УДК 631.454
Код ВАК 4.1.1
https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-10-1918-1927

Аспекты дифференцированного приема агротехники с геоинформационными технологиями и устойчивой урожайностью вико-пшеничной смеси на кормовое зерно в Среднем Предуралье

Т. В. Новикова✉, **Ю. Н. Зубарев, Н. А. Зеленков**
Пермский аграрно-технологический университет имени академика Д. Н. Прянишникова
✉*E-mail: fufel1997@yandex.ru*

Аннотация. **Цель исследования** – определить эффективные параметры совместного выращивания вики посевной и яровой пшеницы в условиях Среднего Предуралья. **Актуальность** работы обусловлена необходимостью разработки научно обоснованных рекомендаций по нормам высева и оптимальным пропорциям компонентов в смешанных посевах, что позволит обеспечить стабильную урожайность при внедрении современных агротехнических решений. Эксперимент проводился в 2021–2023 гг. на базе Пермского научно-исследовательского института сельского хозяйства (филиал ПФИЦ УрО РАН) на участке с дерново-подзолистой почвой тяжелого суглинистого состава. **Методы.** В рамках исследования применялся комплексный подход с использованием трехфакторного эксперимента, в ходе которого оценивалось влияние различных параметров: дозировок удобрений, методов и норм внесения гербицидов, пропорций компонентов в посевной смеси, а также норм высева культур. Статистическая обработка полученных данных выполнялась согласно методикам Б. А. Доспехова, а оценка качества зерновых культур проводилась по общепринятым стандартам. **Результаты.** Определены оптимальные параметры возделывания: норма высева составила 1,1–2,7 млн семян на 1 га, оптимальное соотношение вики и пшеницы – 55 % к 45 %, прогнозируемая урожайность кормового зерна достигла 2–2,5 т/га, а ожидаемый урожай вики посевной – 0,9–1,3 т/га. Полученные результаты могут быть эффективно использованы в сельскохозяйственном производстве для повышения результативности смешанных посевов в условиях Среднего Предуралья. **Научная новизна.** Впервые для условий Среднего Предуралья определены оптимальные параметры совместного выращивания вики посевной и яровой пшеницы: в частности, установлены нормы высева (1,1–2,7 млн семян на 1 га) и соотношение компонентов в посевной смеси (55 % вики к 45 % пшеницы) на базе трехлетнего эксперимента и статистической обработки данных по методикам Б. А. Доспехова; при этом в регионе впервые адаптированы цифровые технологии (ГИС и ДЗЗ) для мониторинга чистых и смешанных посевов, а также успешно апробированы инновационные методы цифровой агротехники, что в совокупности формирует научно обоснованную базу для внедрения современных агротехнических решений и повышения стабильности урожайности в местных почвенно-климатических условиях.

Ключевые слова: дифференцированный прием, урожайность кормового зерна, вико-пшеничная смесь, удобрение, гербицид, инновационная агротехника, ГИС-технологии

Для цитирования: Новикова Т. В., Зубарев Ю. Н., Зеленков Н. А. Аспекты дифференцированного приема агротехники с геоинформационными технологиями и устойчивой урожайностью вико-пшеничной смеси на кормовое зерно в Среднем Предуралье // Аграрный вестник Урала. 2026. Т. 26, № 10. С. 1918–1927. https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-10-1918-1927.

Дата поступления статьи: 05.03.2026, ***дата рецензирования:*** 25.05.2026, ***дата принятия:*** 08.07.2026.

© Новикова Т. В., Зубарев Ю. Н., Зеленков Н. А., 2026

Some aspects of differentiated agricultural practices with geoinformation technologies and stable yield of vetch-wheat mixture for fodder grain in the Middle Urals

T. V. Novikova✉, **Yu. N. Zubarev, N. A. Zelenkov**
Perm Agro-Technological University named after Academician D. N. Pryanishnikov, Perm, Russia
✉*E-mail: fufel1997@yandex.ru*

Abstract. **The purpose** of the study is to determine effective parameters for the joint cultivation of common vetch and spring wheat under the conditions of the Middle Cis-Ural region. The relevance of the study is driven by the need to develop scientifically grounded recommendations on seeding rates and optimal component ratios in mixed crops, which will ensure stable yields when introducing modern agronomic solutions. The experiment was conducted in 2021–2023 at the Perm Research Institute of Agriculture (a branch of the Perm Federal Research Center, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences) on a plot with soddy-podzolic soil of heavy loam composition. **Methods.** The study employed a comprehensive approach using a three-factor experiment to evaluate the influence of various parameters: fertilizer dosages, herbicide application methods and rates, component ratios in the seed mixture, and seeding rates of the crops. Statistical processing of the obtained data was performed according to the methods of B. A. Dospekhov, and the quality of grain crops was assessed according to generally accepted standards. **Results.** Optimal cultivation parameters were determined: the seeding rate was 1.1–2.7 million seeds per 1 ha, the optimal ratio of vetch to wheat was 55 % to 45 %, the projected forage grain yield reached 2–2.5 t/ha, and the expected yield of common vetch was 0.9–1.3 t/ha. The obtained results can be effectively used in agricultural production to improve the efficiency of mixed cropping under the conditions of the Middle Cis-Ural region. **Scientific novelty.** For the first time under the conditions of the Middle Urals, the optimal parameters for the joint cultivation of common vetch and spring wheat have been determined – in particular, seeding rates (1.1–2.7 million seeds per hectare) and the ratio of components in the seed mixture (55 % vetch to 45 % wheat) have been established based on a three-year experiment and statistical data processing using B. A. Dospekhov's methods. At the same time, digital technologies (GIS and remote sensing) have been adapted for monitoring pure and mixed crops in the region for the first time, and innovative digital agrotechnical methods have been successfully tested. Taken together, this forms a scientifically grounded basis for implementing modern agrotechnical solutions and improving yield stability under the local soil and climatic conditions.

Keywords: differentiated approach, fodder grain yield, vetch-wheat mixture, fertilizer, herbicide, innovative agrotechnics, GIS technologies

For citation: Novikova T. V., Zubarev Yu. N., Zelenkov N. A. Some aspects of differentiated agricultural practices with geoinformation technologies and stable yield of vetch-wheat mixture for fodder grain in the Middle Urals. *Agrarian Bulletin of the Urals.* 2026; 26 (10): 1918–1927. https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-10-1918-1927. (In Russ.)

Date of paper submission: 05.03.2026, ***date of review:*** 25.05.2026, ***date of acceptance:*** 08.07.2026.

Постановка проблемы (Introduction)

Успешность культивирования зернофуражных культур во многом зависит от грамотного подбора и правильного соотношения компонентов в смешанном посеве. Особенно это касается комбинации бобовых и злаковых растений, где каждый компонент должен оптимально дополнять друг друга. Проведенные наблюдения за период с 2021 по 2023 год продемонстрировали устойчивые результаты урожайности. Так, средняя продуктивность вики посевной достигла 1,2 т/га, а яровая пшеница показала несколько более высокие результаты – 1,4 т/га. Эти данные свидетельствуют о перспективности совместного выращивания данных культур в рамках одной агротехнической системы [1]. Трансформация традиционного земледелия происходит за счет активного внедрения цифровых инноваций и технологий точного агроменеджмента [2]. Использование современных ГИС-систем и методов прецизионного внесения агрохимикатов существенно повышает качество управленческих решений в агросекторе, обеспечивая оптимальное расходование производственных ресурсов [3; 4]. Перспективным направлением развития сельского хозяйства явля-

© Novikova T. V., Zubarev Yu. N., Zelenkov N. A., 2026

ется создание смешанных посевов, включающих бобовые (вика) и злаковые (пшеница яровая) культуры, что позволяет усилить биологический потенциал агроценоза и улучшить качество получаемого кормового зерна [5; 6]. Комбинация передовых агротехнологий с геоинформационным обеспечением, реализующая дифференцированный подход к применению удобрений, гербицидов и определению оптимальных параметров посева бобово-злаковых композиций, становится эффективным механизмом роста экономической результативности сельскохозяйственного производства в Уральском регионе и Нечерноземной зоне России [7; 8].

Методология и методы исследования (Methods)

Полевые исследования проведены в 2021–2023 годах на дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве агрополигона Пермского НИИСХ – филиала ПФИЦ УрО РАН. Объект исследований – вика посевная сорта Мега и яровая пшеница сорта Каменка.

Схема трехфакторного полевого опыта:

Фактор А – доза применения удобрений: A_1 – ($N_{15}P_{60}K_{60}$) – среднерекомендованная (средняя) доза для бобово-злаковых смесей в Среднем Предуралье; A_2 – (NPK) – расчетная доза с использованием дифференцированного внесения (таблица 1).

Фактор В – опрыскивание гербицидом: B_1 – без гербицида (контроль); B_2 – сплошное (Линтаплант (КС), норма применения препарата 0,8 л/га); B_3 – дифференцированное (с учетом ЭПВ) и цифровой коррекцией (Линтаплант (КС), норма применения препарата 0,8 л/га).

Фактор С – соотношение компонента в посеве и норма высева (вика + пшеница), % (млн шт/га): C_1 – 100 + 0 (2,0 + 0); C_2 – 0 + 100 (0 + 6,0); C_3 – 85 + 15 (1,7 + 0,9); C_4 –70 + 30 (1,4 + 1,8); C_5 – 55 + 45 (1,1 + 2,7); C_6 – 40 + 60 (0,8 + 3,6) %. Соотношение компонента зерновой смеси принято в долях (%) от нормы высева (млн всхожих семян на 1 га) вики посевной Мега – 2 млн шт/га, яровой пшеницы Каменка – 6 млн шт/га в чистом виде (100 %). Размещение делянок систематическое в два яруса, повторность четырехкратная. Общая площадь делянок (А) – 2100 м^2, учетная – 1100 м^2; общая площадь делянки (В) – 480 м^2, учетная – 360 м^2; общая площадь (С) – 96 м^2, учетная – 60 м^2.

Основная зяблевая обработка почвы выполнена оборотным полунавесным плугом KUHN Manager C5T/5, ранней весной – боронование БЗТ-1. Минеральные удобрения внесены разбрасывателем KUHN AXIS 40.2M с предпосевной обработкой почвы двумя методами: по среднерекомендованным (средним) дозам и дифференцированным способом с ДЗЗ согласно схеме опыта. Таблица 1 иллюстрирует разницу между среднерекомендованными (средними) дозами для Пермского края и дифференцированными дозами удобрений. В зависимости от нуждаемости почвы в элементах питания были рассчитаны и внесены разные дозы минеральных удобрений.

Таблица 1

Физическая масса удобрений при внесении среднерекомендованной и расчетной дозы дифференцированным способом, среднее за 2021–2023 гг.

Норма высева / соотношение компонента вики и пшеницы, % (С)	Применение удобрений и доза, кг/га (А, В)					
	Дифференцированное, расчетная доза с цифровой коррекцией ДЗЗ			Сплошное, среднерекомендованная доза		
	Азот	Фосфор	Калий	Азот	Фосфор	Калий
100 + 0	53,02	157,27	9,92	43,23	113,21	111,11
0 + 100	52,16	160,63	12,19	43,23	113,21	111,11
85 + 15	54,60	150,27	4,36	43,23	113,21	111,11
70 + 30	51,38	166,02	0,67	43,23	113,21	111,11
55 + 45	50,83	163,99	0,67	43,23	113,21	111,11
40 + 60	50,90	163,33	7,42	43,23	113,21	111,11
Среднее	52,15	160,25	5,87	43,23	113,21	111,11

Table 1

The physical mass of fertilizers when applying the average recommended and calculated dose in a differentiated manner, the average for 2021–2023

Seeding rate/ratio of vetch and wheat components, % (C)	*Fertilizer application and dose, kg/ha (A, B)*					
	Differentiated, calculated dose with digital remote sensing correction			*Solid, medium-recommended dose*		
	Nitrogen	*Phosphorus*	*Potassium*	*Nitrogen*	*Phosphorus*	*Potassium*
100 + 0	*53.02*	*157.27*	*9.92*	*43.23*	*113.21*	*111.11*
0 + 100	*52.16*	*160.63*	*12.19*	*43.23*	*113.21*	*111.11*
85 + 15	*54.60*	*150.27*	*4.36*	*43.23*	*113.21*	*111.11*
70 + 30	*51.38*	*166.02*	*0.67*	*43.23*	*113.21*	*111.11*
55 + 45	*50.83*	*163.99*	*0.67*	*43.23*	*113.21*	*111.11*
40 + 60	*50.90*	*163.33*	*7.42*	*43.23*	*113.21*	*111.11*
Average	*52.15*	*160.25*	*5.87*	*43.23*	*113.21*	*111.11*

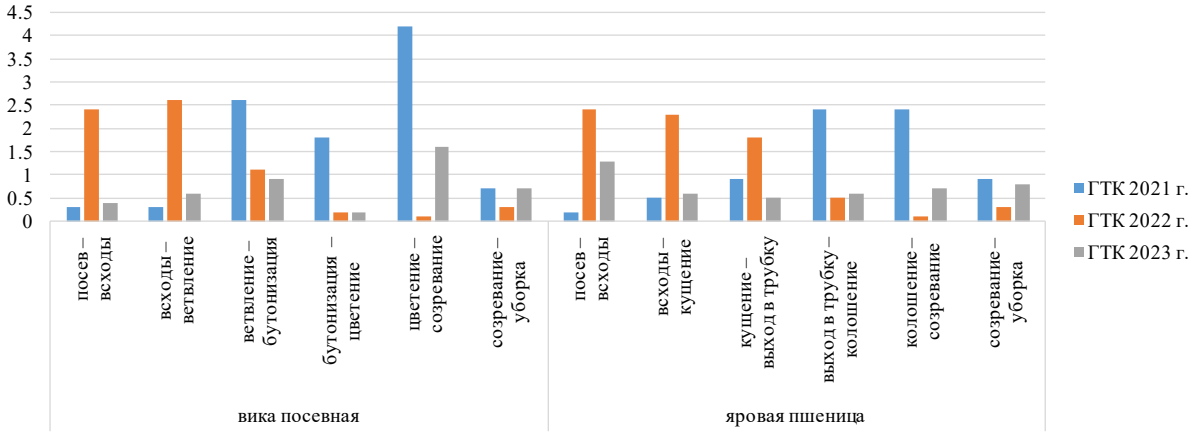


Рис. 1. Гидротермические и фенологические факторы вегетации агроценозов вики посевной и яровой пшеницы, среднее за 2021–2023 гг.

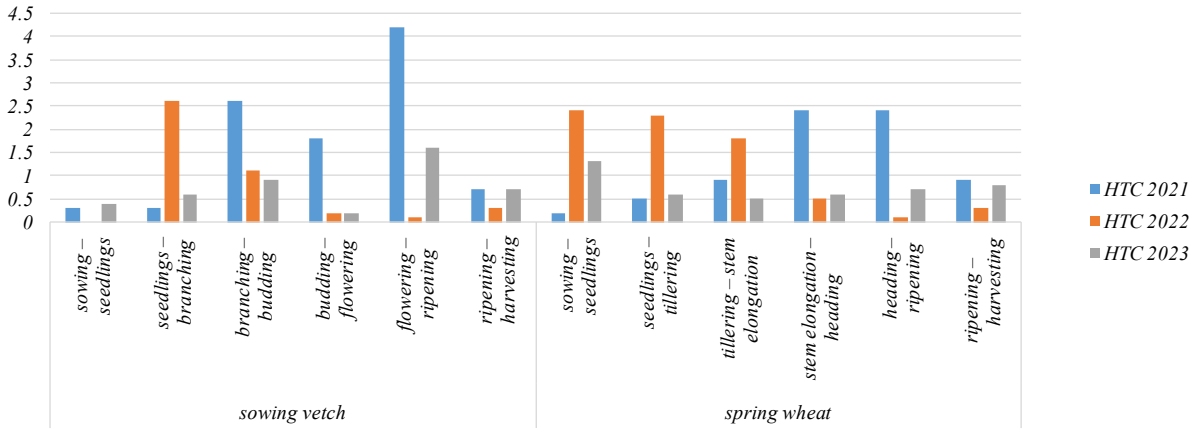


Fig. 1. Hydrothermal and phenological factors of vegetation in the agro-cenoses of vetch and spring wheat, average for 2021–2023

В ходе подготовки экспериментальных участков была реализована комплексная система агротехнических мероприятий. Первоначальным этапом послужила предпосевная обработка почвы, выполненная с помощью культиватора КБМ-8П. Посев сельскохозяйственных культур (как монокультуры, так и смешанные посевы вики с пшеницей) производился сеялкой Amazone d9 4000. На следующий день после посева была проведена операция прикатывания почвы с использованием кольчато-шпорового катка модели 3-ККШ-6. Борьба с сорной растительностью осуществлялась путем применения гербицидного препарата «Линтаплант (КС)» в дозировке 0,8 л/га. Распыление выполнялось опрыскивателем ОП-2000. Перед обработкой специалисты проводили тщательный мониторинг сорняков, фиксируя их количество и видовой состав на всех участках, включая контрольные делянки. Решение о необходимости дифференцированного внесения гербицида принималось на основе сравнения фактического количества сорняков с установленным экономическим порогом вредоносности. При превышении допустимой нормы на определенной площади проводилось опрыскивание с сохранением стандартных параметров расхода препарата и рабочей жидкости [9]. Внедрение цифровых технологий в агротехнические процессы осуществлялось посредством современных геоинформационных инструментов. В качестве основного программного обеспечения использовалась система QGIS, позволяющая проводить комплексный анализ сельскохозяйственных угодий. Для оценки состояния растительности применялся метод расчета вегетационного индекса NDVI, базирующегося на данных мультиспектральной съемки спутников Sentinel-2. Обработка полученных материалов проводилась с привлечением функционала программы ArcGIS и встроенного растрового калькулятора. Расчет индекса NDVI выполнялся по классической формуле, учитывающей разницу и сумму показателей отражения в различных спектральных диапазонах: Индекс вегетации NDVI рассчитывается по формуле NDVI = (NIR – RED) / (NIR + RED), в которой NIR представляет показатели ближнего ИК-диапазона, а RED соответствует значениям красного диапазона спектрограммы [10].

Полевой опыт проведен в соответствии методикой опытного дела [11]. Исследование физико-механических характеристик почвенного покрова проводилось в соответствии с общепринятыми методологическими подходами. В ходе анализа определялись структурные показатели грунта, включая

мегаструктурные элементы размером более 10 мм, макроструктурные частицы от 10 до 0,25 мм и микроструктурные компоненты в диапазоне от 0,25 до 0,01 мм. Дополнительно оценивались параметры почвенного сложения: особенности строения, структурное состояние и процентное содержание пор. Также производился замер запасов доступной для растений влаги в почвенном профиле [12]. В процессе исследования проводился комплексный анализ состояния посевов, включающий оценку основных показателей. Определяли полевую всхожесть культур и плотность их размещения на единице площади, одновременно оценивая общее состояние каждой отдельно взятой растительной единицы в рамках посева. Исследования проводились в строгом соответствии с методическими указаниями по проведению государственных сортоиспытаний сельскохозяйственных культур, что обеспечило возможность всестороннего анализа морфологических характеристик растений и детального исследования формирования урожайности. Оценка степени засоренности посевов осуществлялась посредством количественно-весового метода на всех ключевых этапах вегетационного периода – от начала до завершения развития растений [13]. Структуру урожайности анализировали по методике [14].

Результаты (Results)

Климатические условия в период активной вегетации культур существенно различались по годам проведения эксперимента (рис. 1). Климатические условия 2021 года характеризовались превышением температурных норм над многолетней статистикой в сочетании с недостаточным количеством осадков. В отличие от этого, 2022 год продемонстрировал более подходящие для сельскохозяйственных культур показатели: температурный режим находился в пределах оптимума, а уровень увлажнения был достаточным на всех важнейших этапах вегетации растений (гидротермический коэффициент достиг значения 1,4). Важно отметить, что в ключевой фазе развития агрокультур – в период формирования куста пшеницы и развития побегов вики – наблюдалась устойчивая динамика роста растений, несмотря на существенные различия погодных условий в период 2021–2023 годов (средний гидротермический коэффициент стабилизировался на отметке 1,3). Данный показатель указывает на оптимальное насыщение почвы влагой, что формирует подходящие предпосылки как для активного роста сельскохозяйственных растений, так и для распространения сорняков. Однако в 2023 году погодные факторы сложились неблагоприятным образом, существенно затруднив развитие зерновых культур.

Таблица 2

Урожайность зерна вико-пшеничной смеси в зависимости от дифференцированного приема агротехники и ГИС-технологий, среднее за 2021–2023 гг.

Применение		Соотношение компонента вики и пшеницы (С)						Среднее по фактору В	Отклонения
Удобрений (А)	Гербицида (В)	Вика 100 + 0 %	Пшеница 0 + 100 %	Вика + пшеница (85 + 15 %)	Вика + пшеница (70 + 30 %)	Вика + пшеница (55 + 45 %)	Вика + пшеница (40 + 60 %)		
Сплошное, среднерасчетная доза ($N_{15}P_{60}K_{60}$)	Без гербицида (контроль)	1,84	2,08	1,39	1,83	1,87	1,83	1,81	–
	Сплошное	1,31	2,24	1,71	1,67	1,77	1,75	1,74	–0,06
	Дифференцированное	1,01	1,82	1,16	1,49	1,70	1,55	1,46	–0,35
Дифференцированное, цифровая коррекция дозы	Без гербицида (контроль)	1,17	1,49	1,42	1,64	1,69	1,88	1,55	–0,26
	Сплошное	0,77	1,61	1,14	1,34	1,46	1,59	1,32	–0,49
	Дифференцированное	1,05	1,56	1,19	1,55	1,63	1,53	1,42	–0,39
	Среднее по фактору С	1,19	1,80	1,34	1,59	1,69	1,69	1,55	–
	Отклонения	–	0,61	0,14	0,39	0,49	0,50	–	–
	$НСР_{05}$								–
	Главных эффектов	Фактора А						0,09	
		Фактора В и взаимодействия АВ						0,10	
		Фактора С и взаимодействия АС						0,08	
	Частных различий	I порядка						0,39	
		II порядка						0,33	
		III порядка						0,19	

Table 2

Grain yield of vetch-wheat mixture depending on the differentiated use of agricultural machinery and GIS technologies, the average for 2021–2023

Application		The ratio of the component of vetch and wheat (C)							
Fertilizers (A)	**Herbicide (B)**	**Vetch 100 + 0 %**	**Wheat 0 + 100 %**	**Vetch + wheat (85 + 15 %)**	**Vetch + wheat (70 + 30 %)**	**Vetch + wheat (55 + 45 %)**	**Vetch + wheat (40 + 60 %)**	**The average of the factor B**	**Deviations**
Solid, average calculated dose ($N_{15}P_{60}K_{60}$)	*Herbicide-free (control)*	*1.84*	*2.08*	*1.39*	*1.83*	*1.87*	*1.83*	*1.81*	*–*
	Solid	*1.31*	*2.24*	*1.71*	*1.67*	*1.77*	*1.75*	*1.74*	*–0.06*
	Differentiated	*1.01*	*1.82*	*1.16*	*1.49*	*1.70*	*1.55*	*1.46*	*–0.35*
Differentiated, digital dose adjustment	*Herbicide-free (control)*	*1.17*	*1.49*	*1.42*	*1.64*	*1.69*	*1.88*	*1.55*	*–0.26*
	Solid	*0.77*	*1.61*	*1.14*	*1.34*	*1.46*	*1.59*	*1.32*	*–0.49*
	Differentiated	*1.05*	*1.56*	*1.19*	*1.55*	*1.63*	*1.53*	*1.42*	*–0.39*
	The average of the factor C	*1.19*	*1.80*	*1.34*	*1.59*	*1.69*	*1.69*	*1.55*	*–*
	Deviations	*–*	*0.61*	*0.14*	*0.39*	*0.49*	*0.50*	*–*	*–*
	LSD_{05}								*–*
	Main effects	*Factor A*						*0.09*	
		Factor B and interaction AB						*0.10*	
		Factor C and AC interactions						*0.08*	
	Particular differences	*I order*						*0.39*	
		II order						*0.33*	
		III order						*0.19*	

Результаты эксперимента показали существенную разницу в продуктивности различных вариантов посева. Наивысшая продуктивность посевов была зафиксирована в варианте с одиночной культурой яровой пшеницы, где применялось стандартное удобрение и гербицидная обработка – 2,24 т/га. Минимальные показатели урожайности продемонстрировала чистая культура вики при рекомендованной норме удобрений и дифференцированном применении гербицидов – лишь 1,02 т/га. Столь значительное снижение урожайности обусловлено массовым полеганием растений, что убедительно доказывает преимущества технологии смешанных посевов (таблица 2).

В ходе исследований удалось достичь запланированных показателей урожайности только в 2022 году: в чистых посевах вики посевной был получен результат 3,28 т/га, а яровая пшеница продемонстрировала впечатляющую продуктивность 3,78 т/га. Наиболее эффективное сочетание компонентов в смешанных посевах установлено при распределении 55 % на долю вики и 45 % на пшеницу при общей норме высева 1,1 + 1,7 млн семян на 1 га. Наилучшие показатели урожайности наблюдались как при использовании стандартных норм внесения удобрений, так и при других вариантах подкормки в сочетании с дифференцированным опрыскиванием гербицидом (2,75 т/га), так и при комплексном дифференцированном внесении средств защиты растений (2,49 т/га).

Применение современных технологий, включая ГИС-системы и методы дистанционного зондирования, позволило провести детальный сравнительный анализ эффективности как традиционных, так и инновационных агротехнических приемов при возделывании как чистых, так и смешанных посевов. Трехлетние исследования (2021–2023) продемонстрировали наиболее высокую среднюю урожайность вико-пшеничной смеси в варианте с соотношением компонентов 55 % вики и 45 % пшеницы. Показатели достигли 1,46–1,64 т/га при доле вики 80–90 %. Наилучшие результаты были получены при использовании технологий цифровой коррекции. Результативность посевов сохранялась как при точечном внесении удобрений в комбинации с общей обработкой гербицидами, так и при использовании современных цифровых технологий, позволяющих точно регулировать дозировку удобрений и расход гербицидных препаратов.

Анализ структуры урожая показал, что на одном растении вики посевной формировалось в среднем 2–4 семени, тогда как в колосе яровой пшеницы созревало около 20 зерен. При изменении пропорций компонентов смеси наблюдалось следующее: снижение доли бобовых культур уменьшало количество стеблей, но не влияло на число семян в бобе, в то время как увеличение доли пшеницы способствовало росту числа продуктивных стеблей и, соответственно, общего количества зерен.

Проведенный анализ результатов трехлетнего исследования (2021–2023) выявил значительное влияние способа внесения удобрений на массу тысячи семян. При использовании дифференцированного подхода с применением дистанционного зондирования масса тысячи семян вики посевной достигала 75,4–79,3 г, а у яровой пшеницы – 36,5–44,3 г. Для сравнения: при стандартной дозировке эти показатели составляли 68,5–70,3 г для вики и 33,4–36,9 г для пшеницы. Особенно заметным оказалось преимущество инновационных методов: показатели массы тысячи семян продемонстрировали существенный рост: у вики посевной зафиксировано превышение над контролем на 10–13 %, а у яровой пшеницы – на 9–20 %. Максимальные значения данного параметра были получены при интегрированном использовании технологий точечного внесения удобрений совместно с целенаправленной гербицидной обработкой посевов. Несмотря на возможное незначительное снижение урожайности, такой подход существенно улучшал качество зерна, что положительно сказывалось на экономической эффективности производства.

Таким образом, внедрение цифровых технологий коррекции агротехнических приемов с использованием дистанционного зондирования демонстрирует высокую эффективность как в плане повышения урожайности, так и улучшения качественных показателей зерновой продукции.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Анализ трехлетних данных (2021–2023) показал, что применение различных методов защиты растений обеспечило умеренную эффективность борьбы с сорной растительностью. В посевах как чистых, так и смешанных культур (вика с пшеницей) при использовании как сплошного, так и дифференцированного внесения гербицидов и удобрений достигалось снижение численности сорняков на 20 %. В ходе мониторинга фитосанитарного состояния посевов установлено, что до проведения химической защиты в агроценозе вико-пшеничной смеси регистрировалось значительное засоренность (38–41 сорный экземпляр на 1 м^2). Применение гербицидных препаратов обеспечило существенное снижение численности сорной растительности, сократив показатель почти вдвое – до 18–19 растений на 1 м^2. Особого внимания заслуживает структура засоренности: доминирующую позицию занимали многолетние сорные виды, представленные 8–11 особями на 1 м^2, что соответствовало 44–58 % от общей численности сорной флоры. Среди многолетников преимущественно встречались такие виды, как пырей ползучий и осот полевой, способные к активному вегетативному размножению. Согласно действующим агротехническим нормативам, определяющим критические пороги вредоносности, экономически опасным уровнем считается присутствие 3–6 экземпляров многолетних и 10–18 особей малолетних сорных растений на 1 м^2. Полученные данные свидетельствуют о высокой эффективности примененной системы защиты, позволившей снизить численность сорняков до показателей, не оказывающих существенного негативного влияния на урожайность сельскохозяйственных культур [15; 16].

Благоприятные погодные условия сезона – теплая и умеренно влажная погода – привели к значительному зарастанию посевов сорной растительностью. Исходная плотность сорняков достигала 56–68 экземпляров на 1 м^2, однако благодаря применению как сплошной, так и дифференцированной обработки гербицидами удалось снизить этот показатель в 3–4 раза — до 18–23 растений на 1 м^2. При этом доля многолетних видов составляла 30–37 % от общего количества. Комплексный подход к борьбе с сорняками, объединяющий адаптивные агротехнические приемы с использованием геоинформационных систем (ГИС), показал высокую эффективность и технологичность благодаря возможности точечного воздействия на проблемные участки при оптимизации затрат и минимизации экологического влияния. При этом важно отметить, что в условиях контрастной погоды с резкими температурными колебаниями и дефицитом влаги биологическая активность почвенной микрофлоры оставалась на низком уровне (7–18 %), что связано с замедлением метаболических процессов в микробных сообществах, включая азотфиксирующие бактерии и деструкторы органического вещества, и негативно влияет на разложение растительных остатков и формирование плодородного слоя почвы, требуя особого внимания при планировании агротехнических мероприятий. Проведенные трехлетние исследования (2021–2023) позволили определить наиболее эффективные параметры посева вико-пшеничной смеси. Оптимальной признана норма высева 1,1 + 2,7 млн семян на 1 га при соотношении компонентов 55 % вики и 45 % пшеницы. При таком подходе урожайность зерновой продукции достигала 1,46–1,87 т/га, что соответствовало 73–75 % от расчетного показателя. Максимальные значения плановой урожайности в диапазоне 2,49–2,75 т/га удалось получить только в 2022 году благодаря благоприятным погодным условиям.

По итогам трехлетнего периода наблюдений (2021–2023) установлено, что достижение максимальных значений средней урожайности обусловлено применением дифференцированных подходов к внесению удобрений. При традиционном способе внесения расчетной нормы удобрений без применения средств защиты растений урожайность составила 1,87 т/га. В то же время применение современных технологий, включающих дифференцированное внесение удобрений с использованием цифровых систем корректировки в сочетании с гербицидной обработкой, обеспечило несколько более

низкий результат – 1,64 т/га. Такая разница может быть обусловлена особенностями распределения питательных веществ и спецификой воздействия гербицидных препаратов на культурные растения. Внедрение современных цифровых технологий управления посевами, основанных на анализе данных дистанционного зондирования и применении геоинформационных систем (ГИС), демонстрирует двойную эффективность.

Помимо существенной оптимизации затрат на агрохимикаты за счет точечного внесения удобрений и гербицидов, наблюдается заметное улучшение качественных характеристик урожая. Так, масса 1000 семян у вики посевной увеличивается на 10–13 % (75,37–79,29 г), а у яровой пшеницы – на 9–20 % (36,46–44,29 г). Подобный эффект достигается благодаря точному соблюдению норм внесения удобрений и своевременному проведению защитных мероприятий, что создает оптимальные условия для формирования полноценного семенного материала.

В ходе трехлетних исследований (2021–2023) была оценена эффективность различных методов защиты посевов от сорной растительности. Обработка посевов препаратом «Линтаплант (КС)» в концентрации 0,8 л/га, проведенная как сплошным, так и дифференцированным методом, обеспечила высокоэффективное подавление сорной растительности в агроценозе вики и пшеницы. Количество сорных растений снизилось вдвое – с исходных 38–41 до 18–19 экземпляров на 1 м^2. Такой результат свидетельствует о высокой биологической эффективности гербицида и подтверждает целесообразность его применения в обеих технологиях внесения, что особенно актуально в условиях современной интенсификации сельскохозяйственного производства. При использовании дифференцированного подхода к внесению удобрений и гербицидов с цифровой коррекцией в посевах вико-пшеничной смеси (соотношение 55 % + 45 %) наблюдалось снижение засоренности в 2,2 раза – с 37–44 до 17–18 растений на 1 м^2.

Что касается влагообеспеченности, то в начале вегетационного периода 2022 и 2023 годов запасы продуктивной влаги составляли 19,1–44,1 мм, что существенно превышало показатели 2021 года (4,73–35,9 мм). К окончанию вегетационного периода наблюдалось значительное уменьшение запасов продуктивной влаги в почве. Показатели снизились до 7,4–21,6 мм в первом случае и до 16,1–22,8 мм во втором, что характерно для завершающей фазы вегетации при естественном испарении и потреблении влаги растениями. Подобная динамика влагозапасов является типичной для данного периода развития культур и свидетельствует о нормальном ходе вегетации при условии своевременного обеспечения растений водой в критические фазы развития. В 2021 году, несмотря на удовлетворительные начальные показатели влагозапасов, к концу вегетации они опустились до минимальных значений – 8,5–13,9 мм.

В результате трехлетнего исследования (2021–2023) была разработана и апробирована наиболее эффективная технология выращивания смеси вики с пшеницей. Оптимальные параметры технологии включают норму высева 1,1 + 1,7 млн всхожих семян на 1 га при соотношении культур 55 % вики и 45 % пшеницы. Применение дифференцированных норм удобрений и гербицидов с цифровой корректировкой позволило достичь максимальной экономической отдачи. Экономические показатели данной технологии впечатляют: уровень рентабельности достиг 43–49 % при себестоимости продукции 10 828–11 381 руб/т (10,8–11,4 руб/кг). Это на 11 % экономичнее по сравнению со сплошной системой внесения удобрений без применения гербицидов, где себестоимость составляла 12 157 руб/т (12,2 руб/кг) при рентабельности 35 %. Примечательно, что полный отказ от гербицидной обработки приводит лишь к незначительному снижению себестоимости продукции (в диапазоне 10 828–12 157 руб/т), что не компенсирует потерю в качестве и урожайности, также приводит к серьезной проблеме – сильной засоренности посевов (27–71 сорное растение на 1 м^2), причем 56–59 % из них – многолетние виды. Применение технологии дифференцированного внесения удобрений и гербицидов на основе данных дистанционного зондирования демонстрирует существенную экономическую эффективность. Материальные затраты при таком подходе удается снизить на 10–30 %, что, в свою очередь, способствует увеличению рентабельности производства на 10–15 %. Подобная оптимизация расходов достигается за счет точного распределения агрохимикатов с учетом реальных потребностей культур на конкретных участках поля, что позволяет избежать как перерасхода средств, так и негативного воздействия на окружающую среду.

Библиографический список

1. Жученко А. А. Ресурсный потенциал производства зерна в России. Москва: Агрорус, 2004. 1111 с.

2. Захарова А. Н. Влияние сорта, азота и нормы высева на урожайность зерна бобово-ячменных смесей в Предуралье: автореф. дис. … канд. с.-х. наук. Пермь, 2009. 18 с.

3. Зубарев Ю. Н., Фомин Д. С., Новикова Т. В., Полякова С. С., Фомин Дм. С. Применение данных дистанционного зондирования земли с элементами точного земледелия при возделывании бобово-злаковых смесей с разным соотношением компонентов // Пермский аграрный вестник. 2023. № 1 (41). С. 20–28. DOI: 10.47737/2307-2873_2023_41_20.

4. Косолапов В. М., Гаганов А. П., Зверкова З. Н., Винжега Л. Н. Эффективность использования вики в рационах цыплят-бройлеров // Зернобобовые и крупяные культуры. 2014. № 2 (10). С. 100–104. DOI: 10.24411/2309-348X-2014-10201.

5. Линков С. А., Акинчин А. В., Колесниченко Е. Ю., Морозова Т. С. Основные аспекты научно-технологического развития АПК Российской Федерации // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2020. № 4 (28). С. 150–161. DOI: 10.33305/221-922X.2020.28.4.150.

6. Лыскова И. В., Суховеева О. Э., Лыскова Т. В. Влияние локального изменения климата на продуктивность яровых зерновых культур в условиях Кировской области // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2021. № 22 (2). С. 244–253. DOI: 10.30766/2072-9081.2021.22.2.244-253.

7. Набоков В. И., Волков В. И., Некрасов К. В. Агропромышленный комплекс Пермского края на современном этапе развития // Вопросы управления. 2019. № 6 (61). С. 170–177. DOI: 10.22394/2304-3369-2019-6-170-177.

8. Новикова Т. В., Фомин Д. С., Зубарев Ю. Н. Сравнительная оценка методики дифференцированного внесения удобрений с элементами NDVI под предпосевную обработку почвы на однолетнем бобово-пшеничном агрофитоценозе в Среднем Предуралье // Технологии земледелия и защиты растений: интеллектуальные, инновационные и цифровые ресурсы: сборник трудов II Всероссийской научно-практической конференции, посвящённой 95-летию Заслуженного деятеля науки РФ, доктора сельскохозяйственных наук, профессора М. Н. Гуренева. Пермь, 2021. С. 95–98. DOI: 10.37568/2658-705X.2021.2.12.

9. Новикова Т. В., Зубарев Ю. Н., Фомин Д. С. Возделывание вики посевной и яровой пшеницы в чистом и смешанном посеве с разным соотношением компонентов и применением данных дистанционного зондирования с цифровой коррекцией агротехнических приемов в Среднем Предуралье // Пермский аграрный вестник. 2024. № 1 (42). С. 24–32. DOI: 10.47737/2307-2873_2024_42_24.

10. Труфляк Е. В., Курчено Н. Ю. Точное сельское хозяйство: цифровые технологии в АПК // Новые технологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности с использованием электрофизических факторов и озона: материалы XII Международной научно-практической конференции. Ставрополь, 2018. С. 136–138. DOI: 10.37568/agrus.2018.12.01.022.

11. Труфляк Е. В., Кулак А. А. Эффективность использования беспилотной технологии внесения удобрений и средств защиты растений при возделывании озимого ячменя // ЕГИ. 2022. № 44 (6). С. 314–318. DOI: 10.22314/2618-4117-2022-44-6-314-318.

12. Gulyanov Yu. A. Scientific bases of principles estimating a state of the vegetation cover in steppe agrocenoses using innovative methods of smart agriculture // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 817. DOI: 10.1088/1755-1315/817/1/012040.

13. Gushchina V. A., Nikolskaya E. O., Lobanova N. Yu. Change in indicators of photosynthetic activity of Echinacea purpurea seedlings in the second year of life // Plant Archives. 2021. Vol. 21, No. 1. Pp. 467–472. DOI: 10.51470/PLANTARCHIVES.2021.v21.S1.003.

14. Hawkesford M. J. Malcolm. Reducing the reliance on nitrogen fertilizer for wheat production // Journal of Cereal Science. 2013. No. 59. DOI: 10.1016/j.jcs.2013.12.001.

15. Rakhimova O. V., Khramoy V. K., Sikharulidze T. D., Yudina I. N. Influence of nitrogen fertilizers on protein productivity of vetch-wheat grain under different water supply conditions // Caspian Journal of Environmental Sciences. 2021. Vol. 19, No. 5. Pp. 951–954. DOI: 10.22124/cjes.2021.5273.

16. Derepaskin A. I., Polishshuk Yu. V., Shayakhmetov A. I., et al. Influence of parallel driving systems and differentiated fertilizer application on the efficiency of using machine and tractor units in the southern chernozem of North Kazakhstan // Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis. 2023. Vol. 71, No. 1. Pp. 43–51. DOI: 10.11118/actaun.2023.004.

Об авторах:

Татьяна Владиславовна Новикова, кандидат сельскохозяйственных наук, кафедры агробиотехнологий, Пермский аграрно-технологический университет имени академика Д. Н. Прянишникова, Пермь, Россия; ORCID 0000-0002-5765-7439, AuthorID 1071010. *E-mail: fufel1997@yandex.ru*

Юрий Николаевич Зубарев, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры агробиотехнологий, главный научный сотрудник Управления научной и инновационной деятельности, Пермский аграрно-технологический университет имени академика Д. Н. Прянишникова, Пермь, Россия;
ORCID 0000-0002-6049-3244, AuthorID 522714. *E-mail: yn-zubarev@mail.ru*

Никита Александрович Зеленков, аспирант кафедры агробиотехнологий, Пермский аграрно-технологический университет имени академика Д. Н. Прянишникова, Пермь, Россия;
ORCID 0000-0001-5560-2242, AuthorID 1070881. *E-mail: zelenkovn222@mail.ru*

References

1. Zhuchenko A. A. *Resource potential of grain production in Russia*. Moscow: Agrorus, 2004. 1111 p. (In Russ.)
2. Zakharova A. N. *The influence of variety, nitrogen and seeding rate on grain yield of legume-barley mixtures in the Urals*: *abstract of the dissertation … candidate of agricultural sciences.* Perm, 2009. 18 p. (In Russ.)
3. Zubarev Yu. N., Fomin D. S., Novikova T. V., Polyakova S. S., Fomin Dm. S. Application of earth remote sensing data with the precision agriculture elements in the legume-cereal mixtures cultivation with different ratios of components. *Perm Agrarian Journal*. 2023; 1 (41): 20–28. (In Russ.)
4. Kosolapov V. M., Gaganov A. P., Zverkova Z. N., Vinzhega L. N. The effectiveness of the use of vetch in the diets of broiler chickens. *Leguminous and Cereal Crops*. 2014; 2 (10): 100–104. (In Russ.)
5. Linkov S. A., Akinchin A. V., Kolesnichenko E. Y., Morozova T. S. Basic aspects of scientific and technological development of the agro-industrial complex of the Russian Federation. *Innovations in Agriculture: Problems and Prospects*. 2020; 4 (28): 150–161. (In Russ.)
6. Lyskova I. V., Sukhoveeva O. E., Lyskova T. V. The influence of local climate change on the productivity of spring grain crops in the conditions of the Kirov region. *Agrarian Science of the Euro-North-East*. 2021; 22 (2): 244–253. (In Russ.)
7. Nabokov V. I., Volkov V. I., Nekrasov K. V. Agroindustrial complex of Perm Krai at the present stage of development. *Management Issues*. 2019; 6 (61): 170–177. (In Russ.)
8. Novikova T. V., Fomin D. S., Zubarev Yu. N. Comparative assessment of differentiated fertilizer application methods with NDVI elements for pre-sowing soil treatment in annual legume-wheat agrophytocenosis in the Middle Urals. *Proceedings of the II All-Russian Scientific and Practical Conference "Agricultural Technologies and Crop Protection: Intellectual, Innovative and Digital Resources", dedicated to the 95th anniversary of Mikhail N. Gurenev.* Perm, 2021. Pp. 95–98. (In Russ.)
9. Novikova T. V., Zubarev Yu. N., Fomin D. S. Cultivation of common vetch and spring wheat in pure and mixed crops with different component ratios and application of remote sensing data with digital correction of agrotechnical practices in the Middle Urals. *Perm Agrarian Journal*. 2024; 1 (42): 24–32. (In Russ.)
10. Truflyak E. V., Kurcheno N. Yu. Precision agriculture: digital technologies in agro-industrial complex. *New technologies in agriculture and food industry using electrophysical factors and ozone: materials of the XII International Scientific and Practical Conference.* Stavropol, 2018. Pp. 136–138. (In Russ.)
11. Truflyak E. V., Kulak A. A. Efficiency of using unmanned fertilizer and crop protection products application technology in winter barley cultivation. *EGI*. 2022; 44 (6): 314–318. (In Russ.)
12. Gulyanov Yu. A. Scientific bases of principles estimating a state of the vegetation cover in steppe agrocenoses using innovative methods of smart agriculture. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021; 817. DOI: 10.1088/1755-1315/817/1/012040.
13. Gushchina V. A., Nikolskaya E. O., Lobanova N. Yu. Change in indicators of photosynthetic activity of Echinacea purpurea seedlings in the second year of life. *Plant Archives*. 2021; 21 (1): 467–472. DOI: 10.51470/PLANTARCHIVES.2021.v21.S1.003.
14. Hawkesford M. J. Reducing the reliance on nitrogen fertilizer for wheat production. *Journal of Cereal Science*. 2013; 59. DOI: 10.1016/j.jcs.2013.12.001.
15. Rakhimova O. V., Khramoy V. K., Sikharulidze T. D., Yudina I. N. Influence of nitrogen fertilizers on protein productivity of vetch-wheat grain under different water supply conditions. *Caspian Journal of Environmental Sciences*. 2021; 19 (5): 951–954. DOI: 10.22124/cjes.2021.5273.
16. Derepaskin A. I., Polischshuk Yu. V., Shayakhmetov A. I., et al. Influence of parallel driving systems and differentiated fertilizer application on the efficiency of using machine and tractor units in the Southern Chernozem of North Kazakhstan. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*. 2023; 71 (1): 43–51. DOI: 10.11118/actaun.2023.004.

Authors' information:

Tatyana V. Novikova, candidate of agricultural sciences, department of agrobiotechnology, Perm State Agro-Technological University named after Academician D. N. Pryanishnikov, Perm, Russia;
ORCID 0000-0002-5765-7439, AuthorID 1071010. *E-mail: fufel1997@yandex.ru*

Yuriy N. Zubarev, doctor of agricultural sciences, professor of the department of agrobiotechnology, chief researcher of the directorate for scientific and innovative activities, Perm State Agro-Technological University named after Academician D. N. Pryanishnikov, Perm, Russia; ORCID 0000-0002-6049-3244, AuthorID 522714. *E-mail: yn-zubarev@mail.ru*

Nikita A. Zelenkov, postgraduate at the department of agrobiotechnology, Perm State Agro-Technological University named after Academician D. N. Pryanishnikov, Perm, Russia; ORCID 0000-0001-5560-2242, AuthorID 1070881. *E-mail: zelenkovn222@mail.ru*