрения БПЛА в производственные и операционные процессы сельхозпроизводителей показывает рост производительности труда почти в 2 раза, практически на 13% сокращаются расходы на средства защиты растений, отмечается рост урожайности возделываемых культур [15; 16].

Несмотря на отмеченные преимущества, использование БПЛА в сельском хозяйстве сталкивается с рядом факторов, ограничивающих их применение: развёртывание БПЛА, интеграция и обучение могут быть очень дорогостоящими (1–2 дрона, растворный узел с необходимыми ёмкостями, заряжающие электроустройства, аккумуляторы обходятся от 4 до 8 млн рублей); существует необходимость в разработке законодательства, регулирующего новые возможности и области применения БПЛА; возможны помехи и взлом GPS из-за уязвимостей в системе управления беспилотных летательных аппаратов. Проблемными вопросами технического характера также являются: лимит времени полёта агродрона (в среднем до 40 минут) и грузоподъёмности (в среднем до 12 литров) и вытекающая отсюда необходимость частой

перезаправки рабочей жидкости и перезарядки аккумуляторных батарей или наличия запасных батарей; большая зависимость работ от погоды (при сильном ветре мелкие капли сносятся в сторону, при высокой температуре быстро высыхают в полёте) [17; 18].

В целом БПЛА способны существенно увеличить результативность сельскохозяйственного производства: повысить урожайность культур, снизить общую себестоимость производства, сократить время занятости на вредных работах, расход пестицидов [19].

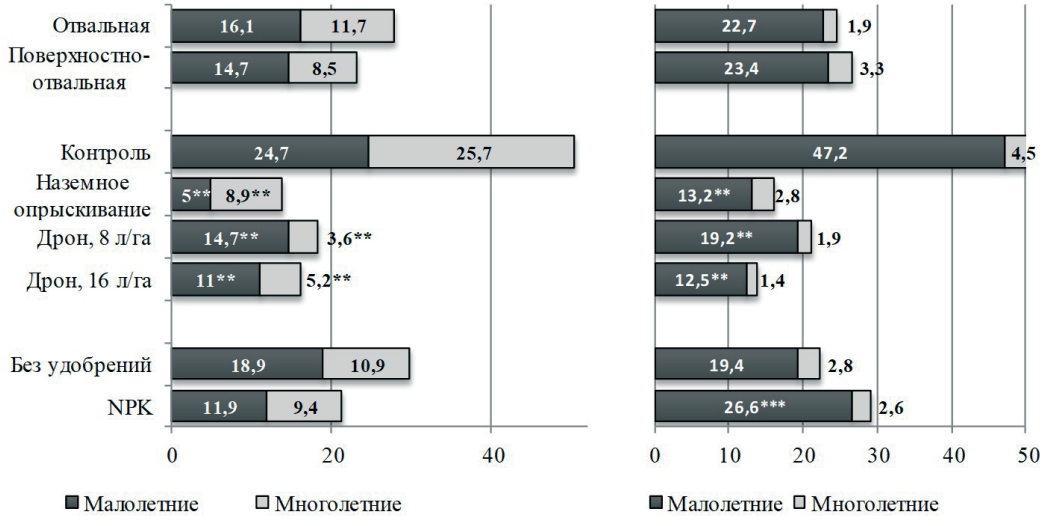
Однако для того чтобы обеспечить более высокую эффективность распылительных БПЛА и достичь оптимальных значений для выполняемых операций, важно выполнение исследований по их оценке [20].

Поэтому целью работы было изучить и выявить наиболее эффективный способ контроля сорных растений с применением БПЛА и наземного опрыскивания в посевах зерновых культур на фоне различных систем обработки почвы и удобрений, что характеризуется новизной для условий Нечернозёмной зоны РФ.

Материалы и методы исследований. Экспериментальная работа проводилась в многолетнем стационарном трёхфакторном полевом опыте Ярославского ГАУ в 2023 и 2025 гг. в посевах овса (сорт Яков) и озимой ржи (сорт Татьяна). Опыт был заложен в 2022 году на общей площади 0,6 га. В опыте изучаются две системы основной обработки почвы (отвальная и поверхностно-отвальная), пять вариантов системы защиты растений (контроль, традиционное наземное опрыскивание, малообъёмное опрыскивание с помощью БПЛА – агродрона DJI Agras T-10 с разной нормой расхода рабочей жидкости (8 и 16 л/га) с обычной и скоростной обработкой, вариант скоростной обработки не приводится в данной статье), два варианта системы удобрений (без удобрений и $N_{60}P_{60}K_{60}$). Площадь элементарной делянки (делянки третьего порядка) 60 м^2, повторность опыта – трёхкратная. В качестве гербицида в 2023 году в посеве овса применялся препарат Секатор Турбо (0,06 л/га), в 2025 году в посеве озимой ржи – Магнум (0,01 кг/га), в качестве удобрения – азофоска. Для учёта численности многолетних сорных растений использовались рамки 1 м^2 и 1/16 м^2 – для учёта малолетних. Сухую массу сорных растений определяли одновременно с их численностью путём высушивания до постоянной массы в термостате при температуре 105°С, учёты проводили два раза за вегетацию культур. Урожайность сельскохозяйственных культур учитывали сплошным методом. Статистическая обработка экспериментальных данных проводилась с помощью дисперсионного и корреляционного анализов.

Погодные условия 2023 и 2025 гг. по своим температурным показателям были близки среднемноголетним, а по количеству выпавших атмосферных осадков вегетационные периоды заметно отличались: 2023 год характеризовался их недостатком практически во все месяцы, кроме июля, когда их выпало почти в 2 раза больше нормы, а в 2025 году в начале и конце вегетации отмечалось избыточное (на 21–43%) их количество, тогда как в середине вегетации – недостаток на 29–33%. Эти условия неустойчивого увлажнения позволили более объективно оценить изучаемые факторы.

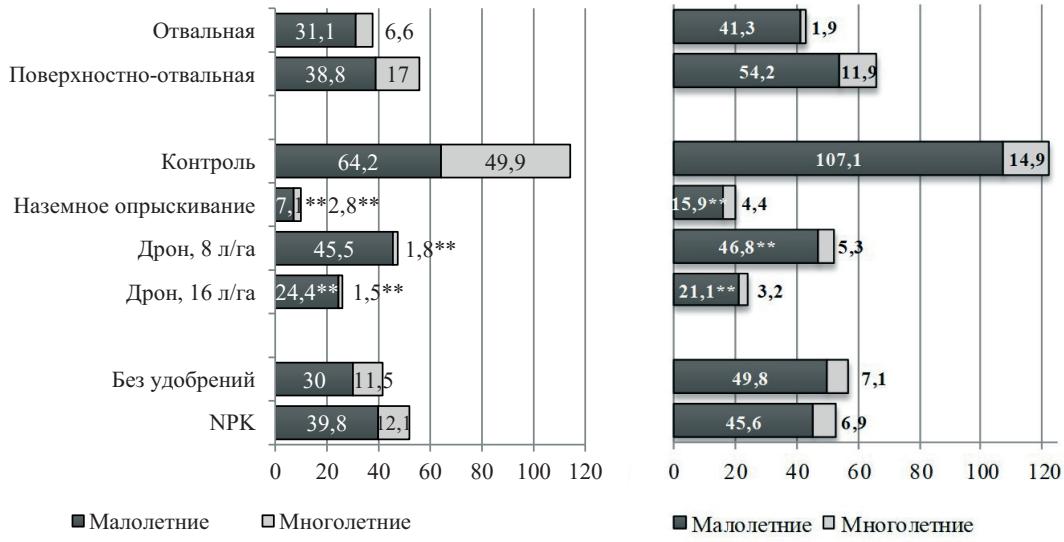
Результаты. Численность сорных растений является главным показателем засорённости посевов. В среднем по изучаемым факторам численность сорных растений в посеве овса (рис. 1а) на варианте поверхностно-отвальной обработки была незначительно ниже отвальной – на 19,8%, что было более характерно для многолетней (наблюдалось снижение на 37,6%) и в меньшей степени – для малолетней группы сорняков (наблюдалось снижение на 9,5%). Это говорит о преимуществе периодического использования вспашки в системе поверхностно-отвальной обработки в борьбе с многолетними сорными растениями в посеве овса.



а б

** – существенные отличия от контроля в факторе системы защиты растений на 5%-ном уровне значимости;
*** – существенные отличия от фона без удобрений в факторе системы удобрений на 5%-ном уровне значимости.

Рисунок 1 – Численность сорных растений в посеве овса (а) и озимой ржи (б) в среднем за их вегетацию и в среднем по изучаемым факторам, шт./м^2



а б

** – существенные отличия от контроля в факторе системы защиты растений на 5%-ном уровне значимости;
*** – существенные отличия от фона без удобрений в факторе системы удобрений на 5%-ном уровне значимости.

Рисунок 2 – Сухая масса сорных растений в посеве овса (а) и озимой ржи (б) в среднем за их вегетацию и в среднем по изучаемым факторам, г/м^2

Применение традиционного наземного опрыскивания гербицидом Секатор Турбо в 2023 году способствовало наименьшей численности малолетней группы сорняков. Снижение численности многолетних сорняков происходило более эффективно при использовании дрона для опрыскивания с наименьшей нормой внесения раствора (8 л/га) – в 7,1 раза, или до 3,6 шт./м^2, по сравнению с контролем, а численности малолетних – с повышенной нормой раствора (16 л/га) – в 2,2 раза, или до 11,0 шт./м^2.

Стоит отметить, что все способы применения гербицида привели к снижению численности как малолетних, так и многолетних сорных растений. Внесение удобрений способствовало повышению конкурентоспособности овса и снижению численности сорных растений на 39,9%, особенно малолетней их группы – на 58,8%.

При усреднении значений численности сорных растений в посеве озимой ржи в 2025 году фактор системы защиты растений был более эффективным в снижении количества сорных растений (рис. 1б). Минимальной численности как многолетних, так и малолетних сорных растений способствовал вариант Дрон, 16 л/га (1,37 шт./м^2 и 12,5 шт./м^2 соответственно). Применение удобрений в целом способствовало достоверному повышению численности малолетних сорных растений на 36,7%, что говорит о высокой отзывчивости этих видов сорняков на применение удобрений, тогда как показатель многолетних практически не изменился.

Если сравнить засорённость посевов овса и озимой ржи по показателю численности, то проявляется явная тенденция снижения обилия многолетних сорных растений в 3,9 раза в посеве ржи, что говорит о её более высокой конкурентной способности к этой группе сорных растений.

Сухая масса сорных растений считается индикатором их конкурентоспособности по отношению друг к другу и культурным растениям. Данный показатель в посеве овса в зависимости от систем основной обработки почвы имел иную динамику по сравнению с численностью (рис. 2а).

Так, при использовании системы поверхностно-отвальной обработки, несмотря на снижение численности всех групп сорных растений, их сухая масса имела тенденцию повышения по сравнению с отвальной. Использование всех вариантов применения гербицидов снижало сухую массу сорных растений от 2,4 раза при использовании дрона с нормой раствора 8 л/га до 11,5 раза при использовании наземного опрыскивания. Как и в случае с численностью, применение наземного опрыскивания было наиболее эффективным в снижении сухой массы только малолетней группы сорных растений – до 7,1 г/м^2, или в 6,5 раза по сравнению с контролем. Снижение массы многолетних сорных растений происходило более интенсивно (с 49,9 г/м^2 до 1,5–1,8 г/м^2) при применении для опрыскивания вариантов Дрон с нормой расхода 8 л/га и Дрон с нормой расхода 16 л/га. В отличие от численности, влияние внесения NPK на сухую массу сорных растений имело обратную динамику – показатель возрастал по сравнению с фоном без удобрений как по многолетней группе сорняков (на 5,2%), так и особенно по малолетней – на 32,7%.

Достоверных различий по сухой массе сорных растений в посеве озимой ржи в 2025 году при сравнении систем основной обработки почвы обнаружено не было (рис. 2б). Варианты применения гербицидов незначительно изменяли сухую массу многолетних сорных растений в сравнении с безгербицидным фоном с минимальными значениями 3,2 г/м^2 при использовании

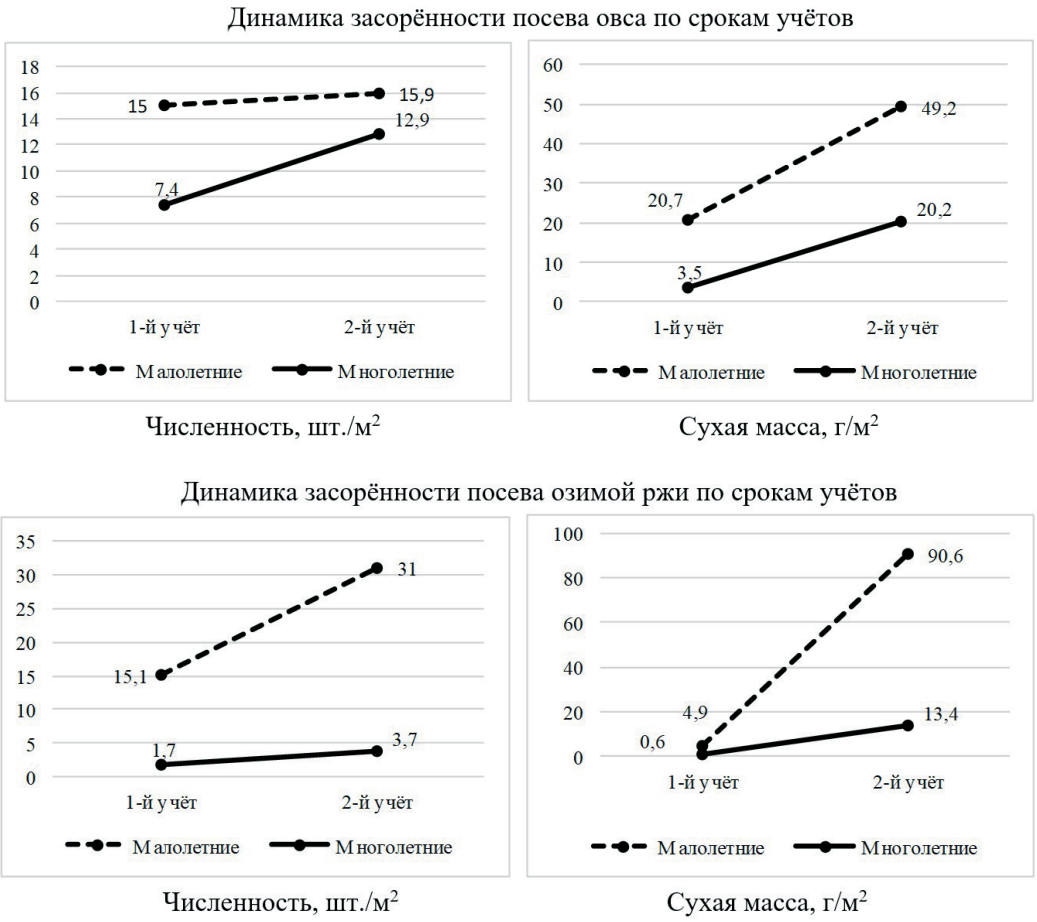


Рисунок 3 – Динамика численности (шт./м²) и сухой массы (г/м²) сорных растений в зависимости от периода вегетации зерновых культур (сроков учёта)

Дрона с нормой расхода 16 л/га. По массе малолетней группы и общем их значении произошло существенное снижение показателей на всех вариантах применения гербицида по сравнению с контролем, особенно на делянках с наземным опрыскиванием (20,3 г/м²) и с использованием Дрона с нормой расхода 16 л/га (24,4 г/м²). Применение NPK в системе удобрений в среднем по вариантам обработки почвы и защиты растений несущественно повлияло на изменение сухой массы сорных растений – наблюдалась даже тенденция снижения общего показателя на 8,5% в сравнении с фоном без удобрений.

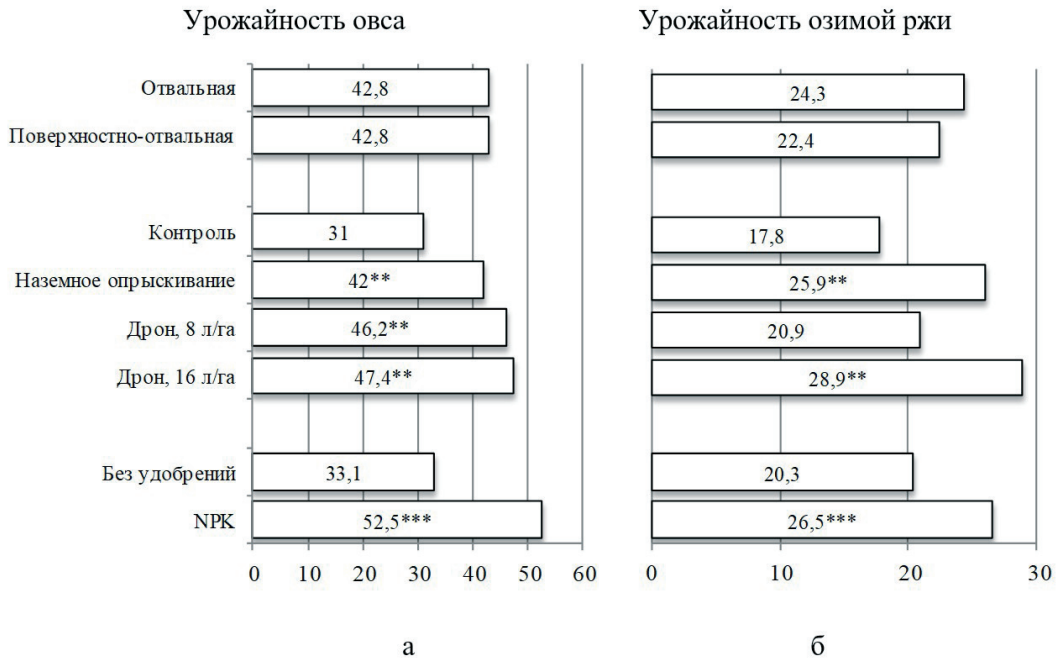
В посеве овса общая сухая масса сорных растений была в среднем несколько меньше, чем в посеве озимой ржи (на 28,6%), однако, как и в случае с численностью, показатель массы многолетних сорняков в посеве ржи в среднем был на 64,3% ниже.

В динамике численность малолетних сорных растений в посеве овса 2023 года в целом по всему опыту практически не изменялась к сроку второго учёта – наблюдалась тенденция роста на 6,0%, однако их сухая масса возросла намного больше – с 20,7 до 49,2 г/м², то есть в 2,4 раза (рис. 3).

Изменения численности и массы многолетних сорных растений имели схожую динамику – к концу вегетации овса при втором учёте показатели выросли, соответственно, в 1,7 и 5,8 раза по сравнению с началом вегетации культуры. Причиной этого, как и в случае с малолетними видами, стало существенное повышение засорённости посева овса на вариантах без применения гербицида как на неудобренном фоне, так и при внесении NPK.

Похожие изменения были и в 2025 году в посеве озимой ржи. При первом и втором учётах сорной растительности в посеве этой культуры по показателю численности явно преобладали малолетние виды над многолетними более чем в 8 раз. Второй учёт численности показал рост показателя по обеим биогруппам сорных растений в среднем в 2,0 раза, несмотря на применение гербицидов. Изменения сухой массы сорных растений в период вегетации озимой ржи сохраняли тенденции численности: обилие малолетних сорных растений было заметно выше многолетних – почти в 9 раз при первом учёте и в 6,8 раза – при втором. При этом сухая масса многолетних сорных растений к сроку второго учёта выросла в среднем по опыту в 24,5 раза (с 0,6 до 13,4 г/м²), а малолетних – в 18,5 раза (с 4,9 до 90,6 г/м²).

Засорённость посевов овса и озимой ржи, особенно многолетними видами, оказывала отрицательное влияние на урожайность зерна этих культур. Корреляционный анализ показал наличие существенной средней отрицательной связи: в 2023 году – численности многолетних сорных растений и урожайности овса ($r = -0,52$; $p = 0,037$); в 2025 году – численности и сухой массы



** – существенные отличия от контроля в факторе системы защиты растений на 5%-ном уровне значимости;
*** – существенные отличия от фона без удобрений в факторе системы удобрений на 5%-ном уровне значимости.

Рисунок 4 – Урожайность зерна овса (а) и озимой ржи (б) в среднемпо изучаемым факторам, ц/га

многолетних сорных растений и урожайности озимой ржи (соответственно, r = –0,58; p = 0,017 и r = –0,60; p = 0,013).

Урожайность зерна овса в 2023 году была на довольно высоком уровне, особенно при использовании гербицида и минеральных удобрений (рис. 4а). При наземном опрыскивании прибавка урожая составила 35,5%, при использовании дронов с нормой 8 л/га – 49,0%, с нормой 16 л/га – максимальное значение 51,9%. Внесение NPK, несмотря на повышение засорённости, также способствовало достоверному увеличению урожайности овса на 58,6% по сравнению с неудобренным фоном. В посеве ржи 2025 года в среднем по изучаемым факторам системы основной обработки почвы не имели достоверных отличий с тенденцией снижения урожайности озимой ржи на 8,4% при использовании сберегающей поверхностно-отвальной обработки по сравнению с отвальной (рис. 46). Применение гербицида значительно повысило урожайность культуры практически на всех изучаемых вариантах, особенно на варианте Дрон с нормой рабочей жидкости 16 л/га (до уровня 28,9 ц/га, или на 62,4% выше контроля). Внесение NPK способствовало существенному увеличению урожайности ржи в сравнении с неудобренным фоном, различия составили 28,2%.

Таким образом, для получения максимальной урожайности зерна овса (58,5 ц/га) и озимой ржи (32,8 ц/га) целесообразно использовать вариант применения гербицида с использованием опрыскивания дроном с нормой рабочей жидкости 16 л/га на фоне внесения NPK как при отвальной, так и при поверхностно-отвальной обработке.

Выводы. Для существенного снижения численности сорных растений в посевах зерновых культур (до 6,0–13,5 шт./м^2) целесообразно использовать вариант применения БПЛА в варианте Дрон с нормой рабочей жидкости 16 л/га по фону без удобрений независимо от применяемой системы обработки почвы. Наиболее эффективным в снижении сухой массы сорных растений в посеве овса является вариант применения гербицида с помощью варианта Дрон с нормой рабочей жидкости 8 л/га (до 3,0–5,3 г/м^2) без удобрений, особенно на поверхностно-отвальной обработке, а в посеве озимой ржи – наземного опрыскивания (до 4,2–21,6 г/м^2), особенно на отвальной обработке. Для получения максимальной урожайности зерна овса (58,5 ц/га) и озимой ржи (32,8 ц/га) целесообразно использовать вариант применения гербицида Дрон с нормой рабочей жидкости 16 л/га на фоне внесения NPK как при отвальной, так и при поверхностно-отвальной обработке.

Таким образом, для снижения засорённости посевов овса и озимой ржи, повышения их урожайности в условиях дерново-подзолистых почв Нечернозёмной зоны целесообразно применять БПЛА для опрыскивания гербицидами с нормой расхода раствора 16 л/га на фоне внесения удобрения NPK.

Список источников

1. Труфанов А. М. Ресурсосбережение в технологии возделывания яровой пшеницы на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве // Вестник АПК Верхневолжья. 2018. № 2 (42). С. 18–25. EDN UUNWJR.

2. Щукин С. В., Горнич Е. А., Труфанов А. М. [и др.] Влияние основной обработки почвы, удобрений и последействия гербицидов на засоренность посевов полевых культур // Известия Горского государственного аграрного университета. 2020. Т. 57, № 1. С. 25–31. EDN XEIWDY.

3. Афоничев Д. Н., Васильев В. В. Обоснование целесообразности использования беспилотных летательных аппаратов для ухода за посевами сельскохозяйственных культур // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2025. Т. 18, № 2 (85). С. 94–100. DOI 10.53914/issn2071-2243_2025_94. EDN NJTAZS.

4. Сулейманов С. Р., Логинов Н. А. Перспектива использования дистанционного зондирования земли и БПЛА в сельском хозяйстве Татарстана // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2017. Т. 12, № 4 (46). С. 17–19. DOI 10.12737/article_5a5f046a864615.07130597. EDN YMOURN.

5. Nath S. A vision of precision agriculture: Balance between agricultural sustainability and environmental stewardship // Agronomy Journal. 2024. Vol. 116, Is. 3. P. 1126–1143. DOI 10.1002/agj2.21405.

6. Шайтура С. В., Князева М. Д., Белю Л. П. [и др.] Цифровая трансформация сельского хозяйства на основе беспилотных летательных аппаратов // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2021. № 7. С. 174–182. EDN UDWFES.

7. Карпухин М. Ю., Инышева В. А. Перспективы применения беспилотных летательных аппаратов в АПК // Аграрное образование и наука. 2024. № 1. С. 4–12. EDN YCWYVH.

8. Wang X., Choi, D., Adams, D. [et al.] Artificial intelligence-powered plant phenomics: Progress, challenges, and opportunities // The Plant Phenome Journal. 2025. Vol. 9, Is. 1. e70060. DOI 10.1002/ppj2.70060.

9. Курченко Н. Ю., Даус Ю. В., Труфляк Е. В., Ильченко Я. А. Параметры применения беспилотных летательных аппаратов при обработке средствами защиты растений сельскохозяйственных культур // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2023. № 1 (69). С. 527–536. DOI 10.32786/2071-9485-2023-01-58. EDN OIBLWB.

10. Olson D., Anderson J. V. Review on unmanned aerial vehicles, remote sensors, imagery processing, and their applications in agriculture // Agronomy Journal. 2021. Vol. 113, Is. 2. P. 971–992. DOI 10.1002/agj2.20595.

11. Погонышев В. А., Погонышева Д. А., Ульянова Н. Д., Милютина Е. М. Агродроны как инструмент цифровизации технического обеспечения растениеводства // Вестник Брянской ГСХА. 2025. № 4 (110). С. 56–61. EDN YCULLA.

12. Припоров И. Е., Богданов Р. П., Аленин П. В., Аушев М. Х. Перспективы внедрения беспилотных летательных аппаратов в сельское хозяйство для химической обработки растений // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2023. № 3 (101). С. 191–195. EDN SAYEJI.

13. Кудрявцев Д. В., Магдин А. Г., Припадчев А. Д. [и др.] Всесторонняя обработка посевов при помощи беспилотного летательного аппарата сельскохозяйственного назначения // Аграрный вестник Верхневолжья. 2022. № 1 (38). С. 64–70. DOI 10.35523/2307-5872-2022-38-1-64-70. EDN DOOUOI.

14. Эфендиева А. А., Загазежева О. З. Перспективы использования беспилотных устройств в решении прикладных задач в сельскохозяйственной отрасли // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2019. № 4 (90). С. 54–59. DOI 10.35330/1991-6639-2019-4-90-54-59. EDN TVLDBH.

15. Саскевич П. А., Камасин С. С., Тана Й. Анализ и оптимизация цифровых технологий в растениеводстве // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2024. № 2. С. 69–74. EDN ZWDOED.

16. Погонышев В. А., Погонышева Д. А., Ульянова Н. Д., Милютина Е. М. Агродроны как инструмент цифровизации технического обеспечения растениеводства // Вестник Брянской ГСХА. 2025. № 4 (110). С. 56–61. EDN YCULLA.

17. Туркин В. Н., Шемякин А. В., Кутейникова А. П. Особенности использования агродронов в системе агрохимии и АПК // Сетевой научный журнал РГАТУ. 2025. № 1 (7). С. 7–21. DOI 10.36508/journal.2025.77.48.003. EDN GLPRKF.

18. Амирова Э. Ф., Вагапов Р. И., Золкин А. Л., Малова Н. Н. Перспективы использования беспилотных технологий в сельском хозяйстве // Научно-технический вестник Поволжья. 2023. № 8. С. 41–48. EDN TLPXTD.

19. Кузнецов Р. В. Использование БПЛА в сельском хозяйстве как фактор повышения конкурентоспособности // Мировые цивилизации. 2024. Т. 9, № 4. С. 69–75. EDN FOZHLS.

20. Ковалев И. В., Шапорова З. Е., Ковалев Д. И. Обзорный анализ экспериментальных данных для оценки характеристик БПЛА для опрыскивания посевов в точном земледелии // Вестник КрасГАУ. 2024. № 11 (212). С. 25–31. DOI 10.36718/1819-4036-2024-11-25-31. EDN OTCZUZ.

References

1. Trufanov A. M. Resursosberezhenie v tekhnologii vozdelyvaniya yarovoj pshenicy na dernovo-podzolistoj srednesuglinistoj pochve // Vestnik APK Verhnevolzh'ya. 2018. № 2 (42). S. 18–25. EDN UUNWJR.

2. Shchukin S. V., Gornich E. A., Trufanov A. M. [i dr.] Vliyanie osnovnoj obrabotki pochvy, udobrenij i posledejstviya gerbicidov na zasorennost' posevov polevyh kul'tur // Izvestiya Gorskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2020. T. 57, № 1. S. 25–31. EDN XEIWDY.

3. Afonichev D. N., Vasil'ev V. V. Obosnovanie celesoobraznosti ispol'zovaniya bespilotnyh letatel'nyh apparatov dlya uhoda za posevami sel'skohozyajstvennyh kul'tur // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2025. T. 18, № 2 (85). S. 94–100. DOI 10.53914/issn2071-2243_2025_94. EDN NJTAZS.

4. Sulejmanov S. R., Loginov N. A. Perspektiva ispol'zovaniya distancionnogo zondirovaniya zemli i BPLA v sel'skom hozyajstve Tatarstana // Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2017. T. 2, № 4 (46). S. 17–19. DOI 10.12737/article_5a5f046a864615.07130597. EDN YMOURN.

5. Nath S. A vision of precision agriculture: Balance between agricultural sustainability and environmental stewardship // Agronomy Journal. 2024. Vol. 116, Is. 3. P. 1126–1143. DOI 10.1002/agj2.21405.

6. Shajtura S. V., Knyazeva M. D., Belyu L. P. [i dr.] Cifrovaya transformaciya sel'skogo hozyajstva na osnove bespilotnyh letatel'nyh apparatov // Vestnik Kurskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii. 2021. № 7. S. 174–182. EDN UDWFES.

7. Karpukhin M. Yu., Inysheva V. A. Perspektivy primeneniya bespilotnyh letatel'nyh apparatov v APK // Agrarnoe obrazovanie i nauka. 2024. № 1. S. 4–12. EDN YCWYVH.

8. Wang X., Choi, D., Adams, D. [et al.] Artificial intelligence-powered plant phenomics: Progress, challenges, and opportunities // The Plant Phenome Journal. 2025. Vol. 9, Is. 1. e70060. DOI 10.1002/ppj2.70060.

9. Kurchenko N. Yu., Daus Yu. V., Truflyak E. V., Il'chenko Ya. A. Parametry primeneniya bespilotnyh letatel'nyh apparatov pri obrabotke sredstvami zashchity rastenij sel'skohozyajstvennyh kul'tur // Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professional'noe obrazovanie. 2023. № 1 (69). S. 527–536. DOI 10.32786/2071-9485-2023-01-58. EDN OIBLWB.

10. Olson D., Anderson J. V. Review on unmanned aerial vehicles, remote sensors, imagery processing, and their applications in agriculture // Agronomy Journal. 2021. Vol. 113, Is. 2. P. 971–992. DOI 10.1002/agj2.20595.

Эффективность управления сорным компонентом агрофитоценозов зерновых культур с помощью БПЛА

11. Pogonyshev V. A., Pogonysheva D. A., Ul'yanova N. D., Milyutina E. M. Agrodrony kak instrument cifrovizacii tekhnicheskogo obespecheniya rastenievodstva // Vestnik Bryanskoj GSKHA. 2025. № 4 (110). S. 56–61. EDN YCULLA.
12. Priporov I. E., Bogdanov R. P., Alenin P. V., Aushev M. Kh. Perspektivy vnedreniya bespilotnyh letatel'nyh apparatov v sel'skoe hozyajstvo dlya himicheskoj obrabotki rastenij // Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2023. № 3 (101). S. 191–195. EDN SAYEJI.
13. Kudryavtsev D. V., Magdin A. G., Pripadchev A. D. [i dr.] Vsestoronnyaya obrabotka posevov pri pomoshchi bespilotnogo letatel'nogo apparata sel'skohozyajstvennogo naznacheniya // Agrarnyj vestnik Verhnevolzh'ya. 2022. № 1 (38). S. 64–70. DOI 10.35523/2307-5872-2022-38-1-64-70. EDN DOOUOI.
14. Efendieva A. A., Zagazezheva O. Z. Perspektivy ispol'zovaniya bespilotnyh ustrojstv v reshenii prikladnyh zadach v sel'skohozyajstvennoj otrasli // Izvestiya Kabardino-Balkarskogo nauchnogo centra RAN. 2019. № 4 (90). S. 54–59. DOI 10.35330/1991-6639-2019-4-90-54-59. EDN TVLDBH.
15. Saskevich P. A., Kamasin S. S., Tana J. Analiz i optimizaciya cifrovyh tekhnologij v rastenievodstve // Vestnik Belorusskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii. 2024. № 2. S. 69–74. EDN ZWDOED.
16. Pogonyshev V. A., Pogonysheva D. A., Ul'yanova N. D., Milyutina E. M. Agrodrony kak instrument cifrovizacii tekhnicheskogo obespecheniya rastenievodstva // Vestnik Bryanskoj GSKHA. 2025. № 4 (110). S. 56–61. EDN YCULLA.
17. Turkin V. N., Shemyakin A. V., Kutejnikova A. P. Osobennosti ispol'zovaniya agrodronov v sisteme agrohimii i APK // Setevoj nauchnyj zhurnal RGATU. 2025. № 1 (7). S. 7–21. DOI 10.36508/journal.2025.77.48.003. EDN GLPRKF.
18. Amirova E. F., Vagapov R. I., Zolkin A. L., Malova N. N. Perspektivy ispol'zovaniya bespilotnyh tekhnologij v sel'skom hozyajstve // Nauchno-tekhnicheskij vestnik Povolzh'ya. 2023. № 8. S. 41–48. EDN TLPXTD.
19. Kuznetsov R. V. Ispol'zovanie BPLA v sel'skom hozyajstve kak faktor povysheniya konkurentosposobnosti // Mirovye civilizacii. 2024. T. 9, № 4. S. 69–75. EDN FOZHLS.
20. Kovalev I. V., Shaporova Z. E., Kovalev D. I. Obzornyj analiz eksperimental'nyh dannyh dlya ocenki harakteristik BPLA dlya opryskivaniya posevov v tochnom zemledelii // Vestnik KrasGAU. 2024. № 11 (212). S. 25–31. DOI 10.36718/1819-4036-2024-11-25-31. EDN OTCZUZ.

Сведения об авторах

Александр Михайлович Труфанов – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, профессор кафедры агрономии, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ярославский государственный аграрный университет», spin-код: 5673-4920.
Сергей Владимирович Щукин – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, заведующий кафедрой агрономии, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ярославский государственный аграрный университет», spin-код: 2622-3345.
Виктория Владимировна Седова – соискатель кафедры агрономии, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ярославский государственный аграрный университет», spin-код: 6126-9935.
Иван Анатольевич Волков – аспирант кафедры агрономии, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ярославский государственный аграрный университет».

Information about the authors

Aleksandr M. Trufanov – Candidate of Agricultural Sciences, Docent, Professor of the Department of Agronomy, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Yaroslavl State Agrarian University", spin-code: 5673-4920.
Sergey V. Shchukin – Candidate of Agricultural Sciences, Docent, Head of the Department of Agronomy, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Yaroslavl State Agrarian University", spin-code: 2622-3345.
Victoriya V. Sedova – applicant of the Department of Agronomy, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Yaroslavl State Agrarian University", spin-code: 6126-9935.
Ivan A. Volkov – Postgraduate student of the Department of Agronomy, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Yaroslavl State Agrarian University".

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.