





## Эффективность применения шин низкого давления при возделывании озимого ячменя

Е. В. Труфляк , М. С. Бухарцев, Д. А. Сотников  
Кубанский ГАУ (г. Краснодар, Российская Федерация)  
 [trufliak@mail.ru](mailto:trufliak@mail.ru)

### Аннотация

**Введение.** Отсутствие комплексного анализа влияния шин низкого давления на рост и развитие зерновых культур (размерно-массовые характеристики различных частей растений, болезни и т. д.), урожайность по следу и вне следа с использованием наземных измерений, снимков с беспилотного летательного аппарата и из космоса остается актуальной проблемой. Цель работы – определить с использованием цифровых технологий, дистанционных и наземных измерений, на какой из элементов структуры урожая и на каком этапе оказывает наибольшее влияние давление в шинах при возделывании озимого ячменя.

**Материалы и методы.** Наземный мониторинг всходов проводился с использованием стандартных методик полевого опыта. Дистанционный мониторинг всходов выполнялся в течение вегетации озимого ячменя беспилотными летательными аппаратами (Phantom 4 Pro, Mavic 2 Enterprise Dual) и космоснимками (системы OneSoil, SkyScout).

**Результаты исследования.** В результате проведенного в течение одного года исследования доказана эффективность применения шин низкого давления при возделывании озимого ячменя. При сравнении эффективности использования шин низкого давления с шинами стандартного давления получили повышение биологической урожайности на 4,4 %, комбайновой – на 9,5 %.

**Обсуждение и заключение.** Определено, что давление в шинах оказывает влияние на рост и развитие озимого ячменя, развитие болезней, а также урожайность. При этом заметна разница показателей при движении шины по следу и вне следа. Таким образом, важным вопросом интенсификации сельскохозяйственного производства, наряду с использованием современных технологий и технических средств, высокопродуктивных сортов и гибридов, средств защиты растений, является использование шин низкого давления.

**Ключевые слова:** шины, низкое давление, озимый ячмень, урожайность, опыт, контроль

**Финансирование:** исследование выполнено при финансовой поддержке Кубанского научного фонда в рамках научного проекта № 20.1/73 и договора НИР от 15.09.2021 г. № 128а/21.

**Благодарности:** выражаем благодарность участникам эксперимента: директору ООО «Агро-Софт» А. А. Тенкову, заведующему кафедрой физики Кубанского ГАУ Н. Ю. Курченко, доценту кафедры физиологии и биохимии растений Кубанского ГАУ Ю. В. Подушину, директору ООО «АИС» В. Е. Кухряну.

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.



*Для цитирования:* Труфляк Е. В., Бухарцев М. С., Сотников Д. А. Эффективность применения шин низкого давления при возделывании озимого ячменя // Инженерные технологии и системы. 2022. Т. 32, № 4. С. 567–587. doi: <https://doi.org/10.15507/2658-4123.032.202204.567-587>

Original article

## Efficiency of Low-Pressure Tires in the Cultivation of Winter Barley

E. V. Truflyak ✉, M. S. Bukhartsev, D. A. Sotnikov  
Kuban SAU (Krasnodar, Russian Federation)

✉ [truflyak@mail.ru](mailto:truflyak@mail.ru)

### Abstract

*Introduction.* Today, a pressing problem is the lack of a comprehensive analysis of the impact of low-pressure tires on the growth and development of crops (dimension and mass characteristics of different plant parts, diseases, etc.), yield within the track and off the track using ground-based measurements, images from drones and from space. The aim of the work is to determine, using digital technology, remote and ground-based measurements, which element of yield structure and at which stage is most affected by tire pressure during the cultivation of winter barley.

*Materials and Methods.* Above-ground monitoring of sprouts was carried out using standard methods of field testing. Remote monitoring of sprouts was carried out during the vegetation of winter barley by an unmanned aerial vehicle (Phantom 4 Pro, Mavic 2 Enterprise Dual) and by satellite images (OneSoil, SkyScout systems).

*Results.* As a result of one year research the efficiency of low-pressure tires application in the cultivation of winter barley was proved. The results of comparing the efficiency of low-pressure tires with standard pressure tires show that when using low-pressure tires the biological yield increases by 4.4% and combine yield increases by 9.5%.

*Discussion and Conclusion.* It was determined that tire pressure affects the growth and development of winter barley, the development of diseases, and crop yields. At the same time, the difference in indicators when the tire moves within the track and off the track is noticeable. Thus, the use of low pressure tires is an important issue of agricultural production intensification just like the use of modern technologies and technical means, highly productive varieties and hybrids, and plant protection means.

**Keywords:** tires, low pressure, winter barley, yield, experience, control

**Funding:** The study was financially supported by the Kuban Scientific Foundation within the framework of the Scientific Project no. 20.1/73 and the Research Contract no. 128a/21 from 15.09.2021.

**Acknowledgements:** We express our gratitude to the participants of the experiment: A. A. Tenekov, Director of Agro-Soft LLC, N. Yu. Kurchenko, Head of the Chair of Physics of Kuban State Agrarian University, Y. V. Podushin, Associate Professor of Plant Physiology and Biochemistry of Kuban State Agrarian University, V. E. Kurian, Director of AIS LLC.

**Conflict of interest:** The authors declare no conflict of interest.

**For citation:** Truflyak E.V., Bukhartsev M.S., Sotnikov D.A. Efficiency of Low-Pressure Tires in the Cultivation of Winter Barley. *Engineering Technologies and Systems*. 2022;32(4):567–587. doi: <https://doi.org/10.15507/2658-4123.032.202204.567-587>

## Введение

Повышение урожайности зерновых колосовых культур является важной задачей продовольственной безопасности страны. В настоящее время невозможно получать хорошие результаты без использования мощных тракторов и широкозахватных сельскохозяйственных машин, давление шин которых оказывает влияние на урожайность возделываемых культур.

Актуальным вопросом является изучение возможности повышения урожайности зерновых колосовых культур за счет использования шин низкого давления.

Цель работы – определить с использованием цифровых технологий, дистанционных и наземных измерений, на какой из элементов структуры урожая и на каком этапе оказывает наибольшее влияние давление в шинах при возделывании озимого ячменя.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

1. Выбор поля, опытного и контрольного экспериментальных участков.
2. Анализ зон продуктивности, агрохимического обследования почв, урожайности культур поля до проведения эксперимента.
3. Обоснование границ и размеров опытного и контрольного экспериментальных участков.
4. Подготовка агрегатов, обоснование и контроль давления шин, сопровождение технологических операций дискования стерни, отбора проб почвы, внесения удобрений, дискования после внесения удобрений, посева, прикатывания посева, внесения жидких удобрений, внесения гербицидов и фунгицидов.
5. Проведение наземного и дистанционного мониторинга всходов в течение вегетации озимого ячменя.
6. Анализ результатов исследований.

## Обзор литературы

В университете Харпера Адамса (Великобритания) изучалось влияние способа движения и обработки почвы на урожайность озимой пшеницы и свойства почвы [1]. Целью данного исследования являлась обработка с произвольным движением (RTF); использованием низкого давления на грунт (LGP); обработка контролируемым движением (CTF) с различными системами обработки почвы. Рост и урожайность сельскохозяйственных культур изучали с помощью анализа фотографий и собранного урожая. CTF увеличил урожайность во всех системах обработки почвы.

Целью исследования в другой работе было определение влияния гусениц и шин на физические свойства почвы [2]. Сравнили влияние резиновых гусениц (Challenger 765C), стандартных шин и шин LGP (Massey Ferguson 8480). Стандартные шины и шины LGP были накачаны до высокого давления (1,2 бар спереди; 1,5 бар сзади) и низкого давления накачки (0,7 бар спереди и сзади). Давление почвы измерялось с помощью тензометрических датчиков давления на глубине 300 мм в центре колеса. Данные были собраны с использованием системы National Instruments CompactRIO и зарегистрированы с помощью программного обеспечения Virtual Instrument на портативном ПК. Физические свойства почвы определялись с помощью конусного пенетromетра. Пиковое давление почвы под резиновыми гусеницами (0,27 бар) было значительно ниже.

Изучено влияния глубокой, мелкой и нулевой обработки почвы с обычным и низким давлением в шинах и регулируемые системы движения на урожайность озимой пшеницы, озимого ячменя и ярового овса. Результаты показывают, что урожайность при нулевой обработке почвы была ниже, чем при глубокой и мелкой обработке почвы

для всех культур с общим снижением на 1,0 т/га ниже среднего значения при глубокой и мелкой обработке почвы [3].

Системы низкого давления на грунт (LGP) могут способствовать случайному перемещению и часто используются для доступа к полям во время влажных условий, сводя к минимуму негативные последствия дорожного движения. Междисциплинарный долгосрочный проект, созданный в Университете Харпера Адамса (Великобритания) в октябре 2011 года, изучал воздействие дорожного движения и обработки на реакцию почвы, урожая и энергии в рандомизированном и повторном исследовании для определения влияния случайного движения (RTF), управляемого движения (CTF) и низкого давления на грунт (LGP) системы с глубокой, мелкой и нулевой обработкой почвы. Целью этого исследования является разработка интегрированной системы механизации для оптимизации почвенных и водных ресурсов, роста урожая, урожайности, производительности системы и экономики в коммерческой сельскохозяйственной практике [4].

В диссертации Э. К. Смит представлены обобщенные материалы по влиянию сельскохозяйственного транспорта и обработки почвы на физические свойства почвы и урожай<sup>1</sup>.

В. А. Русанов в монографии и В. Ю. Ревенко в диссертации рассмотрели вопросы почвенного уплотнения, а также пути его устранения<sup>2</sup>.

Рассмотрены задачи разработки конструкции опорного колеса с широкопрофильной шиной переменного давления, проведен анализ и моделирование различных широкопрофильных конструкций шин опорных колес [5; 6].

Теоретически обосновано использование крупногабаритных шин низкого давления [7].

К. А. Зеленов в диссертации рассмотрел работу трактора ЛТЗ-155 и плуга ПЛН-5-35 с шинами низкого давления и пришел к выводу, что они позволяют снизить буксование и улучшить тяговые свойства<sup>3</sup>.

Компания «Авион» в 2016 г. совместно с Воронежским ГАУ исследовала влияние шин сверхнизкого давления на урожайность и качество озимой пшеницы<sup>4</sup>. В результате получено, что уровень снижения урожайности зависит от фазы развития растений. В фазу кущения снижение урожайности растений по следу колес не происходило. Растения, примятые колесами машины в фазу трубкования и колошения, дают урожай, но на 11 и 29 % ниже контроля.

Показано, как влияет на ходовую часть в тракторах низкое давление в шинах, предложены пути повышения эксплуатационных качеств машин<sup>5</sup> [8].

Ю. Н. Сыромятников резюмирует, что один из самых простых и эффективных способов снизить давление трактора на почву – уменьшение давления в шинах [9].

<sup>1</sup> Smith E. K. The Effect of Agricultural Traffic and Tillage on Soil Physical Properties and Crop Yields : A thesis Submitted in Partial Fulfilment of the Requirements for the Degree of Doctor of Philosophy. Newport, 2017. 242 p. URL: <https://hau.repository.guildhe.ac.uk/id/eprint/17337/> (дата обращения: 10.09.2022).

<sup>2</sup> Русанов В. А. Проблема переуплотнения почв движителями и эффективные пути ее решения : моногр. М. : ВИМ, 1998. 368 с. ; Ревенко В. Ю. Повышение эффективности машинно-тракторных агрегатов с колесными тракторами классов 1,4, 2 и 3 на основе оптимизации параметров движителей : дис. ... канд. техн. наук. Москва, 2006. 182 с.

<sup>3</sup> Зеленов К. А. Повышение тягово-сцепных свойств колесных полноприводных тракторов регулированием давления воздуха в шинах : дис. ... канд. техн. наук. Саратов, 2003. 178 с.

<sup>4</sup> Мязин Н. Г. Исследование о влиянии шин сверхнизкого давления на урожайность и качество озимой пшеницы [Электронный ресурс]. URL: [https://avion-agro.ru/research\\_articles?mode=view&post\\_id=1490286](https://avion-agro.ru/research_articles?mode=view&post_id=1490286) (дата обращения: 10.09.2022).

<sup>5</sup> Ходовые системы тракторов / В. М. Забродский [и др.]. М. : Агропромиздат, 1986. 269 с. URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01001335506> (дата обращения: 10.09.2022).

Предложено устройство, позволяющее производить автоматическое изменение давления в шинах [10]. Представлен анализ и алгоритм воздействия ходовых систем на почву<sup>6</sup>.

Влияние ходовых систем на почву освещено и в других статьях [11–14]. Испытаниям шин низкого и сверхнизкого давления посвящены работы<sup>7</sup> [15; 16].

А. А. Лопарев еще в 1984 г. изучал влияние факторов ходовых систем тракторов тягового класса 1,4 на свойства дерново-подзолистых суглинистых почв<sup>8</sup>. Комплексные результаты расширенного исследования отражены в его диссертации<sup>9</sup>. Однако за прошедшие 20 лет мировые производители шин выпустили новые модели, которые используются в различных почвенно-климатических условиях. Появились новые высокоточные дистанционные цифровые инструменты, которые были не доступны ранее. При этом проведены исследования только для тракторов тягового класса 1,4 на дерново-подзолистых суглинистых почвах.

Обзор литературных источников, связанных с использованием шин низкого давления, показывает актуальность изучения данного вопроса как научно-образовательными организациями, так и производителями шин. Выполняются теоретические и экспериментальные

исследования в России и за рубежом применительно к возделыванию сельскохозяйственных культур. Однако отсутствует глубокий комплексный анализ влияния шин низкого давления, установленных на тракторах различных мощностей, на рост и развитие культур (размерно-массовые характеристики различных частей растений, развитие болезней и т. д.) по следу и вне следа с использованием наземных измерений, снимков с беспилотного летательного аппарата (БПЛА) и из космоса.

### Материалы и методы

Эксперимент по оценке эффективности применения шин низкого давления MICHELIN AXIOBIB2, технологии изготовления MICHELIN Ultraflex при возделывании озимого ячменя проводился на поле 155 га в Гиагинском районе Республики Адыгея с 12 октября 2021 г. по 4 июля 2022 г.

Предварительно перед выбором поля выполнен анализ интегральных зон поля с 21.03.2013 г. в платформе SkyScout. Всего рассмотрено 1090 снимков, отобрано 82. В системе OneSoil выполнен анализ зон продуктивности с 2016 по 2021 гг.

Анализируя интегральные зоны и зоны продуктивности, можно заметить их примерное совпадение.

<sup>6</sup> Козлов Д. Г., Остриков В. В. Анализ путей снижения негативного влияния колесных движителей на физико-механические свойства почвы и тяговые качества трактора // Наука и образование в современных условиях : мат. междунар. науч. конф. Воронеж, 2016. С. 230–241. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26102667> (дата обращения: 10.09.2022).

<sup>7</sup> Щеголихина Т. А., Гольяпин В. Я. Самоходные энергетические средства для внесения удобрений и средств защиты растений на шинах низкого давления // Инженерные решения для агропромышленного комплекса : мат. Всерос. науч.-практ. конф. Рязань : Изд-во РГАУ, 2022. С. 196–201. URL: [http://www.rgatu.ru/archive/sborniki\\_konf/24\\_03\\_22/programma.pdf](http://www.rgatu.ru/archive/sborniki_konf/24_03_22/programma.pdf) (дата обращения: 10.09.2022); Анискин Н. В., Дорофеева К. А. Основные преимущества использования шин низкого давления в агропромышленном комплексе // Перспективные технологии в современном АПК России: традиции и инновации : мат. 72 Междунар. науч.-практ. конф. Рязань : Изд-во РГАУ, 2021. С. 115–118.

<sup>8</sup> Лопарев А. А. Влияние конструктивных и эксплуатационных факторов ходовой систем тракторов МТЗ-80, МТЗ-82 на свойства дерново-подзолистых суглинистых почв : дис. ... канд. техн. наук. Киров, 1984. 241 с. URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01003435726> (дата обращения: 10.09.2022).

<sup>9</sup> Лопарев А. А. Повышение эффективности колесных универсально-пропашных тракторов тягового класса 1,4 в растениеводстве путем совершенствования конструктивных параметров движителей и оптимизации технологических режимов : дис. ... д-ра. техн. наук. Киров, 2003. 475 с. URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01002624033> (дата обращения: 10.09.2022).



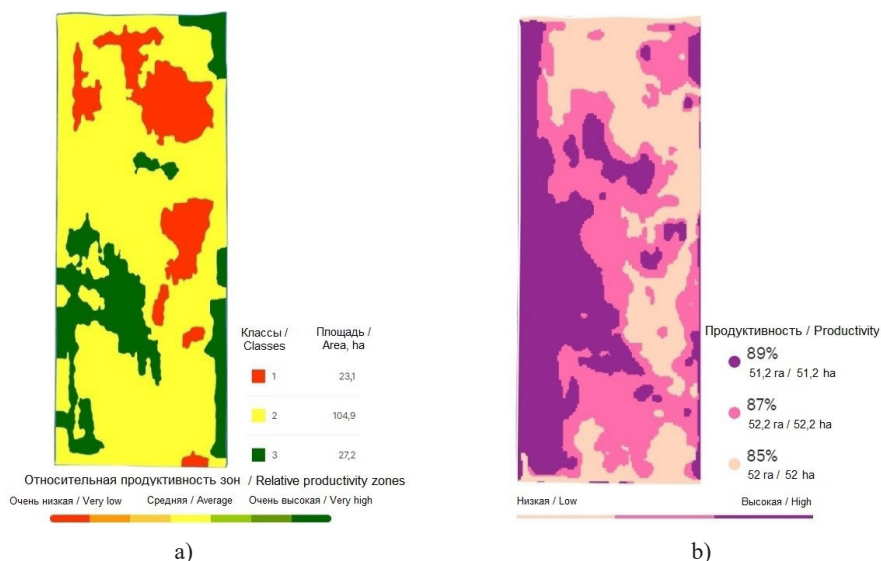
Однако в системе SkyScout они занимают 27,2 га, а в системе OneSoil 51,2 га.

Выполнена обрисовка зон высокой продуктивности платформ SkyScout и OneSoil в системе КОМПАС 3D и их наложение друг на друга (рис. 1).

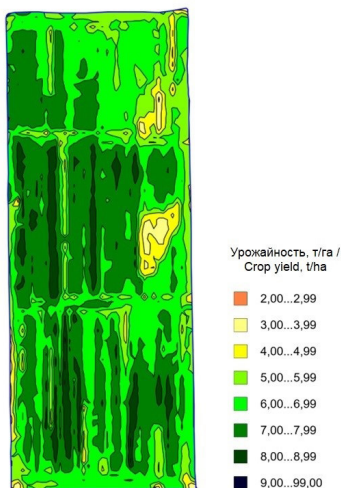
Анализируя результаты картирования урожайности озимой пшеницы за 2020 г., сделан вывод, что варьирование

в зоне высокой продуктивности составляет от 7 до 9 т/га, низкой 3–6 т/га (рис. 2).

По результатам агрохимобследования до проведения экспериментальных исследований на поле содержание калия и фосфора в зоне продуктивности высокое, кроме нижней левой части для калия (рис. 3).



Р и с. 1. Зоны экспериментального поля: а) интегральные; б) продуктивности  
F i g. 1. Zones of the experimental field: a) integral; b) productivity



Р и с. 2. Карта урожайности пшеницы озимой (2020 г., данные ООО «Агро-Софт»)   
F i g. 2. Map of winter wheat yield (2020, data of Agro-Soft LLC)

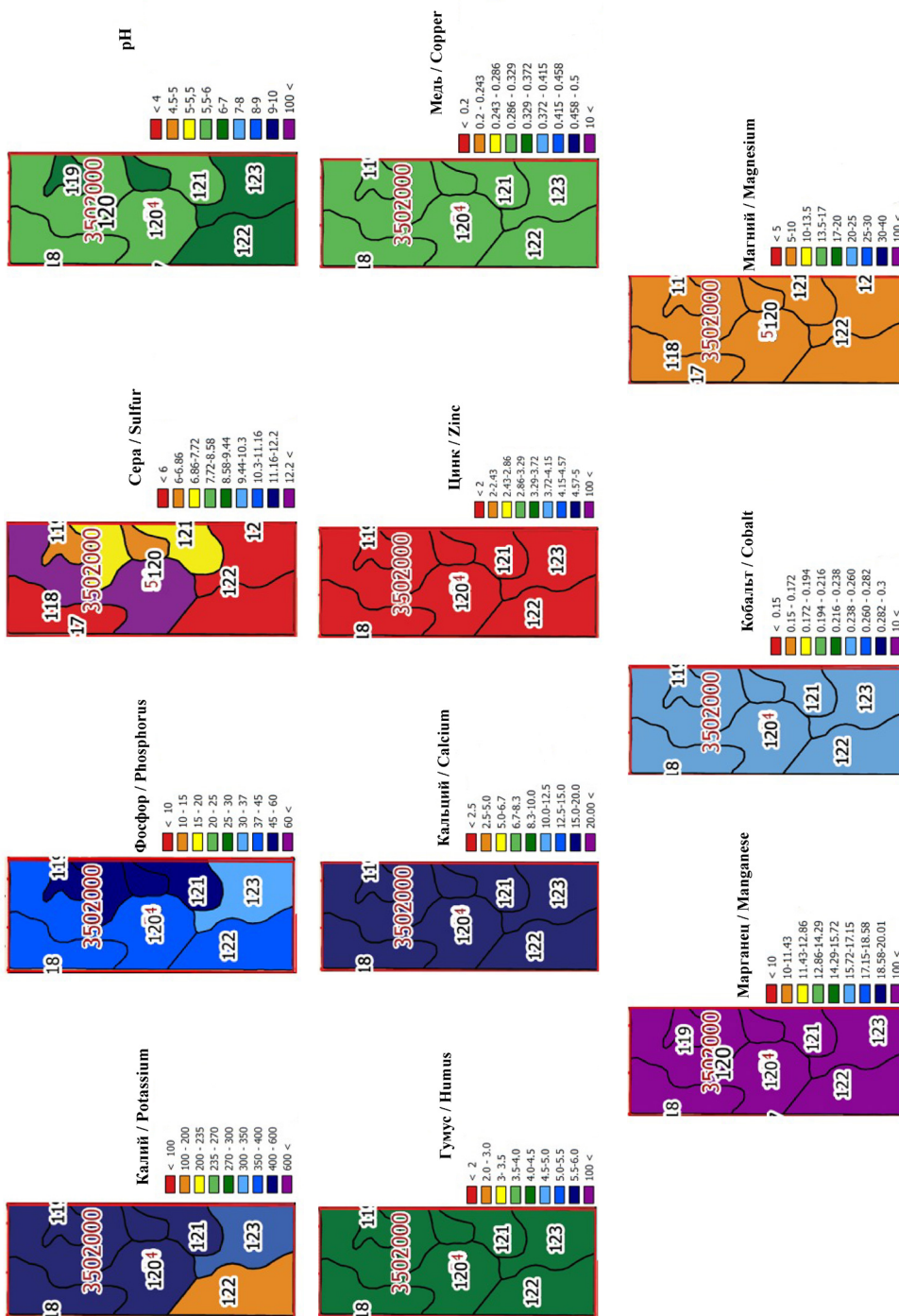


Рис. 3. Результаты агрохимобследования до проведения эксперимента (данные ООО «Агро-Софт») / Fig. 3. Results of agrochemical survey before the experiment (data of LLC «Agro-Soft»)

В целом по полю значение марганца очень высокое, кобальта повышенное, кальция высокое, гумуса среднее, меди среднее, магния низкое, цинка очень низкое.

Проведя предварительную аэрофотосъемку, заметили наличие вымочек (рис. 4), которые так же были видны на космоснимках при анализе вегетации за предыдущие годы.

В результате поле разделили на части так, чтобы опыт 43 га (использовались шины низкого давления) и контроль 43 га (использовались шины стандартного давления) были в однородной зоне, а неоднородный участок не задействовали в эксперименте (рис. 5).

Для обоснования давления в шинах на опыте трактор с сельхозмашиной перед каждой технологической операцией взвешивался (рис. 6).

Осуществлялись следующие технологические операции (рис. 7):

– дискование стерни (трактор John Deere 9520 и дисковая борона John Deere-650 (2.10.2021 г.): шины не участвовали в эксперименте);

– внесение удобрений (трактор John Deere 7830 и разбрасыватель удобрений

Amazone ZA-TS 3200 (13.10.2021 г.): давление шин (опыт)  $P_o = 1$  бар; давление шин (контроль)  $P_k = 1,6$  бар);

– дискование после внесения удобрений (трактор John Deere 8430 и дисковая борона Lemken Rubin 9 (13.10.2021 г.):  $P_o = 0,6$  бар;  $P_k = 1,4$  бар);

– посев (трактор John Deere 7830 и сеялка John Deere 9400 (с 17.10.2021 по 18.10.2021 г.):  $P_o = 0,6$  бар;  $P_k = 1,2$  бар);

– прикатывание посевов (трактор John Deere 7830 и каток Cambridge CV500P (20.10.2021 г.):  $P_o = 0,6$  бар;  $P_k = 0,6$  бар; обработка производилась по диагонали поля);

– внесение жидких удобрений (опрыскиватель John Deere 4730 (27.02.2022 г.):  $P_o = 0,6$  бар (передние);  $P_o = 0,8$  бар (задние);  $P_k = 1,4$  бар (передние);  $P_k = 1,4$  бар (задние));

– внесение гербицидов и фунгицидов (опрыскиватель John Deere 4730:  $P_o = P_k = 2,5$  бар).

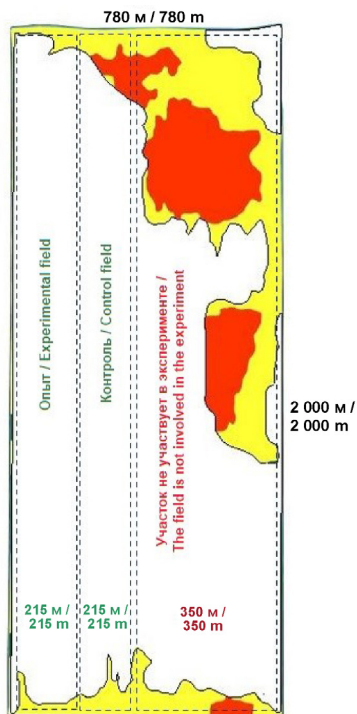
Выполнялись наземные измерения количества и высоты растений; количества листьев в растении; массы растения; длины и ширины корневой системы; показания N-тестера и индекса NDVI; поражения растений болезнями и др.



Р и с. 4. Рельефные участки экспериментального поля (мочаки)

F i g. 4. Relief areas of the experimental field (flooded areas)

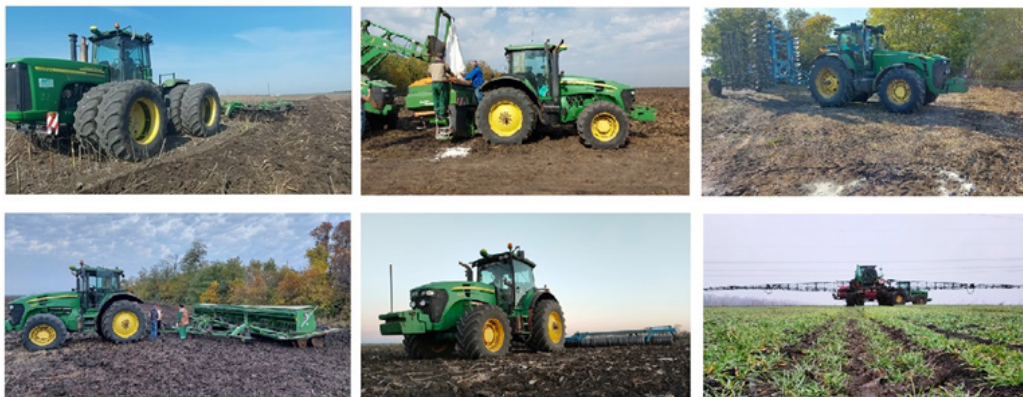




Р и с. 5. Экспериментальное поле  
F i g. 5. Experimental field



Р и с. 6. Взвешивание агрегата John Deere 8430 + Lemken Rubin 9  
F i g. 6. Weighing of John Deere 8430 + Lemken Rubin 9



Р и с. 7. Технологические операции слева направо: первый ряд – дискование стерни; внесение удобрений; дискование после внесения удобрений; второй ряд – посев; прикатывание посевов; внесение жидких удобрений

F i g. 7. Technological operations from left to right: first row is disking stubble field; fertilizer application; disking after fertilizer application; second row is seeding; rolling; spreading liquid fertilizer

Дистанционно с использованием БПЛА Phantom 4 Pro и Mavic 2 Enterprise Dual производилась съемка полей для получения ортофотоплана и биоиндекса.

Космоснимки систем OneSoil и Sky-Scout позволяли в целом анализировать вегетацию на всем поле, изменение индекса вегетации, созревание культуры.

#### Результаты исследования

Сравним основные размерно-массовые характеристики растений в процессе их вегетации на опыте и контроле по следу.

Измерения производились в фазах всходов 2–3 листьев (17.11.2021 г.); начала кушения (22.12.2021 г.); кушения (25.02.2022 г.); колошения (5.04.2022 г.); молочной спелости (20.05.2022 г.). В таблице 1 представлены только среднеарифметические значения исследуемых показателей по данным фазам (результаты статистических данных не представлены из-за большого объема информации).

Можно видеть в опыте по следу следующие результаты:

– количество растений: увеличение на 27 % (17.11.2021 г.), снижение на 12 % (22.12.2021 г.), увеличение на 3 % (5.04.2022 г.);

– высота растений: увеличение на 14 % (17.11.2021 г.), снижение на 4 % (22.12.2021 г.), увеличение на 4 % (5.04.2022 г.);

– количество листьев в растении: больше на 14 % (22.12.2021 г.), на 3 % (5.04.2022 г.);

– масса растения: рост на 18 % (25.02.2022 г.);

– длина корневой системы: больше на 8 % (22.12.2021 г.), меньше на 2 % (5.04.2022 г.);

– ширина корневой системы: выше на 57 % (22.12.2021 г.), ниже на 13 % (5.04.2022 г.);

– показания N-тестера: выше на 5 % (17.11.2021 г.), на 3 % (22.12.2021 г.); ниже на 4 % (25.02.2022 г.);

– показания NDVI: больше на 7 % (22.12.2021 г.), на 4 % (25.02.2022 г.);

– доля листьев, пораженных ринхоспориозом: ниже на 38 % (25.02.2022 г.);

– раскущенность: больше на 36 % (22.12.2021 г.), больше в 2,9 раза (25.02.2022 г.), меньше на 16 % (5.04.2022 г.).

На контрольном участке распространение сетчатой пятнистости на небольшом удалении от колеи составило 51 %,

а развитие 13 % (данные Ю. В. Подушина). На опытном участке распространение 95 %, развитие 32 %. Различия между вариантами по распространению и развитию сетчатого септориоза были существенными. В опыте распространение инфекции было на 44 % выше, чем в контроле; развитие пятнистости – на 19 %. Развитие инфекции в обоих случаях не превышало экономический порог вредоносности.

Рассматривали проективное покрытие в соответствующих точках измерений в фазе начало кушения (22.12.2021 г.). Показатель проективного покрытия по следу на опытном участке выше, чем на контрольном, на 55 %; вне следа на опыте так же выше, чем на контроле на 50 % (табл. 1, рис. 8). При этом наблюдается высокая вариация признака на контроле (более 20 %) и высокая ошибка (более 7–8 %).

Т а б л и ц а 1

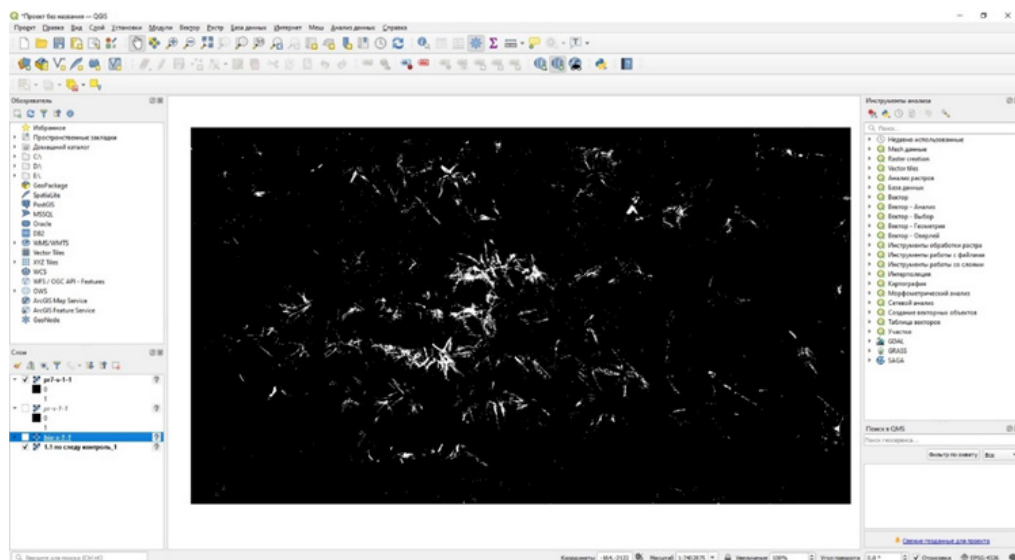
Table 1

**Сводные результаты**  
**Summary results**

Показатель / Indicator	Опыт / Experience		Контроль / Control	
	по следу / within the track	вне следа / off the track	по следу / within the track	вне следа / off the track
1	2	3	4	5
Количество растений, шт. / Number of plants, pcs:				
17.11.2021 (1 м <sup>2</sup> )	200	172	157	210
22.12.2021 (1 п. м.)	25	32	28	30
5.04.2022 г (1 п. м.)	31	28	30	20
Высота растений, мм / Plant height, mm:				
17.11.2021	66	67	58	64
22.12.2021	112	134	117	106
5.04.2022	201	223	193	207
Проективное покрытие (22.12.2021) / Projective cover (22.12.2021)	0,031	0,036	0,020	0,024
Количество листьев в растении, шт. / Number of leaves in the plant, pcs:				
22.12.2021	4,0	3,7	3,5	3,8
5.04.2022	22,2	25,0	21,5	24,4
Масса растения, г / Weight of the plant, g:				
22.12.2021	0,3	0,4	0,3	0,35
25.02.2022	1,88	1,82	1,6	1,93
Длина корневой системы, мм / Root system length, mm:				
22.12.2021	77	83	71	73
5.04.2022	112	112	114	118
Ширина корневой системы, мм / Root system width, mm:				
22.12.2021	4,7	4,6	3,0	3,4
5.04.2022	7,6	8,2	8,6	9,0

Окончание таблицы 1 / End of table 1

1	2	3	4	5
Показания N-тестера, ед. / N-tester indications, units:				
17.11.2021	461	488	437	446
22.12.2021	528	581	515	484
25.02.2022	578	611	604	622
Показания NDVI / NDVI indications:				
22.12.2021	0,15	0,15	0,14	0,15
25.02.2022	0,49	0,53	0,47	0,52
Доля листьев, пораженных ринхоспориозом, % (25.02.2022) / Share of leaves affected by rhinchosporiosis, % (25.02.2022)				
	2,9	1,8	4,0	1,3
Раскущенность, шт. / Spread, pcs:				
22.12.2021	1,9	1,9	1,4	1,4
25.02.2022	4,6	4,3	1,6	1,9
5.04.2022	4,4	5,0	5,1	5,6



Р и с. 8. Проективное покрытие в точке 1 (данные В. Е. Курьян)

F i g. 8. Projective cover in point 1 (data of V. E. Kuryan)

Определяли вегетацию озимого ячменя по космоснимкам в системе OneSoil с 7 января по 25 апреля 2022 г. в безоблачные дни (рис. 9). Далее происходило снижение индекса вегетации. До 24 февраля виден рост вегетации по

опыту на 3–6 %, а затем вегетация одинаковая.

С 12 мая происходит созревание урожая – индекс NDVI начинает снижаться, поэтому дальше не сравниваем вегетацию.



На 11.06.2022 г. средний NDVI по опыту 0,48; по контролю 0,49 (в среднем по всему полю 0,48), то есть созревание на опыте происходит быстрее на 2 %; неоднородность NDVI по опыту 0,05; по контролю 0,03 (в среднем 0,05), то есть неоднородность выше на опыте.

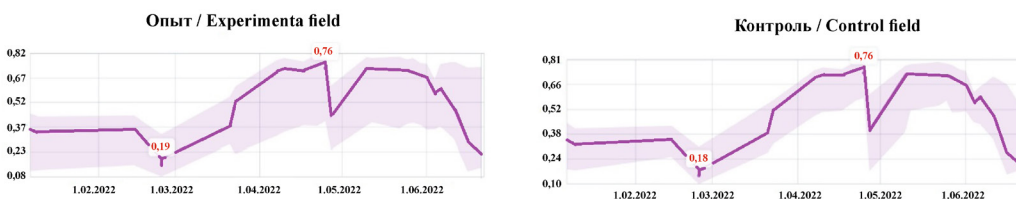
На 16.06.2022 г. средний NDVI по опыту 0,29; контроль 0,28, то есть созревание на контроле происходит быстрее на 4 %; неоднородность NDVI по опыту 0,08; по контролю 0,03, то есть неоднородность выше на опыте.

Отбор проб почвы осуществлялся 13.10.2021 г. автоматизированным пробоотборником (рис. 10) с перемещением по заданным координатам (рис. 11).

Представлены данные по показателям, гранулометрическому составу почвы, низкой обеспеченности почвы элементами питания (табл. 2, рис. 12).

Урожайность озимого ячменя определялась 3 способами: биологическим, комбайновым (данные с весовой) и с использованием картирования урожайности комбайна.

Биологическая урожайность определялась 29.06.2022 г. путем среза всей массы в рамке площадью 1 м<sup>2</sup> (размер 0,7×1,43 м по ширине колеи). Срезы производились в шести точках по следу и шести точках вне следа на опытном и контрольном участках (рис. 12).

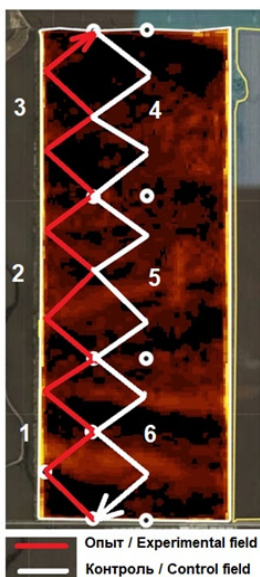


Р и с. 9. Динамика индекса вегетации по опытному и контрольному полям  
F i g. 9. Dynamics of vegetation index in experimental and control fields



Р и с. 10. Автоматизированный пробоотборник (ООО «Агро-Софт»)  
F i g. 10. Automated sampler (LLC Agro-Soft)



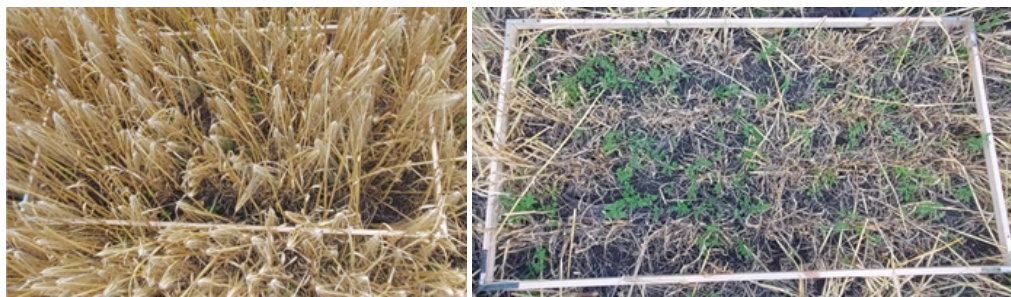


Р и с. 11. Треки отбора проб почвы  
F i g. 11. Soil sampling tracks

Т а б л и ц а 2  
T a b l e 2

**Результаты агрохимического обследования почвы (SGS Лаборатория)**  
**Results of agrochemical soil survey (SGS Laboratory)**

Показатель / Indicator	Опыт (треки) / Experience (tracks)			Контроль (треки) / Control (tracks)		
	1	2	3	4	5	6
Влажность завядания, см <sup>3</sup> воды / см <sup>3</sup> почвы / Wilt moisture, cm <sup>3</sup> water / cm <sup>3</sup> soil	0,281	0,336	0,313	0,335	0,287	0,296
Наименьшая влагоемкость, см <sup>3</sup> воды / см <sup>3</sup> почвы / Least moisture capacity, cm <sup>3</sup> of water / cm <sup>3</sup> of soil	0,443	0,487	0,467	0,486	0,448	0,455
Плотность почвы, г/см <sup>3</sup> / Soil density, g/cm <sup>3</sup>	1,209	1,184	1,201	1,187	1,207	1,203
Полная влагоемкость, см <sup>3</sup> воды / см <sup>3</sup> почвы / Total moisture capacity, cm <sup>3</sup> of water / cm <sup>3</sup> of soil	0,544	0,553	0,547	0,552	0,544	0,546
Коэффициент фильтруемости, мм/час / Filterability coefficient, mm/hour	2,939	2,792	2,558	2,712	2,853	2,784
Доступная влага см <sup>3</sup> воды / см <sup>3</sup> почвы / Available moisture cm <sup>3</sup> water / cm <sup>3</sup> soil	0,162	0,151	0,154	0,151	0,161	0,159
Глина, % / Clay, %	48,3	56,5	53,1	56,4	49,2	50,6
Ил, % / Silt, %	47,5	40,1	39,8	39,1	46,1	44,6
Песок, % / Sand, %	4,2	3,4	7,1	4,5	4,7	4,8
Обеспеченность почвы элементами питания (низкая) / Soil supply with nutrients (low):						
Орг. в-во, % / Organic matter, %	3,9	–	–	–	–	–
Zn, мг/кг / Zn, mg/kg	5,6	7,6	7,0	9,0	5,6	10,9
S, мг/кг / S, mg/kg	–	15,7	16,9	17,2	–	–
Na, мг/кг / Na, mg/kg	–	44,5	44,3	–	–	–



a) b)

Р и с. 12. Фото рамки до (а) и после (б) среза стеблей

F i g. 12. Photo of the frame before (a) and after (b) cutting the stems

Далее собранный материал нумеровался (рис. 13) и обрабатывался 30.06.2022 г. на опытной станции учебно-опытного хозяйства Кубанского ГАУ «Кубань».

В результате анализа данных после обработки получено увеличение на опытном участке в среднем по сравнению с контрольным (табл. 3):

- количество колосьев 6 %;
- длина колоса 2 %;
- масса зерен 20 колосьев 6 %;
- масса зерна с 1 м<sup>2</sup> 4 %.

Далее сравнение выполнено по следу (рис. 14а) и вне следа (рис. 14б) по опыту и контролю. Можно заметить, что большая часть показателей по следу выше на 4–24 % в опыте, вне следа, наоборот, на 2–13 % выше по контролю.

#### Обсуждение и заключение

В результате получены следующие средние данные по урожайности: биологическая (на 29.06.2022 г.) для опыта  $Y_o = 7,1$  т/га; для контроля  $Y_k = 6,8$  т/га (разница 4,4 %); комбайновая (на 4.07.2022 г.)  $Y_o = 6,9$  т/га;  $Y_k = 6,3$  т/га (разница 9,5 %).



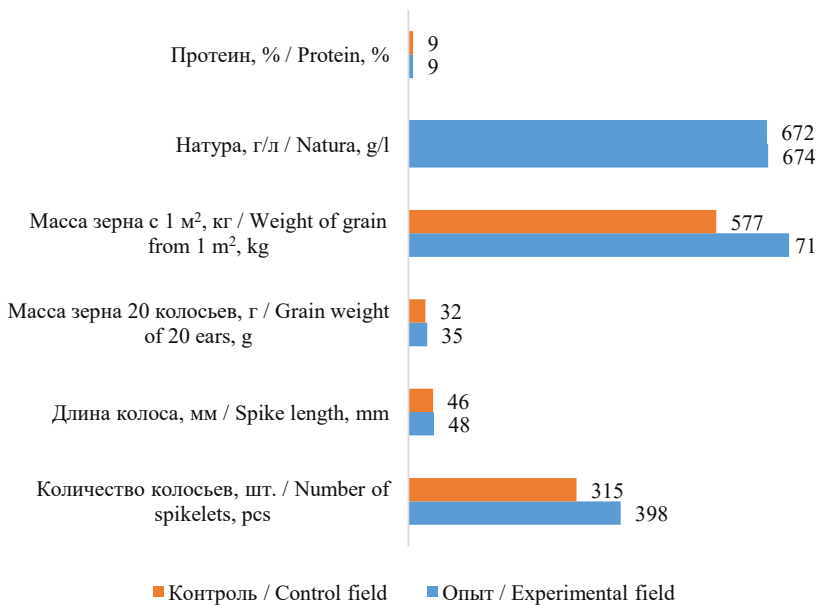
Р и с. 13. Пробы для обработки

F i g. 13. Samples for processing

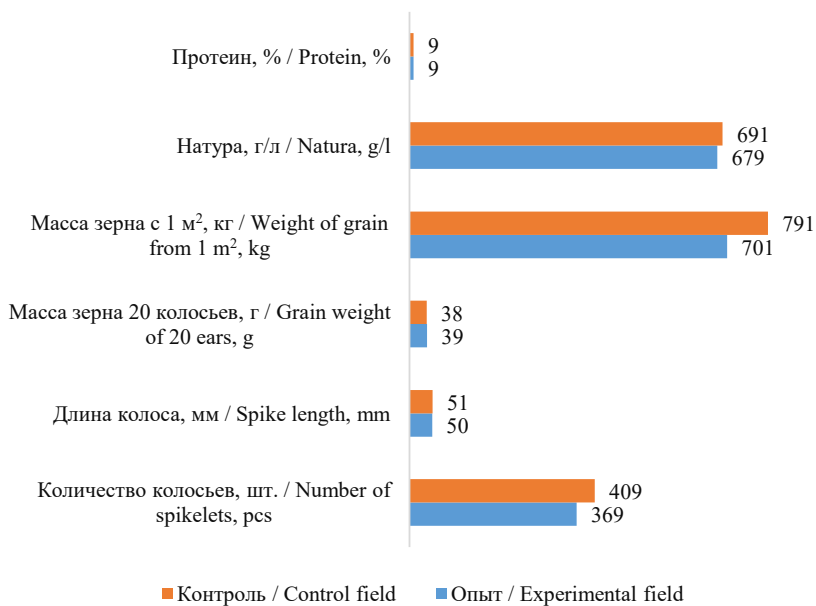
Таблица 3  
 Table 3

 Результаты обработки данных после среза растений с 1 м<sup>2</sup>  
 Results of data processing after cutting plants from 1 m<sup>2</sup>

Статистика / Statistics	Кол-во колосьев, шт. / Number of spikes, pcs.		Длина колоса, мм / Spike length, mm		Масса зерна 20 колосьев, г / Grain weight of 20 spikes, g		Масса зерна с 1 м <sup>2</sup> , кг / Weight of grain from 1 m <sup>2</sup> , kg		Влажность (Wile 55), % / Moisture (Wile 55), %		Влажность (IM 9500), % / Moisture (IM 9500), %		Натура, г/л / Nature, g/l		Протейн, % / Protein, %	
	опыт / experience	контроль / control	опыт / experience	контроль / control	опыт / experience	контроль / control	опыт / experience	контроль / control	опыт / experience	контроль / control	опыт / experience	контроль / control	опыт / experience	контроль / control	опыт / experience	контроль / control
<b>Среднее / Average</b>	<b>384</b>	<b>362</b>	<b>49</b>	<b>48</b>	<b>37</b>	<b>35</b>	<b>0,71</b>	<b>0,68</b>	<b>13,4</b>	<b>12,8</b>	<b>13,8</b>	<b>12,7</b>	<b>676</b>	<b>681</b>	<b>9,1</b>	<b>9,1</b>
Ст. откл. / Statistical deviation	37	56	10	10	3	4	0,64	0,13	0,6	0,6	0,7	0,8	21	26	0,4	0,2
Коэф. вар., % / Variation coefficient, %	10	16	20	20	9	13	9	18	4,8	5,0	5,0	6,5	3	4	4,1	2,7
Ошиб. выб. сред. / Sampling average error	11	16	2	2	1	1	0,19	0,36	0,2	0,2	0,2	0,2	6	8	0,1	0,1
Относит. ош. выб. сред., % / Relative sampling average error, %	3	4	4	5	3	4	3	5	1,4	1,4	1,4	1,9	1	1	1,2	0,8



a)



b)

Р и с. 14. Результаты обработки после среза стеблей: а) по следу; б) вне следа  
 F i g. 14. Treatment results after cutting the stems: a) along the trail; b) outside the trail

Исследования длились 10 месяцев. В итоге определено с использованием цифровых технологий, дистанционных и наземных измерений, что давление в шинах оказывает влияние на рост озимого ячменя, развитие болезней, а также урожайность. При этом заметна разница показателей по следу движения шины и вне следа. Таким образом, важным вопросом интенсификации сельскохозяйственного производства, наряду с использованием современных технологий и технических средств, высокопродуктивных

сортов и гибридов, средств защиты растений, является использование шин низкого давления.

Полученные результаты близки к исследованиям британских ученых из университета Харпера Адамса, которые проводили эксперименты в течение 9 лет на шинах низкого давления MICHELIN Ultraflex с различными технологиями обработки почвы.

Показанная в статье методика будет распространена и на другие регионы с различными почвенно-климатическими условиями.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Effects of Traffic and Tillage on Crop Yield (Winter Wheat Triticum Aestivum) and the Physical Properties of a Sandy Loam Soil [Электронный ресурс] / E. K. Smith [et al.] // American Society of Agricultural and Biological Engineers. 2014. doi: <https://doi.org/10.13031/aim.20141912652>
2. Effect of Tracks and Tyres on Soil Physical Properties in a Sandy Loam Soil [Электронный ресурс] / E. K. Smith [et al.] // American Society of Agricultural and Biological Engineers. 2014. doi: <https://doi.org/10.13031/AIM.20141912659>
3. Summary of the Effects of Three Tillage and Three Traffic Systems on Cereal Yields Over a Four-Year Rotation / R. J. Godwin [et al.] // Aspects of Applied Biology. 2017. Vol. 134. P. 233–242. doi: <https://doi.org/10.13031/AIM.201701652>
4. An Investigation into the Effect of Traffic and Tillage on Soil Properties and Crop Yields [Электронный ресурс] / E. K. Smith [et al.] // American Society of Agricultural and Biological Engineers. 2013. doi: <https://doi.org/10.13031/AIM.20131597846>
5. Исследование базовых характеристик шин сверхнизкого давления / Л. В. Бархтанов [и др.] // Труды НГТУ им. П. Е. Алексеева. 2012. № 2. С. 172–178. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17956536> (дата обращения: 10.09.2022).
6. Моделирование пневмоколесного движителя сверхнизкого давления. Расчетное исследование базовых характеристик / И. А. Соколов [и др.] // Журнал автомобильных инженеров. 2021. № 1. С. 26–29. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21971966> (дата обращения: 10.09.2022).
7. Кравченко В. А., Яровой В. Г., Меликов И. М. Характер деформирования крупногабаритных шин низкого давления движителей тракторов класса 5 // Научный журнал КубГАУ. 2017. № 132. С. 1230–1241. doi: <https://doi.org/10.21515/1990-4665-132-098>
8. Влияние величины давления воздуха в шинах колес на геометрические параметры пятна контакта при взаимодействии с опорной поверхностью / Ю. А. Ким [и др.] // Труды БГТУ. 2018. № 2. С. 308–312. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35358404> (дата обращения: 10.09.2022).
9. Сыромятников Ю. Н. Пути снижения удельного давления колесных движителей на почву // Сельское хозяйство. 2017. № 4. С. 95–103. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36297585> (дата обращения: 10.09.2022).
10. Автоматическое устройство для регулирования давления воздуха в шинах энергонасыщенных тракторов с заблокированным приводом осей / Ю. Г. Горшков [и др.] // Тракторы и сельхозмашины. 2011. Т. 78, № 12. С. 9–12. doi: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-69238>



11. Белокурченко С. А., Гейнрих И. О. Оптимизация конструктивных и эксплуатационных параметров машинно-тракторных агрегатов с учетом уплотняющего воздействия ходовых систем на почву // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2006. № 4. С. 53–58. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=10366329> (дата обращения: 10.09.2022).

12. Зырянов А. П., Пятаев М. В., Кузнецов Н. А. Снижение воздействия колес трактора на почву // Вестник КрасГАУ. 2014. № 4. С. 223–227. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21621518> (дата обращения: 10.09.2022).

13. Окунев Г. А., Астафьев В. Л., Кузнецов Н. А. Снижение последствия машинных агрегатов на почву // Тракторы и сельхозмашины. 2016. № 12. С. 43–47. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27519037> (дата обращения: 10.09.2022).

14. Экспериментальная оценка тягово-сцепных качеств широкопрофильной шины / С. Д. Зайцев [и др.] / Тракторы и сельхозмашины. 2010. Т. 77, № 8. С. 25–27. URL: [https://journals.eco-vector.com/0321-4443/article/view/68946/ru\\_RU](https://journals.eco-vector.com/0321-4443/article/view/68946/ru_RU) (дата обращения: 10.09.2022).

15. Прядкин В. И. Вибронагруженность энергосредства на шинах сверхнизкого давления // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2012. № 5. С. 29–30. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21374288> (дата обращения: 10.09.2022).

16. Тягово-сцепные качества высокоэластичных шин сверхнизкого давления / С. Д. Зайцев [и др.] // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2008. № 9. С. 29–31. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=11628396> (дата обращения: 10.09.2022).

*Поступила 19.09.2022; одобрена после рецензирования 10.10.2022; принята к публикации 31.10.2022*

*Об авторах:*

**Труфляк Евгений Владимирович**, заведующий кафедрой эксплуатации и технического сервиса, руководитель центра прогнозирования и мониторинга в области точного сельского хозяйства, автоматизации и роботизации Кубанского ГАУ (350044, г. Краснодар, ул. им. Калинина, д. 13), доктор технических наук, профессор, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4914-0309>, Researcher ID: D-1301-2018, Scopus ID: 57188716454, [trufliak@mail.ru](mailto:trufliak@mail.ru)

**Бухарцев Михаил Сергеевич**, студент 5 курса Кубанского ГАУ (350044, г. Краснодар, ул. им. Калинина, д. 13), [l0ovi@mail.ru](mailto:l0ovi@mail.ru)

**Сотников Денис Андреевич**, студент 5 курса Кубанского ГАУ (350044, г. Краснодар, ул. им. Калинина, д. 13), [inspaik1337@gmail.com](mailto:inspaik1337@gmail.com)

*Заявленный вклад авторов:*

Е. В. Труфляк – общее руководство исследованием, участие во всех этапах эксперимента, обработка и анализ данных.

М. С. Бухарцев – обзор литературы, участие во всех этапах полевых исследований, обработка полученных экспериментальных данных.

Д. А. Сотников – участие в полевых исследованиях.

*Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.*

## REFERENCES

1. Smith E.K., Misiewicz P.A., Girardello V., et al. Effects of Traffic and Tillage on Crop Yield (Winter Wheat Triticum Aestivum) and the Physical Properties of a Sandy Loam Soil. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*. 2014. doi: <https://doi.org/10.13031/aim.20141912652>

2. Smith E.K., Misiewicz P.A., Chaney K., et al. Effect of Tracks and Tyres on Soil Physical Properties in a Sandy Loam Soil. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*. 2014. doi: <https://doi.org/10.13031/AIM.20141912659>
3. Godwin R.J., Misiewicz P.A., Smith E.K., et al. Summary of the Effects of Three Tillage and Three Traffic Systems on Cereal Yields Over a Four-Year Rotation. *Aspects of Applied Biology*. 2017;134:233–242. doi: <https://doi.org/10.13031/AIM.201701652>
4. Smith E.K., Misiewicz P.A., Chaney K., et al. An Investigation into the Effect of Traffic and Tillage on Soil Properties and Crop Yields. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*. 2013. doi: <https://doi.org/10.13031/AIM.20131597846>
5. Barakhtanov L.V., Kotlyarenko V.I., Manyanin S.E., Sokolov I.A. Investigation of Base Characteristics of Tyres of Ultralow Pressure. *Trudy NGTU im. R.Ye. Alekseeva*. 2012;(2):172–178. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17956536> (accessed 10.09.2022). (In Russ., abstract in Eng.)
6. Sokolov I.A., Manyanin S.E., Barakhtanov L.V., et al. Low Pressure Pneumo Wheel Modeling. Rated Research of Basic Characteristics. *Zurnal AAI*. 2021;(1):26–29. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21971966> (accessed 10.09.2022). (In Russ., abstract in Eng.)
7. Kravchenko V.A., Yarovoy V.G., Melikov I.M. The Character of Deflection of the Oversize Tires with Low Pressure in Tractor Propulsion Units of Class 5. *Nauchnyy zhurnal KubGAU*. 2017;(132):1230–1241. (In Russ., abstract in Eng.) doi: <https://doi.org/10.21515/1990-4665-132-098>
8. Kim Yu.A., Bobrovich V.A., Voytekhovskiy B.V., Isachenkov V.S. Impact of Air Pressure Size in Tire Wheels on the Geometric Parameters of the Spot of Contact with Interaction with Support Surface. *Trudy BGTU*. 2018;(2):308–312. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35358404> (accessed 10.09.2022). (In Russ., abstract in Eng.)
9. Syromyatnikov Yu.N. [Ways to Reduce the Specific Pressure of Wheeled Vehicles on the Ground]. *Selskoe khozyaystvo*. 2017;(4):95–103. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36297585> (accessed 10.09.2022). (In Russ.)
10. Gorshkov Y.G., Chetyrkin Y.B., Bogdanov A.V., Leschenko Y.A. An Automatic Device for Air Pressure Regulation in the Tires of High Power Tractors with Locked Axles Drive. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2011;78(12):9–12. (In Russ., abstract in Eng.) doi: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-69238>
11. Belokurenko S.A., Heinrich I.O. Optimization of Constructive and Operational Parameters of Machine-Tractor Units with Consideration of Soil Compaction Action of Undercarriage Systems. *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2006;(4):53–58. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=10366329> (accessed 10.09.2022). (In Russ., abstract in Eng.)
12. Zyryanov A.P., Pyatayev M.V., Kuznetsov N.A. The Decrease of the Tractor Wheel Influence on the Soil. *Bulletin of KSAU*. 2014;(4):223–227. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21621518> (accessed 10.09.2022). (In Russ., abstract in Eng.)
13. Okunev G.A., Astafev V.L., Kuznetsov N.A. Reduction of Aftereffect of Machine Units on the Soil. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2016;(12):43–47. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27519037> (accessed 10.09.2022). (In Russ., abstract in Eng.)
14. Zaytsev S.D., Streblechenko L.S., Goncharenko S.V., Pryadkin V.I. Experimental Evaluation of Wide-Profile Tire Roadhold. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2010;77(8):25–27. Available at: [https://journals.eco-vector.com/0321-4443/article/view/68946/ru\\_RU](https://journals.eco-vector.com/0321-4443/article/view/68946/ru_RU) (accessed 10.09.2022). (In Russ., abstract in Eng.)
15. Pryadkin V.I. [Vibration Loading of Power Vehicle on Ultra-Low Pressure Tires]. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya selskogo khozyaystva*. 2012;(5):29–30. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21374288> (accessed 10.09.2022). (In Russ.)

16. Zaytsyev S.D., Goncharyenko S.V., Stryeblyechenko L.S., et al. [Traction Characteristics of Highly Elastic Ultra-Low Pressure Tires]. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2008;(9):29–31. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=11628396> (accessed 10.09.2022). (In Russ.)

*Submitted 19.09.2022; approved after reviewing 10.10.2022; accepted for publication 31.10.2022*

*About the authors:*

**Evgeny V. Truflyak**, Head of the Chair of Operation and Technical Services, Head of the Center for Forecasting and Monitoring in Precision Agriculture, Automation and Robotics, Kuban SAU (13 Kalinin St., Krasnodar 350044, Russian Federation), Dr.Sci. (Engr.), Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4914-0309>, Researcher ID: D-1301-2018, Scopus ID: 57188716454, [trufliak@mail.ru](mailto:trufliak@mail.ru)

**Mikhail S. Bukhartsev**, 5-Year Student, Kuban SAU (13 Kalinin St., Krasnodar 350044, Russian Federation), [l0ovi@mail.ru](mailto:l0ovi@mail.ru)

**Denis A. Sotnikov**, 5-Year Student, Kuban SAU (13 Kalinin St., Krasnodar 350044, Russian Federation), [inspauke1337@gmail.com](mailto:inspauke1337@gmail.com)

*Contribution of the authors:*

E. V. Truflyak – scientific guidance for the study, participation in all stages of the experiment, data processing and analysis.

M. S. Bukhartsev – literature review, participation in all stages of field studies, processing of experimental data obtained.

D. A. Sotnikov – participation in field research.

*All authors have read and approved the final manuscript.*