

На правах рукописи

Шестакова Елена Олеговна

**ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЕМОВ
ВЫРАЩИВАНИЯ НА ФОТОСИНТЕТИЧЕСКУЮ
ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ, ВЕГЕТАЦИОННЫЙ ИНДЕКС NDVI
ПОСЕВОВ И УРОЖАЙНОСТЬ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ
НА ЧЕРНОЗЕМЕ ОБЫКНОВЕННОМ
ЦЕНТРАЛЬНОГО ПРЕДКАВКАЗЬЯ**

06.01.01 – общее земледелие, растениеводство

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата сельскохозяйственных наук

Ставрополь
2022

Работа выполнена в ФГБНУ
«Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр»

Научный руководитель: **Ерошенко Федор Владимирович**, главный научный сотрудник, заведующий отделом физиологии растений ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ», доктор биологических наук

Официальные оппоненты: **Федулов Юрий Петрович**, заведующий кафедрой физиологии и биохимии растений ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина», доктор биологических наук, профессор

Солодовников Анатолий Петрович, профессор кафедры земледелия, мелиорации и агрохимии ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова», доктор сельскохозяйственных наук, профессор

Ведущая организация: **Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Агрофизический научно-исследовательский институт»**

Защита диссертации состоится «___»_____ 20__ г. в ___ часов на заседании диссертационного совета Д 220.062.03 при ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный аграрный университет» по адресу: 355017, г.Ставрополь, пер. Зоотехнический, 12, аудитория №1, тел/факс (8652) 34-58-70.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный аграрный университет», а с авторефератом – на официальном сайте Высшей аттестационной комиссии <http://vak.ed.gov.ru> и на официальном сайте университета: www.stgau.ru

Автореферат разослан «___»_____ 20__ г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Безгина Юлия Александровна

1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Основной культурой Центрального Предкавказья является озимая пшеница. Для проявления потенциала вновь создаваемых сортов этой культуры необходимо совершенствовать способы её выращивания на основе исследований, раскрывающих особенности формирования урожая зерна в зависимости от основных элементов технологии, при этом требуется постоянный контроль хода формирования урожая для своевременного принятия решения по уходным мероприятиям. Такими методами могут выступать данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), которые характеризуются оперативностью и объективностью. В настоящее время ДЗЗ широко используют в растениеводстве. В литературе еще недостаточно работ, которые позволяют раскрыть механизмы связи данных спутникового мониторинга с состоянием посевов, их продукционным процессом и конечной урожайностью, так как практически отсутствуют исследования по изучению влияния элементов технологии выращивания сельскохозяйственных культур на оптико-биологические свойства посевов, составной частью которых являются данные дистанционного зондирования Земли.

Степень научной разработанности темы. Анализ литературных источников (Муратова Н.Р., Терехов А.Г., 2007; Becker-Reshef I. et all, 2010; Куссуль Н.Н. и др., 2012, 2013; Ерошенко Ф.В., 2010; 2014; Сторчак И.Г., 2016) позволил установить разнообразие взглядов ученых в области изучаемой темы. К сожалению, еще недостаточно работ, которые дают научную основу связи данных дистанционного зондирования Земли с физиологическим состоянием и продуктивностью посевов сельскохозяйственных культур, что, в том числе, не позволяет достичь стабильности моделей зависимости урожайности озимой пшеницы от вегетационного индекса NDVI отдельных полей.

Реализация результатов исследований. Результаты исследований апробированы в ООО СХП «Темижбекское» Новоалександровского района Ставропольского края в 2018 году на общей площади 240 га с прибавкой урожая в пределах 5,2-11,7 ц/га, что составило 13,4-30,2 %.

Цель исследований – изучить влияние элементов технологии возделывания озимой пшеницы на фотосинтетическую деятельность, вегетационный индекс NDVI посевов и урожайность озимой пшеницы на черноземе обыкновенном Центрального Предкавказья.

Задачи исследований:

1. Установить влияния элементов технологии возделывания (сорт, предшественник, минеральные удобрения, срок сева и норма высева) на особенно-

сти оптико-биологических свойств и фотосинтетическую продуктивность посевов озимой пшеницы.

2. Выявить механизмы взаимосвязи вегетационного индекса NDVI с урожайностью посевов озимой пшеницы.

3. Дать сравнительный анализ экономической эффективности элементов технологии возделывания озимой пшеницы на черноземе обыкновенном Центрального Предкавказья.

Научная новизна. Впервые на черноземе обыкновенном Центрального Предкавказья изучено влияния элементов технологии выращивания на комплекс показателей фотосинтетической деятельности озимой пшеницы, которое позволило дать оценку значимости каждого из них для продуктивности посевов. Выявлено влияние фотосинтетической деятельности на особенности динамики вегетационного индекса NDVI, что дало возможность раскрыть механизмы связи данных дистанционного зондирования Земли с урожайностью озимой пшеницы, в том числе для отдельных полей.

Теоретическая и практическая значимость. Полученные результаты являются научной основой совершенствования технологии возделывания озимой пшеницы, дают возможность контролировать состояние посевов и ход формирования урожайности, а также делать ранние её прогнозы. Кроме того, проведенные исследования и установленные закономерности позволяют их использовать для цифровизации сельскохозяйственного производства.

Методология и методы исследований. Методология исследований заключается в системном подходе при выборе цели и задач для постановки эксперимента на основе анализа результатов отечественных и зарубежных ученых. При проведении опытов использовались следующие методы исследований: эмпирические – полевой эксперимент и лабораторный анализ; теоретические – статистическая обработка результатов исследований (дисперсионный и корреляционно-регрессионный анализ), цифровое, текстовое и графическое отображение достигнутых результатов.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. На черноземе обыкновенном Центрального Предкавказья элементы технологии выращивания (предшественник, минеральные удобрения, срок сева, норма высева и сорт) оказывают существенное влияние не только на показатели фотосинтетической продуктивности, но и на вегетационный индекс NDVI посевов озимой пшеницы.

2. Существует тесная взаимосвязь между показателями фотосинтетической продуктивности и вегетационным индексом NDVI посевов озимой пшеницы.

3. Между урожайностью и вегетационным индексом NDVI посевов озимой пшеницы существует тесная связь не только для больших территорий, таких как край (область), но и для отдельных полей.

Степень достоверности результатов исследований подтверждается тем, что они получены в результате научной работы, выполненной в строгом соответствии с методикой полевого и лабораторного опытов, а также с 3-х кратным повторением исследований в разные по погодным условиям годы.

Апробация работы. Материалы диссертации ежегодно (2016-2018 гг.) докладывались на методических комиссиях и Ученых советах ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ», а также были освещены на международных (Краснодар, 2017; Ялта, 2018; Ставрополь, 2018) и всероссийской (Москва, 2015) научно-практических конференциях. По материалам диссертации опубликовано 15 работ, из них в журналах Scopus и Web of Science – 2, из перечня ВАК – 5.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, 7 глав, заключения, предложений производству, библиографического списка, включающего 167 источников, 17 из которых зарубежные, и приложений. Изложена на 177 страницах машинописного текста, содержит 38 таблиц и 29 рисунков.

2. УСЛОВИЯ, ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводили в ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ» с 2015 по 2018 годы. Опытное поле находится в зона неустойчивого увлажнения. Почва участка – чернозем обыкновенный среднемощный слабогумусированный тяжелосуглинистый, сформированный на лессовидных карбонатных суглинках. Содержание в почве нитратного азота составляло 10,4 мг/кг, фосфора – 31,0 мг/кг и калия – 310,0 мг/кг для предшественника пар и 5,5, 23,0 и 236 мг/кг для предшественника озимая пшеница.

Погодные условия в годы проведения исследований были типичными для зоны неустойчивого увлажнения Ставропольского края. Период весенне-летней вегетации озимой пшеницы 2016 года был теплым и влажным, 2017 года – оптимальным по температуре с достаточным количеством осадков, а 2018 года – умеренно засушливым.

Объектами исследований служили посевы сортов озимой мягкой пшеницы селекции Северо-Кавказского ФНАЦ: Зустріч (стандарт), Арсенал, Ставка, Стать, которые размещались по двум предшественникам – озимая пшеница и черный пар. Фоны минерального питания: контроль (без удобрений) и удобренный (перед посевом – нитроаммофоска ($N_{60}P_{60}K_{60}$), ранней весной – аммиачная селитра (N_{30})). Сроки сева – ранний (15-20 сентября), оптимальный (30 сентября – 5 октября), поздний (15-20 октября). Нормы высева – 4, 5 и 6 млн./га. Варианты по срокам сева и нормам высева закладывали на предшественнике

озимая пшеница (удобренный фон). Исследования проводили в трехкратной повторности, площадь делянки – 25 м².

Отборы растительных образцов проводили с 0,25 м² посевов в 3-х кратной повторности. Определение площади ассимиляционной поверхности и количество хлорофилла проводили по методикам, описанным в работе Ф.В. Ерошенко с соавторами (2020). Показатели фотосинтетической деятельности определяли общепринятыми методами. Изучение радиационного режима посевов проводили с помощью пиранометра Янишевского с гальванометром. Вегетационный индекс NDVI делянок замеряли ручным сканером «GreenSeeker®» (Trimble, USA), а усредненные данные NDVI озимых культур в Ставропольском крае получали с помощью сервера «ВЕГА-Science» ИКИ РАН. Учет урожайности зерна проводили прямым комбайнированием. Математическую обработку результатов проводили методами дисперсионного анализа (Плохинский И.А., 1970; Доспехов Б.А., 1979) на персональном компьютере (ArgStat, Statistica 10.0, Microsoft Office 2010).

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1. Площадь ассимиляционной поверхности. Поверхностный фотосинтетический потенциал (ПФСП) посевов озимой пшеницы различных сортов на паровом предшественнике на 30,5 % больше, чем на колосовом (таблица 1).

Таблица 1 – Поверхностный фотосинтетический потенциал растений озимой пшеницы в зависимости от предшественника и уровня минерального питания, (м²/м²)·сутки (среднее за 2016-2018 гг.)

Предшественник	Фон	Сорт				Среднее
		Зустріч	Арсенал	Ставка	Стать	
Озимая пшеница	контроль	1,81	1,80	2,04	2,06	1,93
	удобренный	2,96	2,71	3,46	3,30	3,11
Пар	контроль	2,41	2,17	2,60	2,89	2,52
	удобренный	3,62	3,29	3,92	4,21	3,76
НСР ₀₅ по предшественникам = 0,038 (м ² /м ²)·сутки					F _φ = 546,8 > F _T = 4,1	
НСР ₀₅ по минеральным удобрениям = 0,038 (м ² /м ²)·сутки					F _φ = 2079,1 > F _T = 4,1	
НСР ₀₅ по сортам = 0,054 (м ² /м ²)·сутки					F _φ = 114,6 > F _T = 2,9	
НСР ₀₅ опыта = 0,150 (м ² /м ²)·сутки					F _φ = 202,3 > F _T = 2,0	

Улучшение условий минерального питания по пару увеличивало значение фотопотенциала на 49,3 %, а по озимой пшенице на 61,1 %. При оптимальном сроке сева ПФСП выше, чем при раннем и позднем на 21,4 и 33,6 % соответственно, а при 5 млн./га – на 20,0 и 29,7 %, чем при 4 и 6 млн. (таблица 2).

Таблица 2 – Поверхностный фотосинтетический потенциал растений озимой пшеницы в зависимости от срока сева и нормы высева, ($\text{м}^2/\text{м}^2$)·сутки (среднее за 2016-2018 гг.)

Вариант	Сорт				Среднее
	Зустріч	Арсенал	Ставка	Стать	
Срок сева					
Ранний	2,36	2,62	2,59	2,67	2,56
Оптимальный	2,96	2,71	3,46	3,30	3,11
Поздний	2,20	2,16	2,42	2,53	2,33
НСР ₀₅ по срокам сева = 0,046 ($\text{м}^2/\text{м}^2$)·сутки				$F_{\phi} = 319,4 > F_T = 3,4$	
НСР ₀₅ по сортам = 0,054 ($\text{м}^2/\text{м}^2$)·сутки				$F_{\phi} = 52,3 > F_T = 3,0$	
НСР ₀₅ опыта = 0,132 ($\text{м}^2/\text{м}^2$)·сутки				$F_{\phi} = 80,1 > F_T = 2,3$	
Норма высева					
4 млн.	2,13	2,67	2,85	2,72	2,59
5 млн.	2,96	2,71	3,46	3,30	3,11
6 млн.	2,21	2,31	2,61	2,46	2,40
НСР ₀₅ по нормам высева = 0,049 ($\text{м}^2/\text{м}^2$)·сутки				$F_{\phi} = 243,4 > F_T = 3,4$	
НСР ₀₅ по сортам = 0,056 ($\text{м}^2/\text{м}^2$)·сутки				$F_{\phi} = 80,6 > F_T = 3,0$	
НСР ₀₅ опыта = 0,140 ($\text{м}^2/\text{м}^2$)·сутки				$F_{\phi} = 74,2 > F_T = 2,3$	

Максимальное значение фотопотенциала в среднем по всем вариантам наблюдается у сортов Ставка и Стать (по 2,94 $\text{м}^2/\text{м}^2$ ·сутки), а минимальное – у Арсенала (2,52 $\text{м}^2/\text{м}^2$ ·сутки). Превосходство сортов Ставка и Стать над остальными сортами обусловлено, главным образом, за счет размеров листового аппарата.

Дисперсионный анализ показал, что сроки сева и внесение минеральных удобрений в наибольшей степени оказывают влияние на ПФСП – 23,7 и 22,5 % соответственно. Достаточно существенное влияние на поверхностный фотопотенциал оказывают нормы высева и сортовые особенности – по 19,3 %.

3.2. Содержание хлорофилла. Исследования показали, что в среднем по сортам величина хлорофиллового фотосинтетического потенциала (ХФСП) посевов озимой пшеницы по паровому предшественнику выше, чем по колосовому на 48,7 %. Применение минеральных удобрений по предшественнику пар увеличивало значения ХФСП на 64,2 %, и 68,8 % на предшественниках пар и озимая пшеница соответственно (таблица 3). При оптимальном сроке сева хлорофилловый фотопотенциал был на 21,6 % больше, чем при раннем и позднем, а при норме высева 5 млн./га он на 27,4 % выше, чем при 4 и 6 млн. (таблица 4). Наибольший хлорофилловый фотосинтетический потенциал отмечен у сорта Стать. Так, по паровому предшественнику на удобренном фоне значение этого

показателя составлял $102,91 \text{ (г/м}^2\text{)} \cdot \text{сутки}$, что на 32,6 % больше, чем у сорта Арсенал с минимальным значением ХФСП ($77,60 \text{ (г/м}^2\text{)} \cdot \text{сутки}$).

Таблица 3 – Хлорофилловый фотосинтетический потенциал посевов озимой пшеницы в зависимости от предшественника и уровня минерального питания, $(\text{г/м}^2) \cdot \text{сутки}$ (среднее за 2016-2018 гг.)

Предшественник	Фон	Сорт				Среднее
		Зустріч	Арсенал	Ставка	Стать	
Озимая пшеница	контроль	32,86	35,48	39,92	39,34	36,90
	удобренный	58,37	57,53	62,27	70,96	62,28
Пар	контроль	52,78	52,97	51,42	62,30	54,87
	удобренный	85,44	77,60	94,42	102,91	90,09
НСР ₀₅ по предшественникам = $0,750 \text{ (г/м}^2\text{)} \cdot \text{сутки}$						$F_{\phi} = 1939,9 > F_T = 4,1$
НСР ₀₅ по минеральным удобрениям = $0,750 \text{ (г/м}^2\text{)} \cdot \text{сутки}$						$F_{\phi} = 3400,5 > F_T = 4,1$
НСР ₀₅ по сортам = $1,060 \text{ (г/м}^2\text{)} \cdot \text{сутки}$						$F_{\phi} = 126,4 > F_T = 2,9$
НСР ₀₅ опыта = $2,931 \text{ (г/м}^2\text{)} \cdot \text{сутки}$						$F_{\phi} = 397,5 > F_T = 2,0$

Таблица 4 – Хлорофилловый фотосинтетический потенциал посевов озимой пшеницы в зависимости от срока сева и нормы высева, $(\text{г/м}^2) \cdot \text{сутки}$ (среднее за 2016-2018 гг.)

Вариант	Сорт				Среднее	
	Зустріч	Арсенал	Ставка	Стать		
Срок сева						
Ранний	47,58	56,87	53,36	48,56	51,59	
Оптимальный	58,37	57,53	62,27	70,96	62,28	
Поздний	48,80	36,29	62,96	55,44	50,87	
НСР ₀₅ по срокам сева = $0,917 \text{ (г/м}^2\text{)} \cdot \text{сутки}$						$F_{\phi} = 208,0 > F_T = 3,4$
НСР ₀₅ по сортам = $1,059 \text{ (г/м}^2\text{)} \cdot \text{сутки}$						$F_{\phi} = 83,9 > F_T = 3,0$
НСР ₀₅ опыта = $2,624 \text{ (г/м}^2\text{)} \cdot \text{сутки}$						$F_{\phi} = 101,9 > F_T = 2,3$
Норма высева						
4 млн	43,22	51,17	51,10	57,81	50,83	
5 млн	58,37	57,53	62,27	70,96	62,28	
6 млн	39,95	46,93	51,37	49,99	47,06	
НСР ₀₅ по нормам высева = $0,891 \text{ (г/м}^2\text{)} \cdot \text{сутки}$						$F_{\phi} = 339,5 > F_T = 3,4$
НСР ₀₅ по сортам = $1,028 \text{ (г/м}^2\text{)} \cdot \text{сутки}$						$F_{\phi} = 110,2 > F_T = 3,0$
НСР ₀₅ опыта = $1,919 \text{ (г/м}^2\text{)} \cdot \text{сутки}$						$F_{\phi} = 98,3 > F_T = 2,3$

Данные дисперсионного анализа показали, в случае с ХФСП по степени влияния элементов технологии выращивания у наиболее значимых из них

наблюдается следующее ранжирование: нормы высева – 20,5 %, минеральное питание – 18,9 % и сорт – 19,4 %.

3.3. Чистая продуктивность фотосинтеза. В период колошения и полной спелости прирост сухой биомассы по паровому предшественнику выше, чем по колосовому на 32,8 и 32,7 % соответственно. На удобренном фоне ее значения по предшественнику пар на VIII этапе органогенеза больше контроля на 25,1 %, в то время как на XII – на 24,1 %, а по предшественнику озимая пшеница – на 56,5 и 44,0 % соответственно. В период от колошения до полной спелости сухая биомасса на раннем сроке увеличилась на 71,3 %, оптимальном – на 59,1 %, позднем – на 53,9 %. При норме высева 5 млн./га биомасса выше, чем при 4 и 6 млн., на 27,2 и 16,5 % соответственно. В период от колошения до полной спелости ее значения при минимальной норме высева выросли на 91,4 %, при оптимальной – на 59,1 %, при максимальной – на 83,7 %.

В наших опытах коэффициенты корреляции между фотопотенциалами и средней за вегетацию биомассой составили следующие величины: для ПФСП – 0,69, ХФСР – 0,72, что согласно шкале Чеддока соответствует средней и высокой силе связи между данными показателями.

Наши исследования показали, что чистая продуктивность фотосинтеза ассимиляционной поверхности (ЧПФ_S) посевов озимой пшеницы различных сортов в среднем за вегетацию на удобренном фоне по предшественнику пар выше, чем на контроле на 20,5 %, а по предшественнику озимая пшеница – на 11,2 %. ЧПФ_S при позднем сроке сева была больше, чем на раннем и оптимальном на 9,5 и 5,0 % соответственно, при максимальной норме высева она выше, чем при минимальной и оптимальной, на 11,2 и 26,6 % соответственно. Сорта Арсенал характеризуется наибольшей ЧПФ_S – 5,76 г/м²·сутки, что на 6,9 % больше, чем у сорта Сталь с наименьшей величиной ЧПФ_S.

Чистая продуктивности фотосинтеза в расчете на единицу хлорофилла (ЧПФ_{Chl}) снижается при улучшении условий выращивания. Так, по паровому предшественнику значения этого показателя ниже, чем колосовому на 10,9 %. Применение минеральных удобрений по пару снижает ЧПФ_{Chl} на 24,2 %, а по озимой пшенице – на 15,0 %. Существует тенденция к росту ЧПФ_{Chl} в оптимальный срок сева, а при 6 млн./га ее значения выше, чем при 4 и 5 млн., на 11,5 и 30,6 % соответственно. В среднем по всем вариантам максимальное значение ЧПФ_{Chl} отмечено у сорта Зустріч – 27,88 (г/г)·сутки, что больше на 9,3 %, чем у минимального значения, которое наблюдалось у сорта Сталь.

Нами установлено, что существует обратная связь между фотопотенциалами и чистой продуктивностью фотосинтеза. Так, коэффициент корреляции

между ПФСП и ЧПФ_S составил -0,59 (средняя сила связи), а ХФСП и ЧПФ_{chl} - 0,70 (высокая сила связи).

3.4. Структура посевов озимой пшеницы различных сортов. Стеблестой в колошение на предшественнике пар в наших опытах в среднем составил 510 шт./м², что на 14,8 % больше, чем на предшественнике озимая пшеница. Улучшение условий минерального питания по паровому предшественнику способствует увеличению стеблестоя на 21,3 %, а по колосовому – на 24,7 %. Влияние сроков сева и норм высева на густоту стояния озимой пшеницы оказалось незначительным. Однако прослеживается тенденция к его увеличению в оптимальные сроки (554 шт./м²) и при норме 6 млн./га (576 шт./м²). Высота растений по паровому предшественнику в среднем составила 84,1 см, что больше чем по колосовому на 16,0 %. Применение минеральных удобрений на предшественнике пар способствовало увеличению этого показателя на 6,2 %, а на предшественнике озимая пшеница – на 12,4 %. Достоверного влияния сроков сева и норм высева на высоту растений нами не выявлено. Исследования показали, что сорт Зустрич формирует максимальный стеблестой, но минимальную высоту растений, сорт Арсенал характеризуется самым низким количество продуктивных стеблей на 1 м², а Стать наибольшей высотой растений.

3.5. Коэффициенты поглощения фотосинтетически активной радиации посевами озимой пшеницы. В период колошения в наших опытах в среднем по сортам на уровне колоса посевы поглощали 10,1 % приходящей солнечной радиации, на уровне флаг-листа – 28,1 %, 2-го сверху листа – 30,3 %, а 3-го – 31,5 % от приходящей ФАР (рисунок 1).

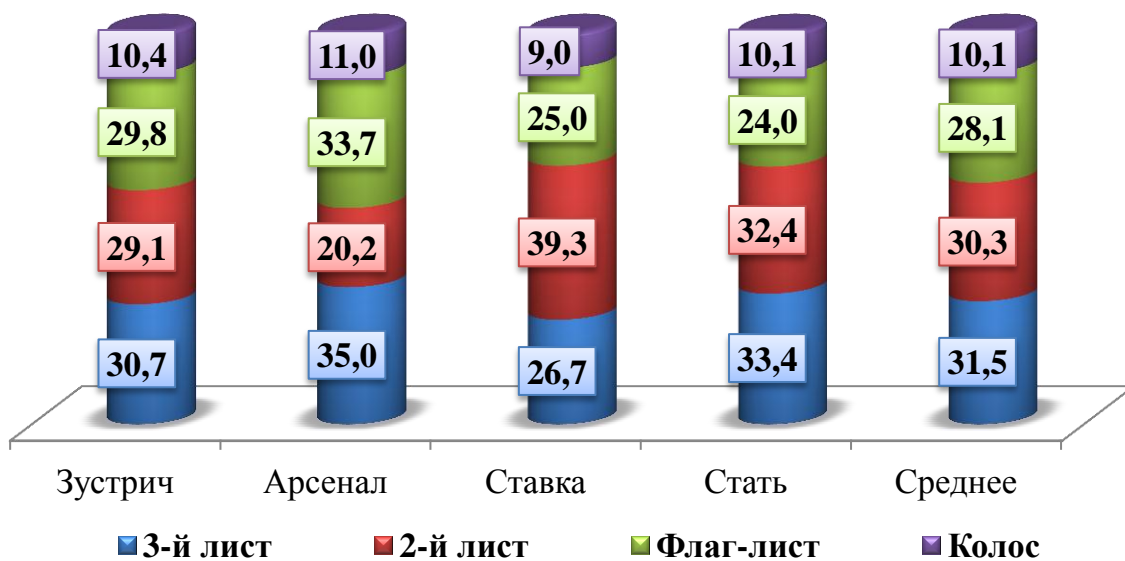
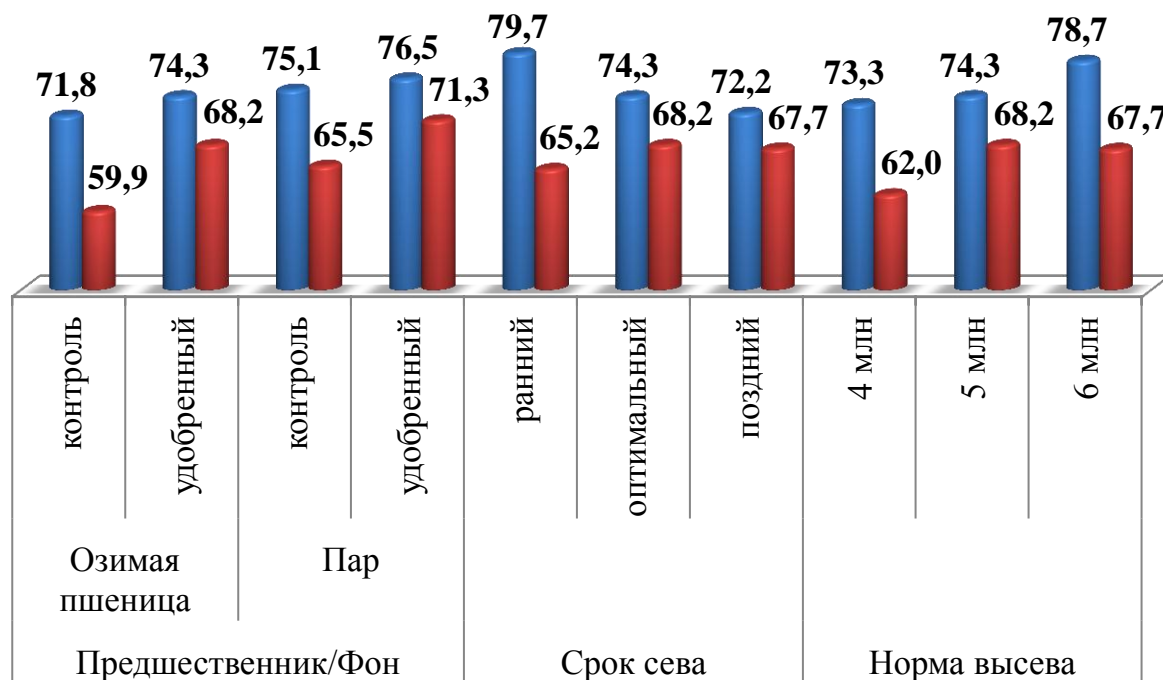


Рисунок 1 – Коэффициенты поглощения ФАР на различных уровнях посевов сортов озимой пшеницы, % (среднее за 2016-2018 гг.)

Коэффициенты поглощения солнечной радиации всего посева по паровому предшественнику в наших опытах был выше на 3,3 %, чем по колосовому, а только растениями на 5,6 %. Применение минеральных удобрений увеличило значение коэффициента поглощения посева по предшественнику пар на 1,4 %, по предшественнику озимой пшенице на 2,4 %, а коэффициент поглощения растениями по этим вариантам на 5,7 и 8,3 % соответственно. При ранних сроках сева значения этого показателя для посева были выше, чем при оптимальных и поздних на 5,4 и 7,5 % соответственно, что не наблюдалось в случае с поглощением только растениями (рисунок 2).

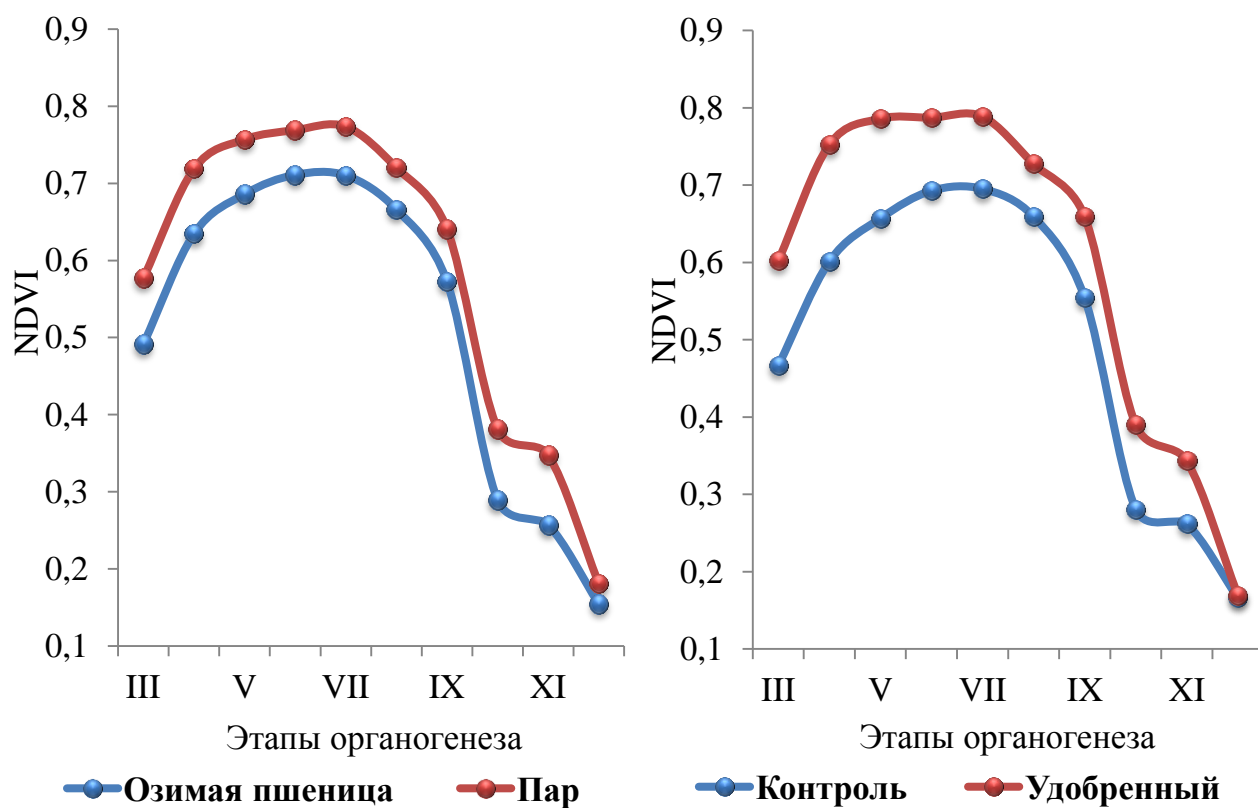


■ коэффициент поглощения посева ■ коэффициент поглощения растениями

Рисунок 2 – Коэффициенты поглощения фотосинтетически активной радиации посевами озимой пшеницы, % (среднее за 2016-2018 гг.)

3.6. Коэффициент полезного действия фотосинтетически активной радиации посевов озимой пшеницы. В наших опытах КПД ФАР находился в пределах 1,63-3,04 %. Наименьшие его значения были отмечены на предшественнике озимая пшеница на варианте без удобрений – 1,72 %, что ниже, чем на удобренном фоне, на 0,76 %. Наименьший КПД ФАР из всех изучаемых сортов отмечен у сорта Ставка на варианте без удобрений по колосовому предшественнику – 1,63 %, а наибольшее у этого же сорта на удобренном фоне по пару – 2,93 %. При раннем и позднем посеве КПД ФАР в наших опытах были практически одинаковыми и ниже, чем при оптимальном в среднем на 0,51 %. Влияние различных норм высева на показатели КПД ФАР в среднем по сортам незначительно, однако прослеживается тенденция к их снижению при 4 млн./га.

3.7. Влияние технологических приемов выращивания озимой пшеницы на NDVI ее посевов. Исследования показали, что на паровом предшественнике в среднем за вегетацию величина NDVI на 14,5 % больше, чем на колосовом. Применение $N_{90}P_{60}K_{60}$ увеличивало этот показатель на 19,0 % (рисунок 3).

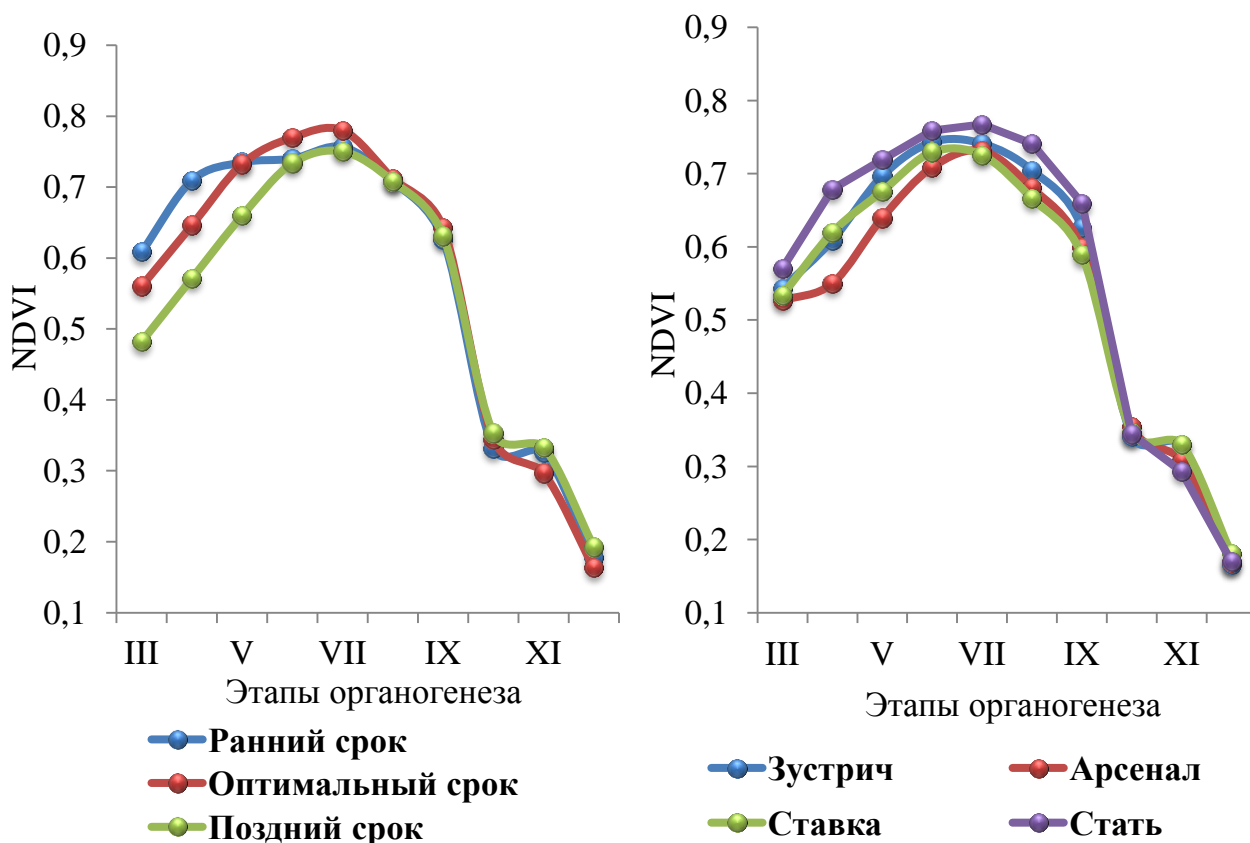


HCP_{05} по предшественникам = 0,007, $F_{\phi} = 215,3 > F_T = 4,1$; HCP_{05} по этапам органогенеза = 0,015, $F_{\phi} = 788,5 > F_T = 2,1$; HCP_{05} опыта = 0,029, $F_{\phi} = 385,7 > F_T = 1,9$

HCP_{05} по минеральным удобрениям = 0,006, $F_{\phi} = 498,9 > F_T = 4,1$; HCP_{05} по этапам органогенеза = 0,014, $F_{\phi} = 931,2 > F_T = 2,1$; HCP_{05} опыта = 0,027, $F_{\phi} = 471,7 > F_T = 1,9$

Рисунок 3 – Влияние предшественников и минерального питания на NDVI посевов озимой пшеницы различных сортов (среднее за 2016-2018 гг.)

Существенная разница по срокам сева отмечается с момента возобновления весенней вегетации до начала колошения. В среднем за этот период у посевов ранних и оптимальных сроков сева NDVI была выше, чем у поздних, на 8,0 %. Устойчивых закономерностей влияния различных норм высева на величины вегетационного индекса NDVI нами не установлено. Максимальная разница в среднем за вегетацию по сортам в наших опытах составила 7,9 %. В отдельные периоды роста и развития растений такие отличия более существенны (рисунок 4).



HCP_{05} по срокам сева = 0,006, $F_{\phi} = 24,9 > F_T = 3,2$; HCP_{05} по этапам органогенеза = 0,012, $F_{\phi} = 1264,8 > F_T = 2,0$; HCP_{05} опыта = 0,028, $F_{\phi} = 400,7 > F_T = 1,7$

HCP_{05} по сортам = 0,006, $F_{\phi} = 37,7 > F_T = 2,7$; HCP_{05} по этапам органогенеза = 0,009, $F_{\phi} = 1780,6 > F_T = 2,0$; HCP_{05} опыта = 0,027, $F_{\phi} = 471,4 > F_T = 1,6$

Рисунок 4 – Влияние сроков сева и сорта на NDVI посевов озимой пшеницы различных сортов (среднее за 2016-2018 гг.)

3.8. Связь вегетационного индекса NDVI с фотосинтетической деятельностью посевов озимой пшеницы. В расчетах мы использовали следующие характеристики динамики вегетационного индекса NDVI: максимальный NDVI за период возобновление весенней вегетации-полная спелость ($NDVI_{max}$); NDVI в период колошения ($NDVI_{ear}$); NDVI средний за период возобновление весенней вегетации-полная спелость ($NDVI_{aver}$). Проведенный анализ показал, что корреляционная связь между этими показателями существует и значима для $p=0,01$, кроме случаев с $NDVI_{ear}$ и $NDVI_{aver}$ с чистой продуктивностью фотосинтеза, рассчитанной по содержанию хлорофилла, а также $NDVI_{max}$ с коэффициентом поглощения посева, для них такая связь значима при $p=0,05$ (таблица 5).

Таким образом, между вегетационным индексом NDVI и показателями фотосинтетической деятельности посевов озимой пшеницы существует тесная корреляционная связь.

Таблица 5 – Коэффициенты корреляции между вегетационным индексом NDVI и показателями фотосинтетической деятельности посевов озимой пшеницы

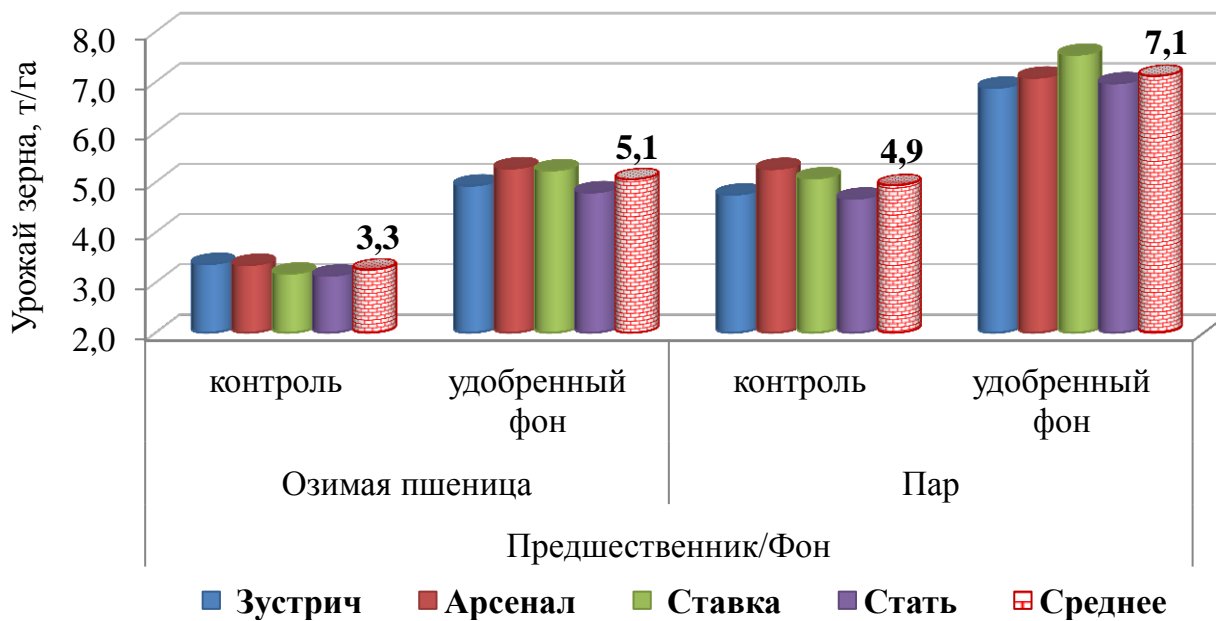
Показатели фотосинтетической деятельности	Коэффициент корреляции		
	NDVI максимальный за вегетацию (NDVI _{max})	NDVI в колошение (NDVI _{ear})	NDVI средний за вегетацию (NDVI _{aver})
Площадь листьев, м ² /м ²	0,69**	0,45**	0,64**
Площадь ассимиляционной поверхности, м ² /м ²	0,69**	0,45**	0,65**
Хлорофилл в листьях, мг/г	0,61**	0,58**	0,62**
Хлорофилл в растениях, мг/г	0,56**	0,56**	0,58**
Хлорофилл в листьях, г/м ²	0,66**	0,44**	0,67**
Хлорофилл в растениях, г/м ²	0,70**	0,56**	0,71**
ПФСП, (м ² /м ²)•сутки	0,74**	0,53**	0,73**
ХФСП, (г/м ²)•сутки	0,72**	0,59**	0,72**
ЧПФпл, (г/м ²)•сутки	-0,23	-0,17	-0,24
ЧПФхл, (г/г)•сутки	-0,40**	-0,35*	-0,38*
Коэффициент поглощения посева, %	0,37*	0,55**	0,47**
КПД ФАР за вегетацию, %	0,71**	0,51**	0,67**
Среднее	0,59**	0,48**	0,59**

Значимость различий: ** – для p=0,01; * - для p=0,05

3.9. Влияние технологических приемов выращивания на урожайность озимой пшеницы. В среднем по сортам урожайность озимой пшеницы по паровому предшественнику составила 4,9 т/га, а по колосовому – 3,3 т/га, что меньше, чем по пару, на 34,0 % (рисунок 5).

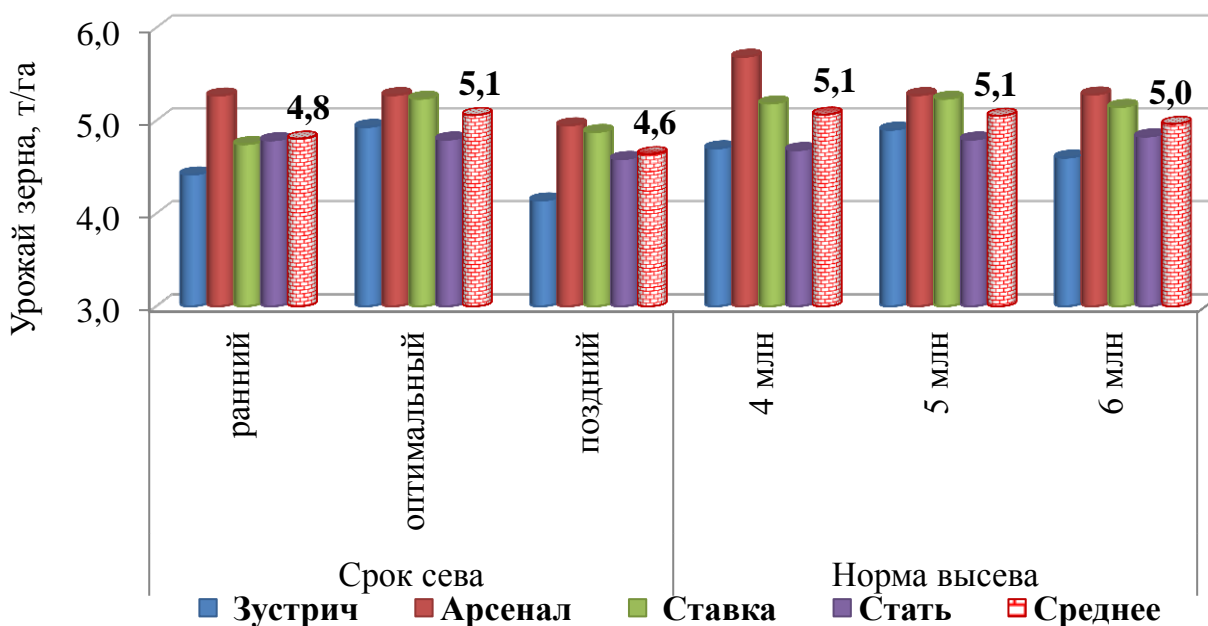
Применение минеральных удобрений способствовало увеличению урожайности в среднем по предшественникам на 44,1-55,3 %. Наибольшей по предшественнику пар на удобренном фоне она была у сорта Ставка (7,5 т/га), а на контрольном варианте – у сорта Арсенал (5,3 т/га). Наибольшая урожайность была сформирована при оптимальном сроке сева – 5,1 т/га, что больше, чем при раннем и позднем севе на 5,3 и 9,1 % соответственно (рисунок 6).

У сорта Зустріч максимальное значение урожайности было получено при оптимальном сроке сева – 4,9 т/га, что больше, чем при раннем и позднем, на 11,5 и 19,1 % соответственно. Минимальные различия в значениях урожайности на различных сроках сева отмечены у сорта Стать.



НСР₀₅ по предшественникам = 0,065 т/га, $F_{\phi} = 1733,2 > F_T = 4,1$; НСР₀₅ по минеральным удобрениям = 0,065 т/га, $F_{\phi} = 1962,3 > F_T = 4,1$; НСР₀₅ по сортам = 0,092 т/га, $F_{\phi} = 16,7 > F_T = 2,9$; НСР₀₅ опыта = 0,253 т/га, $F_{\phi} = 253,2 > F_T = 2,0$

Рисунок 5 – Влияние предшественника и уровня минерального питания на урожайность озимой пшеницы, т/га (среднее за 2016-2018 гг.)



НСР₀₅ по срокам сева = 0,083 т/га, $F_{\phi} = 27,8 > F_T = 3,4$; НСР₀₅ по сортам = 0,096 т/га, $F_{\phi} = 38,6 > F_T = 3,0$; НСР₀₅ опыта = 0,238 т/га, $F_{\phi} = 18,2 > F_T = 2,3$

НСР₀₅ по нормам высева = 0,088 т/га, $F_{\phi} = 1,6 < F_T = 3,4$; НСР₀₅ по сортам = 0,101 т/га, $F_{\phi} = 45,7 > F_T = 3,0$; НСР₀₅ опыта = 0,251 т/га, $F_{\phi} = 14,7 > F_T = 2,3$

Рисунок 6 – Влияние сроков и норм высева на урожайность озимой пшеницы различных сортов, т/га (среднее за 2016-2018 гг.)

В среднем по сортам при нормах высева 4, 5 и 6 млн./га существенной разницы в значениях урожайности озимой пшеницы получено не было. Из всех изученных сортов, у Арсенала наблюдаются существенные отличия в урожайности при различных нормах высева – максимальным этот показатель получен при норме высева 4 млн./га.

Дисперсионный анализ показал, что влияние сортовых особенностей озимой пшеницы на урожайность составляет 42,7 %. Существенным было влияние минерального питания и предшественников – 17,1 и 15,1 % соответственно. И практически одинаковое влияние на урожайность озимой пшеницы оказали сроки сева, взаимодействие изученных факторов и прочие факторы – 8,3 %. Степень влияния норм высева на зерновую продуктивность посевов озимой пшеницы оказалось крайне низким – 0,3 %.

3.10. Связь оптико-биологических характеристик посевов озимой пшеницы с урожайностью. Проведенные исследования показали наличие устойчивой связи урожайности с фотосинтетической деятельностью растений озимой пшеницы, о чем свидетельствуют значимые коэффициенты корреляции 0,65 (средняя сила связи) – 0,81 (высокая сила связь). Наиболее тесная связь наблюдается с ХФСП (коэффициент корреляции – 0,81). Кроме того, показатели фотосинтетической продуктивности оказывают существенное влияние на урожайность, о чем свидетельствуют данные полученные методом множественной регрессии (диаграммы Парето).

Была проанализирована взаимосвязь урожайности озимой пшеницы с характеристиками динамики NDVI для различных вариантов большого количества элементов технологии возделывания, включающих предшественники, уровни минерального питания, сроки сева и нормы высева. Такой набор вариантов позволяет в некоторой степени компенсировать влияние технологических особенностей посевов озимой пшеницы. Более того, использование ручного сканера GreenSeeker (высокое пространственное разрешение и возможность делать несколько замеров на одной делянке) и опыт, заложенный согласно методике полевого опыта с повторениями в пространстве и времени, позволил получить максимально достоверные результаты.

Исследования показали, что существует тесная связь между урожайностью озимой пшеницы и характеристиками динамики NDVI. Коэффициент корреляции в случае с NDVI максимальным за всю вегетацию составил 0,71 (высокая сила связь), для NDVI в колошение – 0,50 (средняя сила связи), а для NDVI среднего за вегетацию – 0,74 (высокая сила связь). Полученные значения являются значимыми для $p=0,01$.

Высокую степень связи урожайности и вегетационного индекса NDVI подтверждают карты Парето – ни одна из выбранных переменных не была исключена при расчетах, и каждый из показателей значим (рисунок 7).

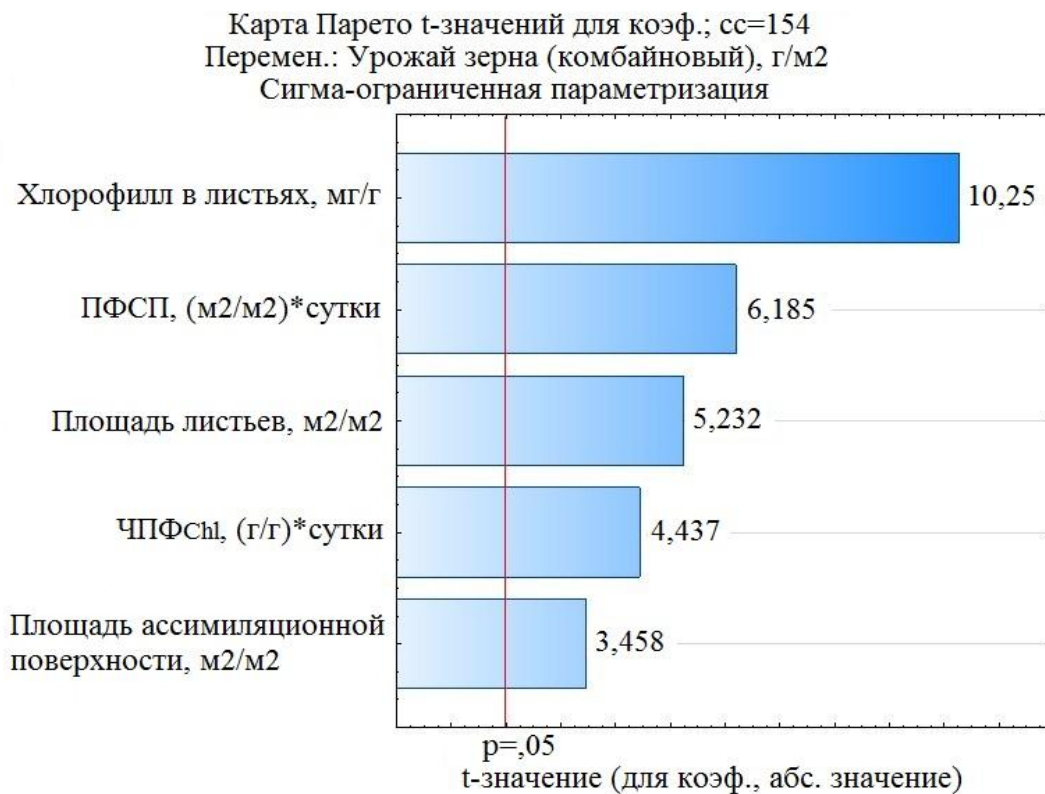


Рисунок 7 – Степень влияния фотосинтетической деятельности и радиационного режима посевов озимой пшеницы на урожайность

Для установления возможности использования данных ДЗЗ при прогнозировании урожайности посевов озимой пшеницы отдельных полей нами была использована величина максимального значения NDVI за весенне-летний период. Построенная регрессионная модель характеризуется высокой достоверностью, так как коэффициент аппроксимации для нее составляет 0,50.

Проведенные исследования позволяют сделать вывод о том, что существующая зависимость урожайности озимой пшеницы от данных дистанционного зондирования земли, в частности вегетационного индекса NDVI – это проявление взаимосвязи фотосинтетической продуктивности с оптико-биологическими свойствами посевов, а, следовательно, с их поглотительной и отражательной способностью. Такой вывод обусловлен тем, что основой продукционного процесса является фотосинтез, а фотосинтез, как нами было показано, непосредственно связан с данными дистанционного зондирования Земли.

3.11. Экономическая эффективность производства зерна озимой пшеницы. Наибольший уровень рентабельности был получен на вариантах с применением минеральных удобрений по предшественнику чистый пар, в среднем по сортам этот показатель составил 85,4 %, что выше, чем на не удоб-

ренном фоне на 22,9 %, и больше, чем на предшественнике озимая пшеница на удобренном фоне на 22,0 %, а на не удобренном – на 45,1 %. Наиболее прибыльно выращивание озимой пшеницы в оптимальные сроки сева (30 сентября – 5 октября), в среднем по сортам здесь прибыль составила 21,7 тыс. руб./га, что больше, чем на раннем и позднем сроках на 30,3 и 26,6 % соответственно. Более высокий доход обеспечили посевы с нормой в 4 миллиона всхожих семян на 1 га, в среднем по сортам прибыль составила – 23,3 тыс. руб./га, что больше, чем при 5 и 6 млн. на 7,3 и 16,1 % соответственно. У сорта Арсенал максимальная прибыль при минимальной норме высева получена за счет высокой урожайности, а у сорта Ставка – за счет качества зерна.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Различные элементы технологии возделывания озимой пшеницы оказывают существенное влияние на ее фотосинтетическую деятельность: на паровом предшественнике, по сравнению с колосовым, значения ПФСП больше на 30,5 %, а ХФСП – на 48,7 %. Применение минеральных удобрений на предшественнике пар увеличивает эти показатели на 49,3 и 64,2 % соответственно, а по озимой пшенице – на 61,1 и 68,8 %. При оптимальных сроках сева значения поверхностного фотопотенциала выше, чем при ранних на 21,4 %, а при поздних – на 33,6 %. При оптимальной норме высева ПФСП выше, чем при минимальной на 20,0 %, а при максимальной – на 29,7 %. При оптимальном сроке сева величина ХФСП на 21,6 % больше, чем при раннем и позднем, а при оптимальной норме высева он выше на 27,4 %, чем как при пониженной, так и при повышенной. Максимальные значения ПФСП в среднем по технологическим приемам выращивания отмечаются у сортов Ставка и Стась – 2,94 ($\text{м}^2/\text{м}^2$)·сутки, а ХФСП у сорта Стась – 62,92 $\text{г}/\text{м}^2$ ·сутки. Из изученных элементов технологии возделывания сроки сева и минеральные удобрения в наибольшей степени оказывают влияние на ПФСП – на 23,7 и 22,5 % соответственно, а на ХФСП – нормы высева и сортовые особенности – на 20,5 и 19,4 % соответственно.

Размер и продолжительность работы фотосинтетического аппарата посева определяют его возможность сформировать конечную урожайность биомассы. Коэффициенты корреляции между этим показателем и фотопотенциалами оцениваются величинами 0,69 для ПФСП, и 0,72 для ХФСП.

Значения чистой продуктивности фотосинтеза в расчете на площадь ассимиляционной поверхности и единицу хлорофилла снижаются при улучшении условий выращивания. При оптимальных сроках сева значения ЧПФ в расчете на единицу площади и единицу хлорофилла выше, чем при ранних и поздних. У сорта Арсенал отмечается максимальные значения ЧПФ_s, а у сорта Зустріч она больше для ЧПФ_{chl}. Существует обратная связь между значениями фотопо-

тенциала и чистой продуктивностью фотосинтеза (коэффициент корреляции – -0,59 для поверхностного фотопотенциала и -0,70 – для хлорофиллового). На ЧПФ в расчете на единицу площади и единицу хлорофилла в наибольшей степени оказывают влияние взаимодействие всех изученных факторов (более 40 %).

Коэффициенты поглощения ФАР растениями повышаются на удобренном фоне и при оптимальных нормах и сроках сева. На полученные закономерности оказывают влияние сортовые особенности. Наименьшая разница в поглощении приходящей ФАР верхней и нижней частями посева отмечено у сорта Арсенал – 44,7 и 55,3 %, тогда как у сорта Ставка верхней частью посева поглощается всего 33,9 %, а нижней – 66,1 %. Корреляционная связь между КПД ФАР и площадью фотосинтезирующей поверхности составила 0,63, с содержанием хлорофилла – 0,56, со стеблестоем – 0,50, с высотой растений – 0,61, а также с ПФСП и ХФСП – 0,68 и 0,72 соответственно.

Улучшение предшественника и уровня минерального питания увеличивает значения NDVI посевов озимой пшеницы в среднем на 14,5 % и на 19,0 % соответственно. У посевов поздних сроков сева вегетационный индекс NDVI на 7,4 % ниже, чем у ранних и оптимальных. Явно выраженных закономерностей по влиянию норм высева на NDVI нами не выявлено. Влияние сортовых особенностей посевов на вегетационный индекс в среднем составляет 7,9 %. Сорт Стась характеризуется наибольшими значениями NDVI.

Вегетационный индекс NDVI тесно связан с показателями фотосинтетической деятельности – коэффициенты корреляции составляют 0,38-0,74. Для всех характеристик динамики NDVI наиболее тесная связь наблюдается с фотосинтетическими потенциалами (ПФСП и ХФСП) – коэффициент корреляции составляют 0,59-0,74. Коэффициент поглощения посева, ПФСП, площадь листьев и относительное содержание хлорофилла в листьях и отдельно в растениях в наибольшей степени оказывают влияние на вегетационный индекс NDVI.

Урожайность озимой пшеницы на паровом предшественнике на 51,6 % больше, чем на колосовом. Улучшение условий минерального питания на предшественнике пар способствует увеличению урожайности в среднем на 44,1 %, а на озимой пшенице – на 55,3 %. Наибольшая урожайность формируется на оптимальном сроке сева, которая больше, чем на раннем и позднем, на 5,3 и 9,1 % соответственно. В среднем по сортам за годы исследований нормы высева не оказали доказуемых различий на урожайность. В среднем по технологическим приемам наиболее урожайным в наших опытах был сорт Арсенал (5,3 т/га).

Наибольший уровень рентабельности получен на вариантах с применением минеральных удобрений по предшественнику пар, в среднем по сортам он

составил 85,4 %, что выше, чем на не удобренном фоне на 22,9 %, и больше, чем на предшественнике озимая пшеница на 22,0 и 45,1 % на удобренном и не удобренном фонах соответственно. Наиболее прибыльно выращивание озимой пшеницы в оптимальные сроки сева – в среднем по сортам прибыль составила 21,7 тыс. руб./га, что больше, чем на раннем и позднем сроках на 30,3 и 26,6 % соответственно. Более высокий доход обеспечили посевы с нормой в 4 млн./га – в среднем по сортам прибыль составила 23,3 тыс. руб./га, что больше, чем при 5 и 6 млн., на 7,3 и 16,1 % соответственно. У сорта Арсенал максимальная прибыль при минимальной норме высева получена за счет высокой урожайности, а у сорта Ставка – за счет качества зерна.

Существует устойчивая связь урожайности с фотосинтетической деятельностью растений озимой пшеницы, о чём свидетельствуют значимые коэффициенты корреляции 0,65-0,81. Наиболее тесная наблюдается с ХФСП. Относительное содержание хлорофилла в листьях, ПФСП и максимальная площадь листьев в наибольшей степени влияют на урожайность.

Для отдельных полей с большим набором вариаций технологических приемов выращивания существует тесная и значимая связь между урожайностью посевов озимой пшеницы и характеристиками динамики вегетационного индекса NDVI (коэффициенты корреляции составляют 0,50-0,74). Наибольший коэффициент корреляции получен с NDVI средним за вегетацию. Для прогнозирования урожайности озимой пшеницы по данным дистанционного зондирования Земли следует использовать NDVI максимальный за весенне-летний период (коэффициент корреляции – 0,71).

Таким образом, вегетационный индекс NDVI – это проявление взаимосвязи фотосинтетической продуктивности с оптико-биологическими свойствами посевов, а, следовательно, с их поглотительной и отражательной способностью. Такой вывод обусловлен тем, что основой продукционного процесса является фотосинтез, а фотосинтез, как нами было показано, непосредственно связан с данными дистанционного зондирования Земли.

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВУ

1. Данные дистанционного зондирования Земли, в частности, вегетационный индекс NDVI, следует использовать для оценки состояния и прогнозирования урожайности посевов озимой пшеницы не только для больших территорий (край (область), район), но и для отдельных полей, что существенно повышает объективность и оперативность такой оценки.

2. На чернозёме обыкновенном Центрального Предкавказья для повышения экономической эффективности производства зерна с сохранением урожайности при посеве озимой пшеницы новых сортов селекции ФГБНУ «Северо-

ро-Кавказский ФНАЦ» в оптимальные сроки норму высева можно снижать до 4 млн./га.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации, входящие в базу данных Scopus, Web of Science:

1. Ерошенко Ф. В. Возможности региональной оценки качества зерна озимой пшеницы на основе спутниковых данных дистанционного зондирования / Ф. В. Ерошенко, С. А. Барталев, В. В. Кулинцев, И. Г. Сторчак, **Е. О. Шестакова**, Т. В. Симатин // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2017. – Т. 14. – № 7. – С. 153-165.

2. Сторчак И. Г. Возможность оценки степени развития растений озимой пшеницы в период «всходы-кущение» по данным дистанционного зондирования земли / И. Г. Сторчак, Ф. В. Ерошенко, Л. Р. Оганян, **Е. О. Шестакова**, А. А. Калашникова // Инженерные технологии и системы. – 2021. – Т. 31. – № 1. – С. 21-36.

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК РФ:

3. Ерошенко Ф. В. Связь вегетационного индекса NDVI с содержанием хлорофилла в растениях озимой пшеницы / Ф. В. Ерошенко, И. Г. Сторчак, **Е. О. Шестакова** // Аграрный вестник Урала. – 2018. – № 4 (171). – С. 5-12.

4. **Шестакова Е. О.** Реакция новых сортов озимой пшеницы на различные элементы технологии выращивания // Е. О. Шестакова, Ф. В. Ерошенко, И. Г. Сторчак, Л. Р. Оганян // Достижения науки и техники АПК. – 2018. – Т. 32. – № 8. – С.35-38.

5. **Шестакова Е. О.** Влияние сорта, предшественника, уровня минерального питания, сроков сева и норм высева на радиационный режим посевов озимой пшеницы / Е. О. Шестакова, Ф. В. Ерошенко, И. Г. Сторчак // Аграрный вестник Урала. – 2019. – № 5 (184). – С. 23-27.

6. **Шестакова Е. О.** Влияние различных агротехнических приемов на урожай и качество зерна новых сортов озимой пшеницы селекции Северо-Кавказского ФНАЦ / Е. О. Шестакова, Ф. В. Ерошенко, Л. Р. Оганян, И. Г. Сторчак, Е.А. Бильдиева // Аграрный вестник Урала. – 2019. – № 10 (189). – С.23-32.

7. **Шестакова Е. О.** Влияние различных элементов технологии возделывания на содержание хлорофилла в растениях озимой пшеницы и ее урожайность / Е. О. Шестакова, Ф. В. Ерошенко, И. Г. Сторчак, Л. Р. Оганян, И. В. Чернова // Аграрный вестник Урала. – 2020. – № 5 (196). – С. 27-37.

Публикации в других изданиях:

8. Ерошенко Ф. В. Связь NDVI с фотосинтетической продуктивностью посевов озимой пшеницы / Ф. В. Ерошенко, И. Г. Сторчак, **Е. О. Шестакова** //

Современные проблемы ДЗЗ из космоса: материалы XIII Всерос. открыт. конф. – Москва: Институт космических исследований РАН, 2015. – С. 396.

9. **Шестакова Е. О.** Влияние технологических приемов выращивания на радиационный режим и NDVI посевов озимой пшеницы / Е. О. Шестакова, И. Г. Сторчак, Ф. В. Ерошенко // Приоритетные направления отраслевого научного обеспечения, технологии производства, хранения и переработки сельскохозяйственной продукции: материалы VII Междунар. дистанц. науч.-практич. конф. молодых ученых. – Краснодар: Северо-Кавказский ФНЦ садоводства, виноградарства, виноделия, 2017. – С. 176-183.

10. **Шестакова Е. О.** Влияние технологических приемов выращивания на радиационный режим посевов озимой пшеницы / Е. О. Шестакова, Ф. В. Ерошенко, И. Г. Сторчак // Бюллетень СНИИСХ. – 2017. – № 9. – С. 259-263.

11. Сторчак И. Г. Влияние элементов технологии возделывания на урожайность и NDVI посевов озимой пшеницы / И. Г. Сторчак, **Е. О. Шестакова**, Ф. В. Ерошенко // Современное состояние, проблемы и перспективы развития аграрной науки: материалы III Междунар. науч. конф. / под ред. В.С. Паштецкого. – Ялта: Ариал, 2018. – С. 185-186.

12. **Шестакова Е. О.** Влияние сорта, предшественника, уровня минерального питания, сроков сева и норм высева на радиационный режим посевов озимой пшеницы в зоне неустойчивого увлажнения Ставропольского края / Е. О. Шестакова // Современное состояние, проблемы и перспективы развития аграрной науки: материалы III Междунар. науч. конф. / под ред. В.С. Паштецкого. – Ялта: Ариал, 2018. – С. 218-219.

13. **Шестакова Е. О.** Радиационный режим посевов озимой пшеницы в зависимости от сорта, предшественника, уровня минерального питания, сроков сева и норм высева / Е. О. Шестакова, И. Г. Сторчак // Инновационные разработки молодых ученых – развитию агропромышленного комплекса: материалы VI Междунар. науч. конф. – Ставрополь: ЦОП филиал «Северо-Кавказский ФНАЦ», 2018. – С. 185-189.

14. Ерошенко Ф. В. Фотосинтетическая продуктивность растений. Учебное пособие / Ф. В. Ерошенко, Е. А. Бильдиева, И. Г. Сторчак, **Е. О. Шестакова**, И. В. Энговатова. – Ставрополь: Сервисшкола, 2020. – 115 с.

15. Ерошенко Ф. В. Использование данных дистанционного зондирования земли для оценки состояния и продуктивности посевов сельскохозяйственных культур. Учебное пособие / Ф. В. Ерошенко, И. Г. Сторчак, **Е. О. Шестакова**, И. В. Энговатова, Е. А. Бильдиева. – Ставрополь: Сервисшкола, 2020. – 130 с.