

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ НАУЧНЫЙ АГРАРНЫЙ ЦЕНТР»

На правах рукописи

УДК: 633.11«324»:631.5:631.445.4(470.62/.67)

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

Диссертация

на соискание ученой степени

кандидата сельскохозяйственных наук

Научный руководитель:

Ерошенко Ф.В. г.н.с. отдела
физиологии растений ФГБНУ
«Северо-Кавказский ФНАЦ»,
доктор биологических наук

Ставрополь 2021

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4	
1. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОВЕДЕНИЯ		
ИССЛЕДОВАНИЙ (обзор литературы)	9	
1.1. Биологические особенности озимой пшеницы и основные элементы технологии её возделывания	9	
1.2. Фотосинтетическая продуктивность растений озимой пшеницы	17	
1.3. Радиационный режим посевов	26	
1.4. Использование данных дистанционного зондирования Земли в сельском хозяйстве	31	
2. УСЛОВИЯ И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ		36
2.1. Почвы зоны и опытного участка	36	
2.2. Климатическая характеристика зоны	37	
2.3. Метеорологические условия проведения исследований	38	
2.4. Методика исследований	43	
3. ФОТОСИНТЕТИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ПОСЕВОВ ОЗИМОЙ		
ПШЕНИЦЫ	51	
3.1. Площадь ассимиляционной поверхности	51	
3.2. Содержание хлорофилла	60	
3.3. Чистая продуктивность фотосинтеза	74	
4. РАДИАЦИОННЫЙ РЕЖИМ ПОСЕВОВ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ		83
4.1. Структура посевов озимой пшеницы различных сортов	83	
4.2. Коэффициенты поглощения фотосинтетически активной радиации посевов озимой пшеницы	88	
4.3. Коэффициент полезного действия фотосинтетически активной радиации посевов озимой пшеницы	91	
5. ВЕГЕТАЦИОННЫЙ ИНДЕКС NDVI И ФОТОСИНТЕТИЧЕСКАЯ		
ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ПОСЕВОВ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ	99	

5.1. Влияние технологических приемов выращивания озимой пшеницы на NDVI ее посевов	99
5.2. Связь вегетационного индекса NDVI с фотосинтетической деятельностью посевов озимой пшеницы	102
6. УРОЖАЙНОСТЬ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЕМОВ ВЫРАЩИВАНИЯ	108
6.1. Влияние технологических приемов выращивания на урожайность озимой пшеницы	108
6.2. Связь оптико-биологических характеристик посевов озимой пшеницы с урожайностью	115
7. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОИЗВОДСТВА ЗЕРНА ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ	124
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	132
ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВУ	136
ЛИТЕРАТУРА	137
ПРИЛОЖЕНИЯ	159

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Разработка научных основ совершенствования технологии возделывания, способов объективного контроля состояния и прогнозирования урожайности посевов сельскохозяйственных культур – важная задача современной аграрной науки, решение которой позволит не только получать стабильно высокие урожаи, но и даст возможность использовать полученные результаты для цифровизации сельскохозяйственного производства.

Основной культурой Центрального Предкавказья является озимая пшеница, появление новых сортов которой позволяет генетически учитывать меняющиеся условия возделывания, в том числе климатические, а также способствует интенсификации производства зерна. Для проявления потенциала вновь создаваемых сортов необходимо совершенствовать способы выращивания на основе исследований, раскрывающих особенности формирования урожая зерна в зависимости от основных элементов технологии возделывания озимой пшеницы, 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. Следует отметить, что в литературе еще недостаточно работ, которые позволяют раскрыть механизмы связи данных спутникового мониторинга с состоянием растений, 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 (Бельтюков Л.П., 2002; Повх В.И., 2006; Муратова Н.Р., Терехов

А.Г., 2007; Кондратьева Л.А., 2008; Брыксин В.М., 2010; Савин И.Ю. и др., 2011; Becker-Reshef I. et al, 2010; Куссуль Н.Н. и др., 2012; Новохатин В.В., Чубарева И.С., 2013; Ерошенко Ф.В., 2010; 2014; Зборовская О.В., 2016; Сторчак И.Г., 2014; 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.

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 влияние элементов технологии возделывания (сорт, предшественник, минеральные удобрения, срок сева и норма высева) на особенности 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.

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 %.

Апробация работы. Результаты проведенного диссертационного исследования доложены, обсуждены и получили положительную оценку на заседаниях Ученого совета ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ», на XIII-ой Всероссийской конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» (г. Москва, 16 ноября 2015 г.); VII-ой Международной конференции «Приоритетные направления отраслевого научного обеспечения, технологии производства, хранения и переработки сельскохозяйственной продукции» (г. Краснодар, 14 августа 2017 г.); III-ой Международной конференции «Современное состояние, проблемы и перспективы развития аграрной науки» (г. Ялта, 24 сентября 2018 г.); VI-ой Международной конференции «Инновационные разработки молодых ученых – развитию агропромышленного комплекса» (г. Ставрополь, 27 сентября 2018 г.).

Публикации. По материалам диссертационного исследования опубликовано 15 работ, из них в журналах Scopus и Web of Science – 2, из перечня ВАК – 5.

Объем и структура работы. Диссертационная работа 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.

Личный вклад автора. Автор принимал личное участие в оценке актуальности, значимости для науки, практики и степени изученности выбранного направления, в определении цели и задач исследований, в разработке программы и методики исследований, в проведении полевых и лабораторные

опытов, в анализе и обобщении полученного материала и подготовки научно квалификационной работы по материалам выполненной работы.

Исследования проводились в соответствии с планом НИР ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ» по направлению «Усовершенствовать метод оценки состояния посевов озимой пшеницы и прогноза её урожайности с использованием данных дистанционного зондирования земли в условиях Ставропольского края (0725-2014-0012)» в составе задания Программы фундаментальных научных исследований Российской академии наук.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОВЕДЕНИЯ

ИССЛЕДОВАНИЙ (обзор литературы)

1.1. Биологические особенности озимой пшеницы и основные элементы технологии её возделывания

Основной сельскохозяйственной культурой Юга России является озимая мягкая пшеница. В Ставропольском крае ее возделывают на площади более 1,8 млн. га, что составляет 60 % посевов всех культур. В 2018 г. валовой сбор составил 7,2 млн. т (13,5% от общероссийского объема производства), что выше уровня 2001 г. в 2,1 раза, 2010 г. – на 22,1%. В среднем за 2000-2010 гг. урожайность озимой пшеницы составила 3,2 т/га, 2011-2015 гг. – 3,4 т/га, а к 2016-2018 гг. достигла уровня – 4,2 т/га (ЕМИСС).

Знание закономерностей роста и развития растений озимой пшеницы является необходимым условием при разработке и совершенствовании ее технологий возделывания (Сторчак И.Г., Ерошенко А.А., 2019; Рябцева Н.А., 2019; Jiang P., 2020). Максимальный урожай сельскохозяйственной культуры может быть получен только при условии соответствия агротехнических приемов, которые удовлетворяют её биологическим особенностям (Петрова Л. Н. и др., 1999; Орлова И. Г., 2002).

Жизненный период озимой пшеницы можно разделить на несколько периодов, каждый из которых характеризуется особенностями биохимических реакций, физиологических процессов и органообразованием (Дрёпа Е.Б. и др., 2012; Гончаров С.В., 2013). Процесс роста и развития как вегетативных, так и генеративных органов определяет формирование посева, его структуру и состояние. В результате многолетних исследований Ф.М. Куперман (1980) было выделено в процессе развития растений двенадцать основных этапов органогенеза:

I этап – прорастание семян.

В этот период в семенах озимой пшеницы начинает образовываться

зародышевая почка с конусом нарастания Элементом продуктивности на этом этапе является полевая всхожесть семян.

II этап – всходы, начало кущения.

После всходов формируется узел кущения, в котором накапливаются питательные вещества, идет закладка основных органов растения. Элемент продуктивности – высота растений и количество листьев (габитус растений), а также коэффициент кущения и зимостойкость.

III этап – весеннее кущение.

На втором этапе происходит вытягивание и сегментация конуса нарастания. Кроме того, в этот период происходит формирование вторичной корневой системы, а также образование верхних листовых пластинок. Основные элементы структуры урожая, которые закладываются на этом этапе – количество члеников колосового стержня.

IV этап – начало выход в трубку.

На конусе нарастания начинают проявляться элементы колосовых бугорков второго порядка. Начинают формироваться соцветия. Нижнее междоузлие также появляется на этом этапе органогенеза. Элемент структуры урожая, который закладывается в этот период – количество колосков в колосе. Кроме того, IV этап органогенеза ответственен за засухоустойчивость растений.

V этап – начало образования и дифференциация цветков.

В этот период у растений озимой пшеницы начинается процесс образования тычинок и пестика, при этом запускается механизм закладки некоторых частей цветка и образования второго стеблевого узла. Кроме того, у зачатка колоса появляются колоски. Основным элементом продуктивности, который формируется на этом этапе – количество цветков в колосе.

VI этап – образование пыльниковых мешков.

На этом этапе наблюдается дальнейший рост пестика, а также элемен-

тов цветка (покровных органов). Кроме того, отмечается завязывание пестика.

VII этап – происходит подготовка к образованию основных клеток и завязи женского гаметофита. Физиологическим проявлением этого периода является выпрямление флаг-листа, рост его листового влагалища и увеличение в размерах колоса.

IV, а также VII этапы органогенеза соответствуют фазе выхода в трубку.

VIII этап – колошение.

На этом этапе прекращается формирование всех органов цветка, а также соцветий. Отмечается появление колосьев. Считается, что этот этап органогенеза наступил, когда выколашивается до 80% побегов. Элементами продуктивности, которые определяются в колошение – фертильность цветков и плотность колоса.

IX этап – цветение.

Колошение и цветение у растений озимой пшеницы практически совпадающие по времени процессы. В некоторых случаях опыление может отмечаться даже до колошения. Тем не менее, как правило, цветение происходит после колошения и в среднем длиться около 5 дней. Элемент продуктивности, который формируется в этот период – озерненность колоса.

X этап – формирование и рост зерновки.

На этом этапе органогенеза происходит образование оболочки будущего зерна, при этом отмечают сортовые особенности этого процесса, главная из которых – размер. Элемент продуктивности, формирующийся на X этапе, также как и на IX – это озерненность колоса. Кроме того, размер зерновки может отразиться на выполненности зерна будущего урожая.

XI этап – налив зерна.

После того, как сформируется зерновка в неё начинают поступать питательные вещества из которых формируются запасные. В процессе налива происходит окончательное оформление будущего урожая – его размер и масса. На этом этапе, также как и на других, может происходить «сброс» побегов, поэтому элементом продуктивности его является не только масса 1000 зерен, но и продуктивный стеблестой.

ХII этап – полная спелость.

Рост зерновки прекращается. Этот этап завершается полной зрелостью семян и отмиранием растений.

Л.Н. Петрова с соавторами (2004) считают, что на продолжительность и время наступления этапов органогенеза непосредственно зависят от условия выращивания. В тоже время, проявляется сортовое и технологическое влияние, которое может доходить до 15-20 дней. Такое влияние может отразиться как на дате начала этапа, так и в длительности фаз роста и развития растений озимой пшеницы.

За последние годы валовые сборы озимой пшеницы резко возросли и это произошло в основном благодаря повышению урожайности, в чем немалую роль сыграло внедрение в производство новых высокоурожайных сортов (Ерошенко А.А., Ерошенко Ф.В., 2009; Балашов В.В., Агафонов А.К., 2011; Khalili M., 2018). Урожай зерна современных сортов озимой мягкой пшеницы при успешной перезимовке и на хорошем агрофоне достигают более 7,0 т/га.

Наиболее значимый элемент технологии возделывания сельскохозяйственных культур в целом и озимой пшеницы, в частности, – это сорт и термин «сортовая агротехника» отражает важность этого факта (Петрова Л.Н. и др., 2009; Зененский Н.А., Текиева М.И., 2012; Титов О.С., Иванов В.М., 2018). Сортовые особенности, которые являются отражением генетически обусловленной способности растений к реакции на изменения условий выращивания, в том числе на применение уходовых мероприятий, отражением чего являются скорости протекания тех или иных биохимических реакций и процессов, дают возможность использовать знания о них для управления ходом форми-

рования урожая и качества зерна этой культуры. Это тем более актуально, так как по мнению исследователей (зарубежных и отечественных) вклад сортовых особенностей в производственный процесс огромен и может достигать 30-60 % (Грабовец А.И, Фоменко М.А., 2007; Chand R., Garg S., Pandey L., 2009; Ковтун В.И., 2017; 2020).

В настоящее время селекционерами созданы сорта озимой пшеницы, различающиеся по биологическим и хозяйственным признакам с высокой и широкой адаптивностью. По срокам созревания они могут отличаться до 14 дней (Чернов А.Я., Квасов Н.А., 2005). Кроме того, современные генотипы характеризуются различной реакцией на предшественники, сроки посева, плодородие почв и нормы вносимых удобрений, пестициды и т.д. Каждый сорт имеет точный адрес, где он может дать наибольший урожай при наименьших затратах. Сегодня сельхозтоваропроизводитель может подобрать себе из предлагаемого сортового многообразия 3-5 сортов в наибольшей степени отвечающих его природно-климатическим условиям, уровню земледелия, технологическим, экономическим и другим возможностям. Оптимальный набор сортов позволяет уменьшить нагрузку на посевную и уборочную технику, снизить расходы на средства защиты растений, увеличить устойчивость растений к неблагоприятным факторам среды. С другой стороны, при неправильно выбранной сортовой стратегии, как правило, приходится нести дополнительные затраты, что непосредственно отражается на себестоимости продукции (Балашов В.В., Агафонов А.К., 2011; Пушкарев С.Е., Пугач А.А., 2018).

При выборе того или иного сорта для возделывания в конкретных почвенно-климатических условиях, необходимо учитывать их пригодность к данной местности, потенциальную урожайность, устойчивость к вредным организмам и стрессовым факторам (Иванов А.Л., 2006; Xhulaj D., 2019).

Предшественник – следующий после сорта важный элемент в технологии возделывания озимой пшеницы. От его выбора зависит наличие влаги и микроэлементов в почве ко времени сева, равномерность всходов, фитосани-

тарное состояние посевов, а также урожай и качество зерна (Мельник А.Ф. и др., 2009; Губанов В.С., 2018).

В многочисленных работах, выполненных как на опытных полях, так и в условиях производства, было установлено, что сельскохозяйственные культуры, в частности озимая пшеница, активно реагируют на предшественники (Зененский Н.А., Текиева М.И., 2012; Халилов М.Б., 2018; Камбулов С.И. и др., 2019). Прибавка урожайности зерна при возделывании ее по более благоприятным предшественникам, как правило, достигает более 50 %, причем эта прибавка может быть значительно больше, чем от удобрений, сорта и других факторов. Наиболее благоприятными предшественниками для озимой пшеницы являются те, которые остаются после раннеубираемых культур. Это обусловлено тем, что в таких случаях появляется возможность большего накопления как влаги, так и питательных веществ, а также снижения фитосанитарной напряженности. К таким предшественникам относятся однолетние (многолетние) травы, зернобобовые культуры, кукуруза на силос, пар, а также гречка, рапс и картофель. Овёс также хороший предшественник для пшеницы. Это связано с тем, что он не поражается корневыми гнилями. Наилучшим вариантом повторного использования полей под озимую пшеницу – по пришествию не менее двух лет. Считается, что за это время поле очистится от большинства вредителей и болезней.

По данным В.В. Кулинцева с соавторами (2013) в засушливых зонах Ставропольского края наиболее выгодным с экономической точки зрения предшественником для озимой пшеницы является чистый пар. Для его внедрения были разработаны короткоротационные севообороты (пар-пшеница, пар-пшеница-пшеница). В тоже время, по данным «Северо-Кавказского ФНАЦ» в зоне неустойчивого увлажнения края наряду с такими общепринятыми благоприятными для пшеницы предшественниками как горох, вика и горохоовсяных смесей, лучшим может считаться озимый рапс. Это связано с его способностью уничтожать возбудители корневых гнилей. Кроме того, рапс раннеубираемая культура. Также, в этой зоне согласно данным Н.А. Ква-

сова (2010) можно использовать чистые пары, которые превосходят по своему положительному действию непаровые предшественники, уступая лишь занятым парам, из них главным образом эспарцету и в отдельные годы гороху. Разница в урожае за две ротации десятипольного севооборота между вариантом озимая пшеница после эспарцета и пара составляет 15,0 %.

Для реализации генетического потенциала сорта и получения максимальной урожайности с высокими показателями качества зерна необходимо создание для роста и развития растений оптимальных условий питания, и в решении этой задачи главную роль играют минеральные удобрения (Полоус Г.П. и др., 2013; Дубовченко Д.О., 2017).

По мнению М.Г. Мамедова (2004) основным и более доступным фактором регулирования урожайности пшеницы является минеральное питание. Оптимальное их использование обеспечивает сбалансированное питание растений. Увеличение или уменьшение содержания какого-либо элемента в почве приводит к изменению химического состава в растительном организме. Избыток одного может привести к дефициту другого. Поэтому норму удобрений необходимо рассчитывать с учетом предшественника, механического состава почвы, обеспеченности его питательными веществами по данным агрохимического обследования и оперативной диагностики. Применение оптимальных доз удобрений оказывает влияние не только на повышение урожайности, но и на улучшение качества зерна (Музыкантов П.С., 2006; Жирных С.С., Тураева О.М., 2015; Ожередова А. Ю., 2019).

Оптимальное обеспечение растений озимой пшеницы фосфором и калием улучшает развитие растений, повышает морозостойкость, стойкость к полеганию, снижает поражение болезнями, способствует улучшению качества зерна. По мнению К.Я. Кравцовой (2013) эффективность этих удобрений зависит от плодородия почвы. Полную дозу калийных и основное количество фосфорных удобрений, как правило, вносят под основную обработку почвы.

Обязательный компонент, без которого высокая урожайность никогда не станет стабильно управляемой – это азотные удобрения (Гергокаев Д.А.,

2007; Чечура М. и др., 2016). Их вносят на протяжении всего периода роста и развития растений. Бедные почвы рекомендуется обогащать с осени. Первую весеннюю прикормку лучше всего провести по прикорневому методу (Кравцова К.Я., 2013; Малкандуев Х.А. и др., 2014). Вторую весеннюю азотную подкормку удобрениями проводят после выхода в трубку. Она способствует формированию хорошего стеблестоя.

Важными элементами технологии возделывания озимой пшеницы являются сроки и нормы высева, поэтому необходимо знать их оптимум, в противном случае неизбежны значительные потери урожая (Кадиров Ш.Ю. и др., 2017; Фадеева И.Д. и др., 2019).

По данным А. Я. Чернова и Н. А. Квасова (2005) при раннем сроке сева узел кущения растения озимой пшеницы закладываются близко к поверхности почвенного горизонта. Такая ситуация возникает из-за особенности роста и развития культуры: чем теплее условия осеннего кущения, тем выше к поверхности почвы поднимается узел кущения. Это и наблюдается в случае ранних посевов. При поздних сроках отмечается замедление развития растений, так как, как правило, в этот период температуры воздуха ниже. Как следствие, такие посевы слабо кустятся или не кустятся вовсе, у них не формируется полноценная вторичная корневая система. При этом снижается засухоустойчивость растений в весенне-летний период, поскольку по своему развитию они приближаются к яровым формам. Как следствие, урожайность таких посевов резко снижается.

Сроки посева озимой пшеницы могут изменяться в зависимости от температуры воздуха (Чернов А.Я., Квасов Н.А., 2005; Кулинцев В.В. и др., 2013). В Ставропольском крае в период, когда устанавливается среднесуточная температура $+15\text{ }^{\circ}\text{C}$, можно начинать сев. В связи с этим, в разных почвенно-климатических зонах установлены свои оптимальные сроки сева.

Норма высева зависит от почвенно-климатических условий зоны возделывания (Кудряшов И.Н. и др., 2006; Фадеева И.Д. и др., 2019). Она должна составлять 400-500 всхожих семян на 1 м^2 – в уборку это обеспечит про-

дуктивный стеблей порядка 550-700 шт./м². На поздних сроках сева для создания оптимального стеблестоя на единицу площади норму высева необходимо увеличить до 15,0 %.

Таким образом, совершенствование имеющихся и разработка новых научно-обоснованных технологий выращивания озимой пшеницы, которые будут адаптированы к условиям конкретной местности, является одной из важных задач в сельском хозяйстве страны. В настоящее время ежегодно селекционерами предлагаются новые сорта, обладающие улучшенными хозяйственными признаками, но недостаток информации об особенностях их реакций на основные элементы технологии возделывания не позволяет в полной мере раскрыть их потенциал урожайности и качества зерна. Кроме того, такие исследования необходимы для научного обоснования совершенствования способов возделывания этой культуры в постоянно меняющихся условиях, в том числе климатических, что является залогом устойчивости зернового производства.

1.2. Фотосинтетическая продуктивность растений озимой пшеницы

Закономерности продукционного процесса, выявленные исследователями в многолетних работах, были обобщены, выстроены в стройную теорию, подтвержденную многочисленными производственными испытаниями, и оформлены в виде теории фотосинтетической продуктивности. В 1954 году она была представлена А.А. Ничипоровичем, и получила свое развитие во многих трудах российских и зарубежных ученых (Ничипорович А.А., 1956; Нешин И.В. и др. 2008; Ерошенко Ф.В., Петрова Л.Н., 2010). В результате многочисленных исследований было обосновано получение теоретически возможных высоких урожаев сельскохозяйственных культур.

Оценка продуктивности растений необходима как инструмент, позволяющий не только рассчитывать на те или иные урожаи при определенных условиях выращивания, но и как показатель, дающий возможность определять реакцию растений на множество факторов – от температуры и влаго-

обеспечения до инсоляции и продуваемости посевов, что позволяет использовать такие знания, в том числе, при создании новых высокоурожайных сортов. Существует множество способов такой оценки, но самые известные из них связаны с фотосинтезом.

Фотосинтез посевов определяется как сумма процессов ассимиляции, которые проходят в отдельных побегах или растениях в целом (Гергокаев Д.А. и др., 2007). Эти процессы протекают в условиях, которые создаются в результате их взаимодействия и проявления конкуренции за свет, углекислый газ, воду и минеральное питание (Ерошенко А.А. и др., 2013; Голева Г.Г. и др., 2018).

Количество органических веществ, запасенных растением в результате фотосинтеза в виде биомассы, определяется скоростью реакции и количеством центров, в которых эти реакции происходят (Ерошенко Ф.В., 2006; Ионова Е.В. и др., 2020).

Все показатели, характеризующие фотосинтетическую продуктивность, можно подразделить на две основных группы (Чиков В.И., 2008; Ерошенко Ф.В. и др., 2020):

1. показатели, характеризующие физические размеры ассимиляционного аппарата, к которым могут относиться не только линейные характеристики фотосинтезирующих органов растений и количество зеленых пигментов, но и дающих представление о структуре фотосинтезирующих органелл: количество хлоропластов размеры светособирающего комплекса, количество реакционных центров и др.;

2. показатели, описывающие интенсивность процессов ассимиляции и образования органического вещества: на уровне посевов – это чистая продуктивность фотосинтеза, а на клеточном уровне – это активность сопрягающего фактора, скорость транспорта электронов, активность восстановительных и окислительных фотосинтетических реакций и др.

Одним из важных показателей фотосинтетической продуктивности растений является площадь ассимиляционной поверхности – площадь всех

фотосинтезирующих органов растений (Рахимов М.М., Ниязмухамедова М.Б., 2011; Ерошенко А.А., 2017). Величина и изменения этого показателя определяется, главным образом, условиями выращивания, такими как влагообеспеченность, температура окружающей среды, фон минерального питания и т.д.).

Считалось, что лист является основным ассимилирующим органом злаковых растений, в том числе и озимой пшеницы, а размер фотосинтетического аппарата характеризовали «листовым индексом». Этот показатель рассчитывается как отношение общей площади листовых пластинок к площади посева (Подушин Ю.В. и др., 2009; Моисеева А.А. и др., 2019; Hasan U., 2020). Дальнейшие исследования показали, что нелистовые органы растений также учувствуют в фотосинтезе растений, а их значимость особо проявляется в генеративный период. (Андрианова Ю.Е., Тарчевский И.А., 2000; Ерошенко Ф.В., 2011; Громова С.Н. Костылев А.А., 2018). После этого общая площадь фотосинтезирующих органов стала характеризовать размеры ассимиляционного аппарата, а связь с продуктивностью у нее была намного существеннее, чем у листового индекса.

Важная роль для продуктивности растений принадлежит не только размеру ассимиляционного аппарата, но и длительности его функционирования (Дуденко Н.В. и др., 2001; Нешин И.В. и др., 2008; Подлесных Н.В., 2018). В.А. Кумаковым был предложен поверхностный фотосинтетический потенциал (ПФСП), который отражает вклад всех органов растения в размеры фотосинтетического аппарата за время его активной работы. Особое значение он имеет для зерновых культур, у которых урожай зависит от синтезирующих процессов в репродуктивный период (Ракоца Э.Ю., Кудрявцева Т.Г., 2006).

Исследования В.Я. Хотулева (1985), проведенные на различных сортах озимой пшеницы показали, что их особенности оказывают существенное влияние на долю участия органов растений в фотопотенциале растений, в частности, рассчитанном по размерам ассимиляционной поверхности. Автором

было установлено, что у высокорослых и низкорослых форм структура ПФСП различна, и такие различия проявляются в основном за счет нелистовых органов (стеблей). В среднем же по сортам, при различных технологических приемах выращивания в разные годы исследования, вклад листьев в общий поверхностный потенциал составлял 50,0 %, а другая половина распределяется между стеблями и колосьями (Ерошенко Ф.В., 2011).

Учеными была определена связь поверхностного фотосинтетического потенциала с общим урожаем, а также с его хозяйственно ценной частью (Дуденко Н.В. и др., 2001; Ионова Л.П., Арсланова Р.А., 2010; Подлесных Н.В., 2018). Кроме того, было показано, что этот показатель фотосинтетической продуктивности чувствителен к различным условиям выращивания, таким как влагообеспеченность, температура воздуха и почвы, применение минеральных удобрений и т.д. Авторами указывается, что благоприятные факторы, как правило, способствуют увеличению, не только размеров фотосинтетического аппарата, но и времени его функционирования, и, как следствие, к увеличению показателей поверхностного фотосинтетического потенциала.

Существует еще одна группа показателей, с помощью которых оценивают продуктивность растений. Такие показатели рассчитываются по содержанию в растениях хлорофилла – основного растительного пигмента, участвующего в процессе фотосинтеза (Vass I., 2007; Подушин Ю.В., 2009; Прядкина Г.А., 2018). При изменении условий выращивания линейные размеры растений, а, следовательно, и площадь ассимиляционной поверхности, изменяются более медленно, чем содержание хлорофилла, что говорит о большей его восприимчивости к внешним факторам. Такое свойство зеленых пигментов свидетельствует о том, что с их использованием можно более точно отражает биологическое состояние растений и их реакцию на условия выращивания.

Л.М. Дорохов (1959) первым предложил оценивать фотосинтетическую продуктивность по содержанию зеленых пигментов в листьях. После анализа концентрации хлорофилла у разных сортов пшеницы, был сделан вывод о

том, что величина содержания зеленых пигментов не является онтогенетической константой и меняется в зависимости от этапов органогенеза растения, а также от условий выращивания. Кроме того, соотношение между динамикой концентрации хлорофилла и изменениями биомассы фотосинтезирующих органов в ходе развития растений может существенно меняться как в большую, так и в меньшую сторону.

Для характеристики развитости ассимиляционного аппарата исследователями был предложен новый показатель – хлорофилловый индекс (Тарчевский И.А., 1977), который учитывал содержание зеленых пигментов в растениях с определенной площади посева. Суммированием хлорофилловых индексов за вегетацию или за определенный период роста и развития культуры (всех органов растений) рассчитывается хлорофилловый фотосинтетический потенциал (ХФСП). Физический смысл этого показателя заключается в том, что он характеризует не только размеры ассимиляционного аппарата и его изменения в онтогенезе, но и продолжительность активной фотосинтетической функции всех органов растений. Из-за таких свойств ХФСП является показателем, который позволяет дать оценку потенциальных возможностей посева создавать биологический урожай (Андрианова Ю.Е., Тарчевский И.А., 2000; Прядкина Г.А. и др., 2014; Федулов Ю.П. и др., 2019).

Для определения количества зеленых пигментов в растениях используют различные методы. С развитием аэрокосмосъемки появилась возможность оценивать содержание хлорофилла в посевах дистанционным методом, используя коэффициент спектральной яркости (Елсаков В.В., 2013; Голубятников Л.Л. и др., 2015).

В настоящее время можно выделить два пути определения содержания хлорофилла в растениях по оптическим характеристикам, полученным дистанционным путем (Кононенко Л.А., 2006; Wu X.-L., 2017):

1. с использованием коэффициентов спектральной яркости в красной области спектра;

2. по снимкам с использованием всей видимой части спектра и координат цвета.

Следовательно, показатели фотосинтетической деятельности, которые связаны с содержанием зеленых пигментов в растениях, имеют большой потенциал возможностей отражать их состояние и развитие. Кроме того, они характеризуются тесной связью с продуктивностью посевов. Поэтому необходимо разрабатывать методы, позволяющие быстро и в полной мере оценивать содержание хлорофилла в посевах. Используемые методы в лабораторных условиях трудоемки и их результаты трудно отнести ко всему полю. Это происходит из-за того, что выравненность посева не идеальна, а при отборе образцов в нескольких частях поля не достаточно репрезентативно. Кроме того, в таких случаях не исключены ошибки, связанные с человеческим фактором. В тоже время, методы дистанционного определения размеров ассимиляционного аппарата разработаны недостаточно как методически, так и технически. Наряду с этим, исследователями пока еще недостаточно полно разработана и определена теоретическая основа механизмов взаимосвязи данных ДЗЗ с физиологическими процессами, проходящими в растениях.

Биологический урожай растений непосредственно связан с таким показателем фотосинтетической деятельности посева, как чистая продуктивность фотосинтеза (ЧПФ). Эта величина показывает количество биомассы, произведенной единицей ассимиляционного аппарата за определенный промежуток времени, что отражает эффективность фотосинтеза (Щедрин В.А., 2006; Соловьёв С.В., 2012). Исследованиями было установлено, что растения в посевах в процессе вегетации создают разное количество сухой биомассы, более того, различия наблюдаются не только в среднем за весь период вегетации, но и в течение суток (Пакуль В.Н., 2009; Подлесных Н.В., 2018). Также установлено, что на ЧПФ оказывают влияние факторы окружающей среды (запасы влаги, сортовые особенности, технология возделывания).

Так как биологический урожай не всегда совпадает с понятием хозяйственной продуктивности растений, исследователи (Ничипорович А.А., 1956)

ввели показатель, характеризующий связь урожая с фотосинтезом – коэффициент хозяйственной эффективности фотосинтеза ($K_{\text{хоз}}$). Он определяет долю сухого вещества, хозяйственно ценной части урожая от веса общей сухой массы, созданной растением в период вегетации, т.е. коэффициент хозяйственной эффективности является важной характеристикой, отражающей способность растений озимой пшеницы к перераспределению органических веществ между генеративными и вегетативными органами. Поэтому, одним из направлений селекции высокопродуктивных сортов стало увеличение $K_{\text{хоз}}$, которое достигалось путем выведения короткостебельных форм с увеличенной функцией роста генеративных органов (Кумаков В.А., 1982; Ерошенко Ф.В., 2006; Ерошенко Ф.В., Петрова Л.Н., 2010). Однако при увеличении функции роста колоса происходило снижение качества зерна. Следовательно, максимальный $K_{\text{хоз}}$ не всегда соответствует максимальному урожаю и может меняться в зависимости от условий выращивания.

Таким образом, формирование продуктивности растений основывается на процессах фотосинтеза, которые зависят от факторов окружающей среды, а также от условий минерального питания. Фотосинтез и минеральное питание это две стороны одного процесса – роста и развития растений.

Интенсивное потребление элементов минерального питания способствует фотосинтетической деятельности растений, которая активизирует метаболизмы элементов питания в них (Кравцова Н.Е., Божков Д.В., 2013; Федулов Ю.П. и др., 2019).

Такой элемент минерального питания, как азот в наибольшей степени оказывает влияние на фотосинтетические процессы, протекающие в растении. Его важность для процессов ассимиляции определяется тем, что он входит в состав хлорофилла, нуклеиновых кислот и белка. С другой стороны, метаболизм азота в растениях непосредственно связан с образованием АТФ и НАДФ в ходе первичных процессов фотосинтеза. Такая взаимосвязь определяет следующую физиологическую закономерность: поступление неоргани-

ческого азота в растение существенно усиливается на свету (Чечура М. и др., 2016; Дубовченко Д.О., 2017).

Литературные данные свидетельствуют о том, что применение азота стимулирует синтез хлорофилла, увеличивает площадь ассимиляционной поверхности и продолжительность работы фотосинтетического аппарата (Конов А.С., Шкотова О.Н., 2012; Horak Ja., Mukhina I.M., 2016; Энговатова И.Г. и др., 2020). Оптимальное содержание этого элемента минерального питания в почве оказывает значительное влияние на интенсивность фотосинтеза.

Так как азот входит в состав всех аминокислот и хлорофилла, его применение способствует ускорению образованию этих веществ. Как следствие, применение азотных удобрений стимулирует рост растений и усиливает накопление биомасса, а также увеличивает их вегетационный период.

Фосфор – элемент минерального питания, который входит в состав белков-нуклеотидов и является составной частью живой клетки. Он стимулирует метаболические и ростовые процессы. Отмечается, что он может положительно действовать на процессы перераспределения пластических веществ в генеративный период. Так исследователями отмечается, что применение фосфора способствует повышению доли зерна в общем урожае у растений озимой пшеницы (Абазова А.М., 2015; Дубовченко Д.О., 2017). Кроме того, фосфор способствует усилению защитных свойств растений к неблагоприятным условиям окружающей среды. Установлено, что растения, хорошо обеспеченные фосфором, быстрее созревают – это помогает избежать негативных воздействие высоких температур.

Исследования показали, что умеренные дозы фосфора увеличивают продолжительность работы фотосинтетического аппарата. Объясняется это тем, что под влиянием фосфора, примерно в одинаковой степени, наблюдается увеличение интенсивности фотосинтеза и дыхания растений (Малкандуев Х.А., 2014; Жирных С.С., 2015; Абазова А.М., 2015). При дальнейшем увеличении концентрации фосфора стимулирующее действие его на дыхание ста-

новится преобладающим, чем на фотосинтез. Следовательно, растения, получающее избыточное фосфорное питание, характеризуются высвобождением в процессе дыхания значительного количества энергии, из-за чего происходит ускорение, как жизненного цикла растительного организма. Этим и объясняется то, что избыток этого элемента минерального питания, в противоположность азоту укорачивает жизненный период фотосинтезирующих органов, ускоряя скорое созревание растений.

Необходимо отметить, что минеральное питание должно быть оптимизировано, так как его избыток или недостаток, ведет к снижению фотосинтетической функции растений. Исследования показали, что при применении больших доз минеральных удобрений снижается чистая продуктивность фотосинтеза (Ерошенко Ф.В., 2006; Полоус Г.П., 2013). Проведенные исследования по выявлению влияния элементов питания на процессы фотосинтеза свидетельствуют о том, что применение минеральных удобрений должно быть основано на принципе достаточности, с одной стороны, и оптимального их соотношением – с другой. Последнее утверждение основывается на закономерностях, представленных в литературе. Так в работах С.С. Жирных (2015) и М. Чечуры (2016) было показано, что фосфорные и калийных удобрений усиливают положительное действие азота на синтез хлорофилла.

Таким образом, фотосинтетическая деятельность растений непосредственно связана как с продукционным процессом и формированием урожая, так и конечной урожайностью. Влияние различных элементов выращивания на ассимиляцию CO_2 и создание органических соединений дает возможность использовать закономерности фотосинтетической продуктивности для научного обоснования совершенствования производства сельскохозяйственных культур и озимой пшеницы, в частности. В литературе встречаются данные о влиянии технологий на фотосинтетическую деятельность. Как правило, они затрагивают закономерности, связанные с одним или двумя технологическими элементами и несколькими фотосинтетическими показателями. Большой не только теоретический, но и практический интерес представляют исследо-

вания, когда дается сравнительный анализ степени зависимости показателей фотосинтетической продуктивности (хлорофилловых и связанных с площадью ассимиляционной поверхностью) от основных элементов технологии выращивания, в том числе от сорта, предшественника, минерального питания, срока сева, нормы высева. Такие комплексные исследования в литературе практически отсутствуют, но они позволили бы наиболее полно раскрыть механизмы, определяющие продуктивность посевов в зависимости от условий выращивания и дать научную основу для разработки систем планирования, моделирования и прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур.

1.3. Радиационный режим посевов

Фотосинтез – основной процесс преобразования солнечной радиации в органические соединения. Запасенная энергия солнечного света используется зелеными растениями в метаболических процессах, благодаря чему появилась вся органика на нашей планете (Шейн Е.В., Гончаров В.М., 2006; Сулейманов Г.И., Назаров А.А., 2015; Рублева Е.С., Гоненко Т.В., 2019). Поэтому трудно переоценить важность фотосинтеза и связанной с ним солнечной радиации для всего человечества. Так как процессы фотосинтеза непосредственно определяются солнечной энергией, то для растений большое значение имеет их радиационный режим.

Изучение закономерностей влияния солнечной радиации на процессы роста, развития и продуктивности растений приобретает всё большее значение в связи с возрастающей актуальностью проблемы увеличения урожайности сельскохозяйственных культур (Лопатин В.Н. и др., 2006; Каргин И.Ф. и др., 2012).

В связи с тем, что радиационный режим связан с физиологическим состоянием и фотосинтетической продуктивностью посевов, то закономерно проявляется его связь с конечной продуктивностью сельскохозяйственных культур. При этом появляется возможность использовать закономерности

радиационного режима для выявления наиболее благоприятных для формирования урожая условий, в том числе с использованием различных элементов технологий выращивания.

Выделяются три основные причины, которые определяют значимость солнечной радиации, приходящей к растению (Шеин Е.В., Гончаров В.М., 2006; Туранов С.Б. и др., 2014): 1. количество приходящей солнечной радиации определяет скорость фотосинтетических реакций; 2. солнечная радиация оказывает влияние на температуру растений, влияющую на его жизнедеятельность; 3. поглощенное электро-магнитное излучение определенных длин волн запускают механизмы фотоморфологических реакций растений.

ФАР – наиболее активная радиация в отношении фотосинтеза и продукционного процесса растений, входящая в коротковолновую область спектра солнечного излучения (Ерошенко Ф.В., 2010; Barwicki Ja., 2013; Рублева Е.С., Гоненко Т.В., 2019). Растения способны усваивать прямой и рассеянный солнечный свет в области определенной длины волны – от 380 до 710 нм. Кроме того, поглощенная солнечная энергия может использоваться растением не только для реакций фотосинтеза, но и в качестве триггера регуляторных механизмов физиологических процессов. Формирование фотосинтетического аппарата происходит под влиянием на него солнечного света, который вызывает изменения в структурной организации хлоропластов и их функциональной активности (Мартиросян Ю.Ц. и др., 2019).

На ФАР приходится около 50,0 % всей солнечной радиации, которая достигает земли, но используется она посевами растений лишь на 2,0-3,0 % вместо теоритически возможных 19,0-20,0 % (Ничипорович А.А., 1956; Филин В.И., 2014; Ибрагимова И.Г., 2018). Сформировать посев с оптимальной структурой возможно используя определенные сорта и агротехнические мероприятия наиболее удачные для области возделывания. В таких посевах происходит усвоение поглощенного ФАР на 7,0-12,0 %.

Растения, в частности озимой пшеницы, способны формировать свой радиационный режим в посевах, после многократного преломления и отраже-

ния солнечных лучей от поверхности листьев и стеблей. По мнению Ф.В. Ерошенко (2006) происходит это из-за особенностей строения растений – их архитектоники: высоте, стеблестоя, ориентации листьев.

Лист является основным органом в растении, который воспринимает и взаимодействует с лучистой энергией солнца, а, следовательно, характеризуется определенными оптическими свойствами (Ибрагимова И.Г., 2018; Мартиросян Ю.Ц. и др., 2019). А.А. Ничипорович (1972) в своей работе указал, что максимальное количество ФАР посев способен поглотить с площадью листьев в 5-7 м²/м². Для такого посева важна пространственная расположение листьев, так как приходящая солнечная радиация должна поглощаться и усваиваться с максимальным коэффициентом полезного действия (КПД) (Ерошенко Ф.В., 2006; Рублева Е.С., Гоненко Т.В., 2019). Но произойдет это, если верхние листья минимально будут закрывать нижние и создадутся условия для вентиляции в посевах. Это возможно при оптимизации геометрической структуры посева, ориентации листовых пластин, густоты и его выравненности (Кононенко Л.А., 2008; Пташник М.М., 2014). Чтобы увеличить продуктивность посевов, необходимо использовать агротехнические приемы выращивания, которые будут способствовать формированию оптимальной площади листьев, что вызовет сильную конкуренцию за воздух и свет. Посев сельскохозяйственных культур – саморегулирующая система. При интенсификации производства озимой пшеницы происходит увеличение продуктивного стеблестоя, что связано увеличением общей площади листовой поверхности, при этом усиливается конкуренция за свет, которая особо проявляется у листовых пластинок нижних ярусов. Решением такой проблемы является выведение сортов с узкими, вертикально ориентированными листьями. Организованный таким образом листовой аппарат обеспечивает более равномерное распределение солнечной радиации в посевах. Как следствие, происходит повышение эффективности использования приходящей ФАР посевами, в результате чего отмечается увеличение чистой продуктивности фотосинтеза. Кроме того, коэффициент хозяйственной эффективности у растений таких

сортов более высокие, а вот в посеве с разреженным стеблестоем преимуществом обладают растения с горизонтальным расположением листьев (Филин В.И., 2014; Моисеева А.А. и др., 2019).

В общей площади ассимиляционной поверхности в репродуктивный период озимой пшеницы основная нагрузка переходит на стебель и колос, а вот вклад листьев снижается. Происходит это потому, что содержание хлорофилла в конце вегетации в нелистовых органах становится существенно выше (Андрианова Ю.Е., Тарчевский И.А., 2000; Ибрагимова И.Г., 2018).

Решение проблемы полегания посевов решалась разными способами, в том числе путем применения ретардантов. Но наиболее эффективным стал генетический – создание короткостебельных сортов. Растения с укороченным стеблем способны формировать урожай с более высоким коэффициентом хозяйственной эффективности. В результате исследований С.Ф. Лыфенко (1975) было установлено, что у сортов, обладающих меньшей высотой, как правило, площадь листовой поверхности не большая. В тоже время, в генеративный период, когда происходит, налив зерна, листовой индекс у низкорослых форм увеличивается, что способствует созданию более благоприятных условий светосбора для формирования качественного зерна. Проведенные исследования Ф.В. Ерошенко (2011) и М.М. Пташник (2014) по изучению радиационного режима у растений озимой пшеницы различных сортов показали, что низкорослые формы с вертикально ориентированными листьями характеризуются лучшими показателями фотосинтетической деятельности и КПД ФАР.

В исследованиях Д.А. Алиева и Э.Г. Казобековой (1988) изучалось влияние выравненности посевов на урожайность озимой пшеницы. Авторы использовали сорта с различной высотой растений (высокорослые, среднерослые и короткостебельные) и высевали их смешивая семена в равных пропорциях. Изучение структуры урожая таких посевов показало, что в основном он определяется высокорослыми формами – на 63-83%. Авторами был сделан вывод, что, во-первых, непременным условием высоких урожаев яв-

ляется выравненность посева, а, во-вторых – низкорослые сорта наиболее перспективны при интенсификации зернового производства.

Объем солнечной радиации, поглощаемый различными ярусами листьев можно регулировать с помощью количества продуктивных стеблей с единицы площади, который зависит от условий окружающей среды и норм высева (Пташник М.М., 2014; Ибрагимова И.Г., 2018). Проведенные исследования показали, что зависимость урожайности озимой пшеницы от стеблестоя характеризуется одним максимумом. В начальный период такой зависимости наблюдается рост урожайности при увеличении продуктивного стеблестоя. Затем кривая выходит на плато, которое определяется усилением конкуренции растений за свет, влагу и углекислый газ. Дальнейшее увеличение такой конкуренции при повышении плотности посева сопровождается снижением урожайности.

Следует отметить, что существует понятие внутриценотического взаимодействия, которое характеризует естественную конкуренцию растений в посевах. По мнению Х.Г. Тооминга (1977), даже при оптимальной густоте стояния происходит снижение урожайности (естественный недобор), который оценивается в среднем 30,0-50,0 %.

Таким образом, посев озимой пшеницы должен иметь такую оптико-биологическую структуру, которая бы позволила с высокой эффективностью использовать приходящую солнечную радиацию. В свою очередь, архитектура посева зависит от условий выращивания, в том числе, от сорта, предшественника, уровня минерального питания, сроков сева и норм высева. К сожалению, результаты исследований в этом направлении, проведенные при использовании современных технологий и с новыми сортами в литературе практически отсутствуют. Они необходимы, так как такие знания позволили бы вариациями элементов технологий добиться такой структуры, которая позволила бы посевам поглощать с наибольшей эффективностью приходящую фотосинтетически активную радиацию и запасать её в урожае.

1.4. Использование данных дистанционного зондирования Земли в сельском хозяйстве

Одним из перспективных путей решения проблемы повышения устойчивости зернового производства является создание автоматизированных систем, позволяющих решать задачи в агропромышленном комплексе на основе данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) (Панеш А.Х., 2017; Игнатьева А.В., 2018; Якушев В.П., 2019).

К задачам дистанционного мониторинга в сельском хозяйстве относятся: определение границ земельных участков, картографирование севооборотов, выявление неиспользуемых или незаконно распаханых земель, определение участков деградации почвы, наблюдение за состоянием посевов на различных этапах развития растений и многое другое.

Данные дистанционного зондирования Земли отличаются оперативностью и объективностью (Михайленко И.М., Якушев В.П., 2016). Так как получаемая информация – результат спутникового мониторинга, то частота её получения зависит от частоты прохождения сканера над исследуемой территорией. Поэтому имеющийся арсенал спутников может обеспечивать пользователей суточными данными ДЗЗ. Кроме того, получаемая со спутника информация не зависит от человеческого фактора и от неравномерности посевов, расположенных на территориях от нескольких гектар до сотен гектаров, а тем более при анализе усредненных данных административно-территориальных субъектов. Получение данных происходит в определенном стандартном виде и существует возможность накопления статистической информации, а также использования ее для прогнозов урожайности или оценок ущербов (Сторчак И.Г., 2016; Денисов и др., 2021).

Данные дистанционного зондирования Земли представляют собой снимки определенных территорий, сделанных в различных спектрах электромагнитных волн. Как правило, для анализа полученного материала используется такая характеристика снимка, как коэффициент спектральной яр-

кости, который затем используется при расчетах различных показателей для описания состояние посевов. (Hashemi S.A., Fallah Chai M.M., 2013; Замалитдинова М.Г. и др., 2019). Эти показатели называются вегетационными индексами (ВИ). Их существует более 160 видов. Наиболее часто используемые из них: относительный, усовершенствованный, инфракрасный, разностный, перпендикулярный, взвешенный разностный, трансформированный, почвенный, нормализованный разностный ВИ.

Ф.В. Ерошенко (2016) был предложен вегетационный индекс фотосинтетического потенциала посева (ВИФП). Он рассчитывается по данным ДЗЗ и отражает процесс формирования урожая зерна. ВИФП можно использовать для характеристики физиологического состояния посевов сельскохозяйственных культур, мониторинга их реакции на технологические приемы выращивания, а также для прогнозирования урожайности.

Подбираются ВИ экспериментальным путем, исходя из особенностей спектральной отражательной способности растений или почвы. В основном при расчетах используются коэффициенты спектральной яркости в красной (RED) и в ближней инфракрасной (NIR) областях спектра электромагнитных волн.

Самым используемым и распространенным вегетационным индексом, который используется при оценке сельскохозяйственных посевов или иных насаждений – это NDVI (нормальный разностный вегетационный индекс), который рассчитывается по следующей формуле:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}, \text{ где} \quad (1)$$

NIR – коэффициент спектральной яркости в ближней инфракрасной области спектра,

RED – коэффициент спектральной яркости в красной области спектра.

Концепцию данного индекса впервые представил Kriegler (1969). NDVI принимает положительное значение для растительности, и чем больше биомасса, тем он выше. На значения индекса может повлиять видовой состав

растительности, ее густота, угол наклона поверхности, цвет почвы (если редко растущая растительность) (Ничипорович З.А., Радевич Е.А., 2012; Pisman T.I., 2020).

Главным преимуществом при вычислении индекса NDVI является то, что не требуется никаких дополнительных данных, кроме самой космической съемки и знания ее параметров. Этот вегетационный индекс используют для различных целей, в том числе для составления карт продуктивности различных посевов и насаждений, а также для построения эколого-климатических картограмм (Verhulst N., Govaerts, B., 2010; Замалитдинова М.Г. и др., 2019).

Из литературных данных известно, что NDVI имеет связь с физиологическим состоянием растений и с продукционным процессом посевов, что позволяет использовать его для оценки хода формирования урожая, а также для прогнозирования урожайности. Использование NDVI в таком качестве обусловлена тем, что максимум поглощения хлорофилла находится в красной области электромагнитных волн и его величина зависит от количества зеленых пигментов. Кроме того, клеточные структуры растительности отражают в инфракрасной области электромагнитных волн, то есть, такое отражение напрямую связано с общей площади ассимиляционной поверхности растений (Сторчак И.Г., Ерошенко Ф.В., 2014; Зборовская О.В. и др., 2016).

Онтогенетические изменения значения вегетационного индекса имеют характерную динамику, зависящую от биологических особенностей сельскохозяйственной культуры, что позволяет использовать данные ДЗЗ для идентификации посевов. Для этого выявляются специфические участки, характерные только для выбранного вида растений. Литературные данные свидетельствуют о проведении исследований в этой области по рапсу, ячменю, кукурузе, озимой пшенице, картофелю, рису, овсу, многолетним травам. Изучались спектрально-отражательные свойства их посевов и были построены соответствующие динамики NDVI (Терехин Э.А., 2014; Boori M.S., 2020).

Основной показатель эффективности сельскохозяйственного производства – это урожайность сельскохозяйственных культур. Поэтому ее прогно-

зирование является важным направлением исследований с использованием оперативных и объективных данных, которые позволяют получить дистанционное зондирование Земли (Майорова В.И. и др., 2013).

В настоящее время существует немало способов прогноза урожая: обработка результатов мониторинга, оценка состояния полей по вегетационным индексам, построение регрессионных моделей зависимости урожайности от вегетационных индексов (Береза О.В. и др., 2015; Сторчак И.Г., 2016). При построении регрессионных моделей в качестве данных ДЗЗ используют вегетационный индекс NDVI. Установлено, что этот показатель зависит от сроков сева, состояния растительности и почвенно-климатических условий.

Проведенный анализ литературных источников показал, что формирование урожая зерна посевами озимой пшеницы напрямую определяется фотосинтетической деятельностью, характеристиками которой являются показатели, рассчитанные как по площади ассимиляционной поверхности, так и по содержанию хлорофилла. Но такие показатели трудоемки, требуют не только полевых обследований, но и лабораторных анализов. К тому же, есть большая вероятность получения не вполне объективной информации, что связано с неоднородностью полей и ошибками при проведении анализов. Избежать таких недостатков можно применяя данные дистанционного зондирования Земли, о чем свидетельствуют литературные источники, в которых указывается на существование высокой степени связи NDVI и продуктивностью. В тоже время, считается (Сторчак И.Г., Ерошенко Ф.В., 2014), что тесная связь ДЗЗ с урожайностью наблюдается при применении такого подхода к большим территориям (район, область, край), когда в анализе используются усредненные спутниковые данные для всех посевов озимой пшеницы, а для отдельных полей такая связь неустойчива. Авторы считают, что причина такой закономерности кроется во влиянии технологических особенностей на оптико-биологические свойства посевов: при использовании усредненных данных большого количества полей они нивелируются, а на отдельных полях – проявляются. Чтобы избежать этого необходимы исследования по выявлению

нию влияния элементов технологии на вегетационный индекс NDVI и показатели фотосинтетической продуктивности, которые позволили бы раскрыть механизмы связи данных ДЗЗ с урожайностью, дали возможность построить регрессионные модели, учитывающие такое влияние, и были корректными для отдельных полей.

2. УСЛОВИЯ И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1. Почвы зоны и опытного участка

Исследования проводились на экспериментальной базе отдела физиологии растений ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ» (ранее ФГБНУ «Ставропольский НИИСХ»), расположенной в Шпаковском районе зоны неустойчивого увлажнения Ставропольского края. Почвы зоны представлены в основном черноземами, которые были сформированы в условиях неустойчиво-влажного и засушливого климата (Куприченков, М.Т., 2005). Выделяются типичные, выщелоченные, обыкновенные и южные черноземы. Типичные и выщелоченные черноземы распространены в предгорной и центральной части Ставропольской возвышенности, занимают лишь 1,0 % территории. Южные чернозёмы залегают по границе между обыкновенными и темно-каштановыми почвами, растягиваясь неширокой полосой длиной около 70 км, что занимает 10,0 % территории. Черноземы обыкновенные являются самыми распространёнными среди встречающихся подтипов чернозёмов, на их долю приходится пятая часть площади Ставропольского края (Кулинцев В.В. и др., 2013).

По своим физическим свойствам черноземы считаются благоприятными для выращивания различных сельскохозяйственных культур. Такие черноземы отличаются оптимальной плотностью сложения – 1,10-1,17 г/см³, высокой пористостью – 55,0-60,0 %, выраженной структурой и благоприятными водно-физические свойства.

Почва участка, на котором проводились исследования, представлена черноземами обыкновенными карбонатными малогумусными среднemosными тяжелосуглинистыми.

Перед закладкой опыта было проведено агрохимическое исследование пахотного слоя почвы (таблица 1). С 2016 по 2018 годы исследований значения элементов минерального питания в почве изменялись не значительно.

Таблица 1 – Содержание элементов минерального питания в 0-20 см пахотного слоя почвы, мг/кг (среднее за 2016-2018 гг.)

№ п/п	Предшественник	Содержание элементов минерального питания в 0-20 см слое почвы, мг/кг		
		Азот	Фосфор	Калий
1	Озимая пшеница	5,5	23,0	236,0
2	Черный пар	10,4	31,0	310,0

Таким образом, анализ содержания элементов минерального показал, что обеспеченность почвы опытного участка минеральным азотом по предшественнику озимая пшеница очень низкая, подвижными формами фосфора – недостаточная, обменным калием – средняя; по предшественнику черный пар: азотом – низкая, фосфором – средняя, калием – достаточная.

2.2. Климатическая характеристика зоны

Почвенно-климатическая зона неустойчивого увлажнения (Ш) Ставропольского края включает Шпаковский, Кочубеевский, Грачевский, Труновский, Красногвардейский, Андроповский, Петровский и Александровский муниципальные округа, а также Новоалександровский и Изобильненский городские округа. Территория этой зоны занимает 25,0 % от общей площади края.

Характерной особенностью зоны является неустойчивое увлажнение по годам, в тоже время выпавшие осадки распределены неравномерно в течение года. Среднегодовое количество осадков, которое было определено за период 1991-2010 гг., составляет 575 мм. Следует отметить, что на вегетационный период приходится порядка 400-450 мм. Гидротермический коэффициент равняется 1,0-1,1, коэффициент увлажнения – 0,27-0,31 (Антонов С.А., Желнакова Л.И., 2011). Основное количество осадков, выпадающих за весь период вегетации растений, быстро испаряется под действием высоких температур, низкой влажности и ветров. Часто осадки выпадают в виде коротких и

сильных ливней, сопровождающихся грозой, нередко градом. Кроме того, большая часть территории края неровная, поэтому вода, стекая быстро по склонам ухудшая водный режим почвы (Верёвкина С.И., 2008; Антонов С.А., 2019).

Анализ климатических условий зоны, приведенный в работах С.А. Антонова (2017) свидетельствует о том, что среднегодовые температуры воздуха составляют 10,0-11,0 °С, сумма температур выше 10 °С – 3300-3650 °С. В зоне неустойчивого увлажнения края зима умеренно холодная, с частыми оттепелями. Самым холодным месяцем считается январь, среднемесячная температура воздуха в это время составляет – 4 °С, минимальная температура воздуха может опускаться до –34 °С. В это время года преобладают восточные ветры. Продолжительность безморозного периода составляет порядка 180-195 дней. Сход снежного покрова, средняя высота которого составляет 10-15 см, наблюдается в начале марта. Температуры весной нарастают быстро, переход суточных температур через отметку +5 °С наступает в конце марта-начале апреля. Лето довольно жаркое, среднемесячная температура воздуха в июле составляет +24 °С, максимальная температура воздуха может достигать отметки +42 °С. В этот период наблюдаются восточные и юго-восточные ветры.

Таким образом, несмотря на неравномерность выпадения осадков, низкую относительную влажность воздуха и суховеи, зона неустойчивого увлажнения Ставропольского края является благоприятной для возделывания озимой пшеницы, так как основное количество осадков выпадает во время ее активной вегетации, а высокая сумма плюсовых температур положительно влияет на рост и развитие растений озимой пшеницы, а также на формирование высокого урожая качественного зерна.

2.3. Метеорологические условия проведения исследований

Метеорологические условия в годы проведения исследований были типичными для зоны неустойчивого увлажнения Ставропольского края и в це-

лом благоприятными для возделывания озимой пшеницы. Чрезвычайных погодных явлений с 2016 по 2018 гг. отмечено не было. Однако каждый год исследований имел свои особенности.

В 2015-2016 сельскохозяйственном году температура воздуха составила 11,1 °С, что выше средних климатических значений (9,5 °С) на 1,6 °С. В апреле среднемесячная температура была равна 11,9 °С – это на 2,3 °С больше, по сравнению с климатической нормой (9,6 °С) (таблица 2). Температурный режим периода созревания зерна и уборки урожая был близок к средним многолетним значениям.

Таблица 2 – Погодные условия за 2015-2016 сельскохозяйственный год

Месяц	Температура воздуха, °С					Осадки, мм				
	за декаду			за месяц	средне-много-летняя	за декаду			за месяц	средне-много-летние
	I	II	III			I	II	III		
Август	26,4	24,7	19,6	23,4	21,8	0	1	14	15	43
Сентябрь	24	16,3	19,5	19,9	16,4	7	8	0	15	47
Октябрь	13,1	6,5	6	8,5	10	0	32	8	40	49
Ноябрь	5,4	3,9	9,1	6,1	3,4	0	54	3	57	45
Декабрь	1,7	0,2	1,9	1,3	-0,7	10	12	68	90	33
Январь	-7	1,8	-4,4	-3,2	-2,3	5	27	21	53	27
Февраль	2,4	2,9	5,2	3,4	-2,3	8	6	2	16	29
Март	6,5	7	5,3	4,8	2,3	1	9	32	42	35
Апрель	9,4	14,2	12,1	11,9	9,6	2	7	8	17	44
Май	13	14,6	16,8	15,2	14,9	28	34	41	103	66
Июнь	15,5	20,6	24,6	20,2	19,2	52	20	13	85	83
Июль	22	23,6	21,2	22,2	22,3	41	26	41	108	57
Итого	–	–	–	11,1	9,5	–	–	–	641	558

Погодные условия 2015-2016 гг. характеризовались дефицитом осадков в период сева и в начальный период развития зерна. Так, с августа по октябрь выпало 70 мм осадков, что составляет 50,4 % от среднемноголетних значений.

Влагообеспеченность посевов улучшилось в период с ноября по январь, когда количество осадков превысило среднемноголетние показатели на 12, 57 и 26 мм или на 27,0, 72,0 и 96,0 % соответственно. Благоприятным по влагообеспеченности был и генеративный период, когда с мая по июль осадков выпало – 296 мм, что больше климатической нормы на 90 мм или на 43,7 %.

В 2016-2017 гг. температура воздуха в среднем составила 9,4 °С, что оказалось практически равной среднемноголетнему значению (9,5 °С). Существенно ниже климатической нормы была отмечена температура в октябре и декабре 2016 г. – на 2,7 и 3,4 °С соответственно, а уже в марте 2017 г. ее значения были выше на 2,2 °С. Август 2016 и июль 2017 гг. были теплее обычного на 2,5 и 1,4 °С соответственно. Остальные месяцы этого сельскохозяйственного года по температуре воздуха были близки к средним многолетним значениям (таблица 3).

В среднем за 2016-2017 гг. осадков выпало на 18,1 % больше среднемноголетнего. Однако в августе 2016 г. отмечался их недостаток перед посевом, который составил 53,5 %, а уже в сентябре осадков выпало на 15 мм больше нормы, что улучшило ситуацию на полях. Затем в октябре и ноябре снова наблюдался их дефицит на 19,5 и 32,3 %. В декабре, феврале и марте количество осадков превышало средние климатические показатели на 100,0, 34,5 и 48,6 % соответственно, поэтому ранней весной посеvy озимой пшеницы были обеспечены влагой в полной мере. Недостаток осадков в апреле 2017 г. существенно не повлиял на рост и развитие растений, так как дожди, прошедшие в мае, превысили климатическую норму на 163,6 %.

2017-2018 сельскохозяйственный год отличался неустойчивым температурным режимом и неравномерным выпадением осадков.

Таблица 3 – Погодные условия за 2016-2017 сельскохозяйственный год

Месяц	Температура воздуха, °С					Осадки, мм				
	за декаду			за ме- сяц	средне- много- летняя	за декаду			за ме- сяц	средне- много- летние
	I	II	III			I	II	III		
Август	25,4	23,4	24,1	24,3	21,8	4	14	10	28	43
Сентябрь	19,7	17	10,7	15,8	16,4	1	9	52	62	47
Октябрь	14,5	5,2	2,7	7,3	10	5	16	20	41	49
Ноябрь	6,7	2,4	1,3	3,5	3,4	11	16	7	34	45
Декабрь	-3,4	-5,2	-3,8	-4,1	-0,7	25	40	1	66	33
Январь	0,3	-1,8	-6,5	-2,8	-2,3	3	1	13	17	27
Февраль	-4,7	-5,2	4,4	-2,3	-2,3	24	5	10	39	29
Март	4,7	4,4	4,5	4,5	2,3	8	11	33	52	35
Апрель	7,8	10,8	9,4	9,3	9,6	6	1	14	21	44
Май	15,8	12,9	14,4	14,4	14,9	43	72	48	174	66
Июнь	18,7	17,2	21	19	19,2	6	64	12	82	83
Июль	23,1	24,4	23,7	23,7	22,3	15	0	28	43	57
Итого	–	–	–	9,4	9,5	–	–	–	639	558

Среднемноголетнее значение температуры в 2017-2018 гг., как и в 2015-2016, была выше на 1,9 °С и составил 11,4 °С. Этот год отличался довольно теплой зимой – средняя температура воздуха за декабрь-февраль составила около двух десятых градуса, что почти на два градуса выше климатической нормы. За период весенне-летней вегетации (с апреля по июнь) температура воздуха была на 7,3 °С выше средних климатических значений (таблица 4).

В августе и сентябре 2017 года осадков выпало в 3 раза меньше климатической нормы, поэтому сев озимой пшеницы проводили в иссушенную почву. Ситуация на полях улучшилась после дождей в октябре, количество которых составило 92 мм, что выше среднемноголетних значений на 87,8 %.

С декабря 2017 г. по март 2018 г. выпавшие обильные осадки, количество которых на 133,0, 62,0, 45,0 и 151,0 % было больше средних климатических значений в декабре, январе, феврале и марте соответственно, позволили накопить достаточно влаги в почве для благоприятного прохождения засушливого периода с апреля по июнь.

Таблица 4 – Погодные условия за 2017-2018 сельскохозяйственный год

Месяц	Температура воздуха, °С					Осадки, мм				
	за декаду			за ме- сяц	средне- много- летняя	за декаду			за ме- сяц	средне- много- летние
	I	II	III			I	II	III		
Август	27,4	23,8	21,7	24,2	21,8	0	1	11	12	43
Сентябрь	20,7	23,4	14,2	19,4	16,4	15	0	0	15	47
Октябрь	10,5	10,5	7,9	9,6	10	7	34	51	92	49
Ноябрь	5,8	7,3	-1,4	3,9	3,4	0	1	7	8	45
Декабрь	2,5	3,5	1,8	2,6	-0,7	21	4	52	77	33
Январь	0,7	-5,8	-2,4	-2,5	-2,3	17	14	13	44	27
Февраль	2,1	0,3	-1,5	0,3	-2,3	9	26	7	42	29
Март	2,1	4,1	4,3	3,5	2,3	19	17	52	88	35
Апрель	8,5	10,5	13,5	10,8	9,6	0	8	7	15	44
Май	17	17,7	18,3	17,7	14,9	23	7	14	44	66
Июнь	19	21,7	26,8	22,5	19,2	0	0	0	0	83
Июль	24,6	24,5	25,5	24,9	22,3	55	9	14	78	57
Итого	–	–	–	11,4	9,5	–	–	–	515	558

Таким образом, метеорологические условия в 2016-2018 гг. характеризовались засушливыми периодами перед посевом (август-сентябрь) озимой пшеницы, хорошей влагообеспеченностью после него (октябрь-ноябрь), мягкими зимами и ранним возобновлением весенней вегетации. Весенне-летний период 2016 г. был влажным и теплым, 2017 г. – оптимальный по температуре с большим количеством осадков, 2018 г. – с недостатком осадков.

2.4. Методика исследований

Представленные результаты являются материалом экспериментальных исследований, проводимых в период с 2016 по 2018 годы. Каждый год опыты принимались методической комиссией по растениеводству, земледелию и экономике (протоколы №3 от 06.07.2016, №3 от 06.06.2017, №1 от 18.06.2018).

Объектами исследований являлись посевы новых высокопродуктивных сортов озимой мягкой пшеницы селекции ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ»: Зустрич (стандарт), Арсенал, Ставка, Стась.

Изучаемые сорта отличались по биологическим и хозяйственным показателям:

Зустрич – включен в Госреестр РФ по Северо-Кавказскому региону с 2007 г. Оригинаторами и патентообладателями являются ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ» и Одесский селекционно-генетический институт. Имеет преимущество по урожайности перед сортами-стандартами во всех почвенно-климатических зонах Ставропольского края: в крайне засушливой зоне – 5,6 т/га, засушливой – 6,9 т/га, в зоне неустойчивого увлажнения – 7,0 т/га (Кулинцев В.В. и др., 2019). Устойчив к полеганию и осыпанию. Относится к степному экотипу с высокой экологической пластичностью и засухоустойчивостью. Обладает высокой морозоустойчивостью. Зерно имеет высокое качество относящиеся к сильным пшеницам. Так, сила муки составляет 300 е.а., содержание белка до 13,5 %, клейковины – 28,6 %, выход муки – 73,0 %, объем хлеба – 1350 см³, общая оценка хлеба в баллах – 4,6. Сорт принадлежит к универсальному типу, может выращиваться по общепринятой технологии по всем предшественникам, но лучшим является пар, зернобобовые и многолетние травы.

Арсенал – внесен в Госреестр РФ по Северо-Кавказскому и Нижневолжскому регионам с 2019 года. Выведен в ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ». Растения полукарликовые (77-87 см). Обладает высокой устойчиво-

стью к полеганию, не осыпается и не прорастает на корню. Сорт скороспелый. Зимоморозостойкость, засухоустойчивость и жаростойкость – высокая. За годы конкурсных испытаний (2014-2018 гг.) средняя урожайность зерна по предшественнику пар составила 6,8 т/га, а максимальная – 9,9 т/га. Сорт Арсенал имеет высокое качество зерна, соответствующее сильным пшеницам. Среднее содержание белка за годы испытаний составило 15,0 %, клейковины – 29,4 %, сила муки – 342 е. а., объем хлеба – 714 см³, оценка хлеба – 5 баллов.

Ставка – внесен в Госреестр РФ с 2017 г. по Нижневолжскому региону, с 2018 г. по Северо-Кавказскому региону. Оригинатором и патентообладателем является ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ». Сорт низкорослый – высота растений 87 см. Обладает высокой устойчивостью к полеганию; скороспелый; зимо- и морозостойкость, а также засухоустойчивость и жаростойкость высокая; не осыпается и не прорастает на корню. Средняя урожайность зерна за годы испытаний (2012-2016 гг.) составила 6,2 т/га, а максимальная – 9,1 т/га. Сорт имеет очень высокое качество зерна, соответствующее сильным пшеницам. Среднее содержание белка в зерне – 15,8 %, клейковины – 29,9 %, сила муки – 335 е. а., объем хлеба – 779 см³, оценка хлеба в баллах – 5. Для сорта подходят оптимальные, конец оптимальных и поздние сроки сева; нормы высева общепринятые для зон возделывания озимой пшеницы.

Стать – внесен в Госреестр РФ с 2019 г. по Нижневолжскому региону. Выведен в ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ». Сорт низкорослый, высота растений: 89-96 см. Обладает высокой устойчивостью к полеганию. Скороспелый, выколашивается и созревает на 3 дня раньше стандарта. Характеризуется высокой зимоморозостойкостью, засухоустойчивостью и жаростойкостью. Не осыпается и не прорастает на корню. Средняя урожайность зерна за годы исследований (2014-2018 гг.) составило 6,6 т/га, максимальная – 9,5 т/га. Сорт имеет высокое качество зерна, соответствующее сильным пшеницам: среднее содержание белка в зерне – 15,9 %, клейковины – 30,3 %, сила

муки – 403 е. а., объем хлеба – 791 см³, общая оценка хлеба составила 5 баллов. Сорт. Предназначен для посева по удобренным непаровым предшественникам, полупару, парам, среднеинтенсивным, экстенсивным технологиям и на засоленных почвах. Подходят оптимальные, конец оптимальных и поздние сроки сева. Нормы высева общепринятые для зон возделывания пшеницы мягкой озимой.

Для достижения цели исследований было заложено 3 полевых опыта. Использованы одна трехфакторная и две двухфакторные схемы (Доспехов Б.А., 2014).

Опыт №1:

- фактор А – предшественник (озимая пшеница и черный пар);
- фактор В – уровень минерального питания (контроль – без удобрений и удобренный – N₆₀P₆₀K₆₀ перед посевом, N₃₀ ранней весной);
- фактор С – сорт (Зустріч, Арсенал, Ставка, Сталь).

В этом опыте изучали влияние предшественников и уровня минерального питания на эффективность возделывания озимой пшеницы различных сортов. Посев проводился рядовой сеялкой СЗП-3.6. Глубина заделки семян – 3,5-4,5 см. Обработка семян озимой пшеницы осуществлялась протравителем Максим Форте (0,32 л/га). Высевали сорта в трехкратной повторности. Площадь делянок по 25 м². Срок посева – оптимальный (с 30 сентября по 5 октября). Норма высева – 5,0 млн./га. По вегетации проводили плановые обработки гербицидом Калибр (0,05 л/га) и фунгицидом Альто Турбо (0,5 л/га).

Опыт №2:

- фактор А – сроки сева (ранний – с 15 по 20 сентября, оптимальный – с 30 сентября по 5 октября, поздний – с 15 по 20 октября);
- фактор В – сорт (Зустріч, Арсенал, Ставка, Сталь).

В опыте было изучено влияние сроков сева на эффективность возделывания озимой пшеницы различных сортов. Посев проводился рядовой сеял-

кой СЗП-3.6. Глубина заделки семян – 3,5-4,5 см. Обработка семян озимой пшеницы осуществлялась протравителем Максим Форте (0,32 л/га). Высеивали сорта в трехкратной повторности. Площадь делянок по 25 м². Предшественник – озимая пшеница. Фон минерального питания – N₆₀P₆₀K₆₀ перед посевом, N₃₀ ранней весной. Норма высева – 5,0 млн./га. По вегетации проводили плановые обработки гербицидом Калибр (0,05 л/га) и фунгицидом Альто Турбо (0,5 л/га).

Опыт №3:

- фактор А – нормы высева (4, 5 и 6 миллионов всхожих семян на гектар);
- фактор В – сорт (Зустріч, Арсенал, Ставка, Сталь).

В этом опыте изучали влияние норм высева на эффективность возделывания озимой пшеницы различных сортов. Посев проводился рядовой сеялкой СЗП-3.6. Глубина заделки семян – 3,5-4,5 см. Обработка семян озимой пшеницы осуществлялась протравителем Максим Форте (0,32 л/га). Высеивали сорта в трехкратной повторности. Площадь делянок по 25 м². Предшественник – озимая пшеница. Фон минерального питания – N₆₀P₆₀K₆₀ перед посевом, N₃₀ ранней весной. Срок посева – оптимальный (с 30 сентября по 5 октября). По вегетации проводили плановые обработки гербицидом Калибр (0,05 л/га) и фунгицидом Альто Турбо (0,5 л/га).

Схема размещения делянок в опытах представлена на рисунке 2.

Подготовку и обработку почвы, а также уходные мероприятия за посевами озимой пшеницы проводили согласно «Системе земледелия нового поколения Ставропольского края» (В.В. Кулинцев и др., 2013) (таблица 5).

Для решения поставленных задач в полевых опытах изучали: показатели роста и развития растений озимой пшеницы, фотосинтетическую деятельность, радиационный режим и NDVI посевов, а также определяли структуру урожая и качество зерна.

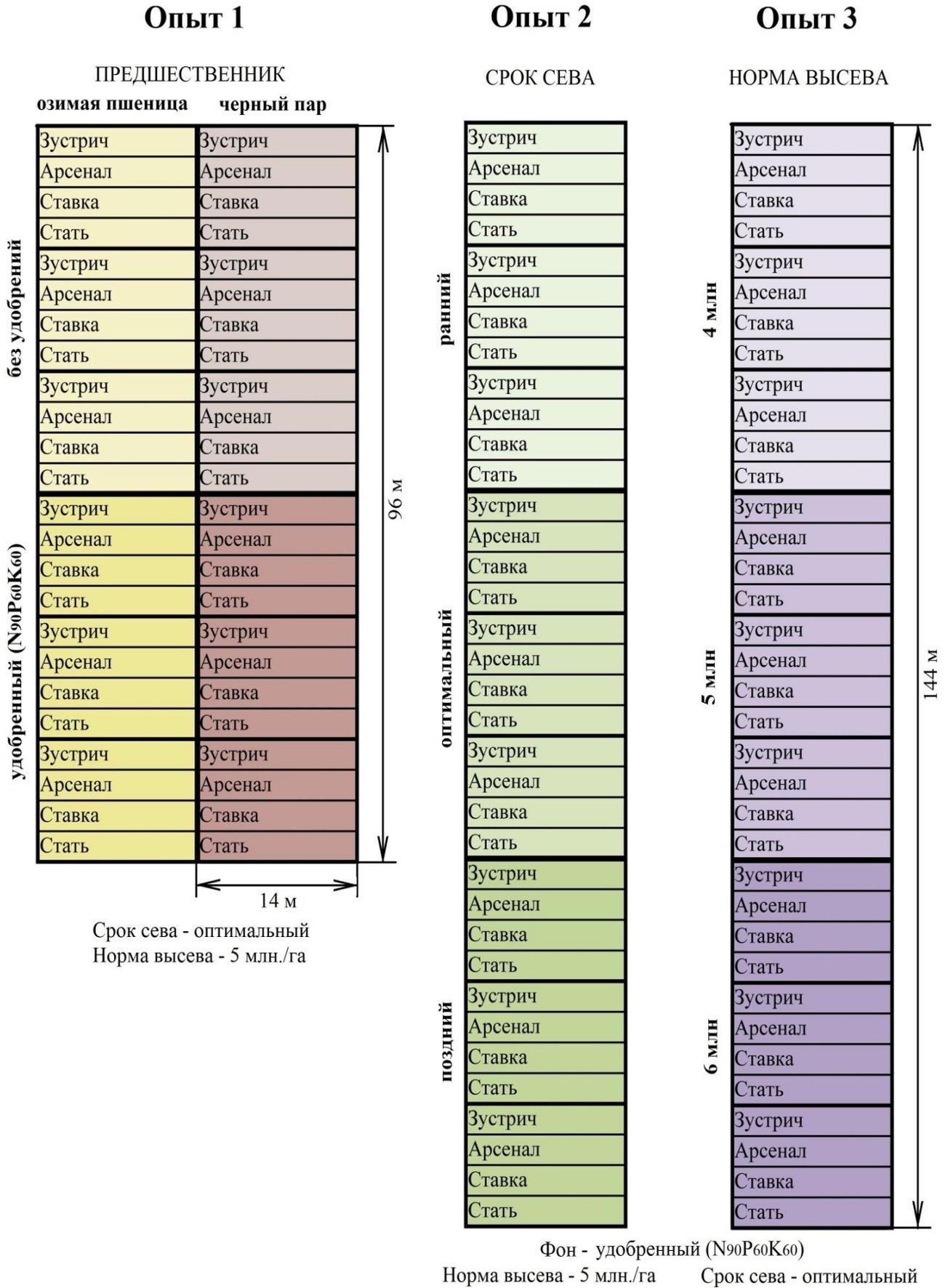


Рисунок 2 – Схема размещения делянок в опытах

Таблица 5 – Технологическая карта возделывания озимой пшеницы по предшественнику черный пар и озимая пшеница

Технология возделывания озимой пшеницы по предшественнику черный пар	Технология возделывания озимой пшеницы по предшественнику озимая пшеница
Пожнивное рыхление, 5-6 см, ЛДГ-15 БИГ-3	-
Лушение, 6-8 см, ЛГД-15 БДТ-7 ППЛ-10-25	-
Вспашка комбинированным агрегатом, 20-22 см, ПТК-9-35 ПНЛ-8-40+ПВР-3,5 ПНЛ-5-40+ПВР-2,3	-
Весеннее боронование, БЗТ-1 БЗСС-1	-
Культивация почвы (2-3 раза), 8-10 см, 6-8 см, КПС-4+БЗСС-1	-
Боронование почвы, БЗСС-1	-
Лушение стерни, 10-12 см, К-744+БДМ-4	Лушение стерни, 10-12 см, К-744+БДМ-4
Повторное лушение стерни, 12-14 см, К-744+БДМ-4	Повторное лушение стерни, 12-14 см, К-744+БДМ-4
Культивация с боронованием, 8-10 см, К-744+КТП-9,4	Культивация с боронованием, 8-10 см, К-744+КТП-9,4
Протравливание семян, ПС-10	Протравливание семян, ПС-10
Предпосевная культивация, 4-6 см, МТЗ-80+КСПС-4	Предпосевная культивация, 4-6 см, МТЗ-80+КСПС-4
Посев с внесением минеральных удобрений, МТЗ-80+2СЗ-3,6	Посев с внесением минеральных удобрений, МТЗ-80+2СЗ-3,6
Прикатывание, МТЗ-80+3ККШ-6	Прикатывание, МТЗ-80+3ККШ-6
Ранневесенняя подкормка	Ранневесенняя подкормка
Обработка гербицидом, МТЗ-80+ОП-2000	Обработка гербицидом, МТЗ-80+ОП-2000
Обработка фунгицидом, МТЗ-80+ОП-2000	Обработка фунгицидом, МТЗ-80+ОП-2000
Уборка, Samro-130	Уборка, Samro-130
Отвоз зерна с поля, КАМАЗ	Отвоз зерна с поля, КАМАЗ

Отборы производили в фазы весеннее кущение, трубкование, колоше-ние, налив зерна и полную спелость (на IV, VI, VIII, X и XII этапах органогенеза). Образцы отбирались в трехкратной повторности с площади 0,25 м² на каждом варианте опыта. В лабораторных условиях подсчитывалось количество растений на 1 м² посева. Отобранные растения разделяли на листья, стебли и колосья, в исследованиях определяли влажность органов для пере-счета на абсолютно сухое вещество. Определение влажности проводили по общепринятой методике. Образцы фиксировали в сушильном шкафу при +105 °С, досушивали при +60 °С. Высушенные образцы после размола ис-пользовали для химических анализов.

Величина площади листовой поверхности и стеблей определяли весо-вым методом по А.А. Ничипоровичу, а колоса по формуле В.А. Кумакова (Ерошенко Ф.В. и др., 2020):

$$S_{\text{колоса}} = 3,8 \times A \times B, \text{ где} \quad (2)$$

A – длина колоса,

B – ширина.

Накопление хлорофилла в растениях в онтогенезе определяли по мето-ду Я.И. Милаевой и Н.П. Примака (1969). Растения разбирали на органы, бра-ли навеску. Извлечение пигментов этиловым спиртом проводилось в темном сушильном шкафу (+40 °С). Оптическую плотность спиртовой вытяжки из-меряли на спектрофотометре SPECOL-11. При расчете количества пигментов использовали систему уравнений Винтерманса и Де Мотса (1965):

$$C = 6,1 \times D_{665} + 20,0 \times D_{649} \quad (3)$$

$$A = \frac{C \times V}{P} \times 100, \text{ где} \quad (4)$$

C – содержание хлорофилла в мг/л,

D – значения оптических плотностей в максимумах поглощения хло-рофилла а и b в красной области спектра,

A – содержание пигментов в мг/г сухого веса,

V – концентрация пигментов в мг/л,

P – навеска растительного образца.

Показатели продукционных процессов определяли общепринятым методом по данным о величине поверхности фотосинтезирующих органов, а также по содержанию хлорофилла.

NDVI определяли прибором «GreenSeeker®», фирмы Trimbl, USA (Verhulst N., Govaerts, B., 2010). Измерения выполняли непосредственно над посевом на расстоянии 50 см от его поверхности по 4-6 замера на каждой повторности в течении вегетации с интервалом 6-9 дней.

Радиационный режим посевов определялся путем прямых замеров солнечной радиации над посевом и в посевах пиранометром Ю.Д. Янишевского (1957) с гальванометром ГСА-1 в период колошения.

Урожайность зерна озимой пшеницы определяли прямым комбайновым и биологическим способом. Собранный урожай взвешивался и приводился к 14,0 % влажности зерна. Технологические качества зерна определяли в соответствии с методами ГОСТа Р52554-2006. Основные качественные показатели: содержание клейковины (%) и показания ИДК (отн. ед.) – согласно ГОСТ 13586.1.

Результаты экспериментальных исследований обрабатывали методом корреляционного и дисперсионного анализа по методикам И.А. Плохинского (1970) и Б.А. Доспехова (1979) на персональном компьютере. По величинам коэффициента корреляции определяли тесноту взаимосвязи между рассматриваемыми показателями с использованием шкалы Чеддока-Снедекора (Сизова Т.М., 2013). В работе использовалось следующее программное обеспечение: Statistica 10.0, ArgStat, Microsoft Office 2010 и Microsoft Office Excel.

3. ФОТОСИНТЕТИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ПОСЕВОВ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ

В основе продукционного процесса, ведущего к формированию урожая, лежит фотосинтетическая деятельность растений. Из литературных данных известно, что существует прямая связь между фотосинтезом и урожайностью растений (Петров Н.Ю., Онищенко Н.С., 2012; Хашагульгова М.А. и др., 2016; Mbarki S., 2018). Поэтому изучение влияния различных технологических приемов выращивания озимой пшеницы на особенности фотосинтетической продуктивности растений необходимо для того, чтобы определить механизмы их влияния на формирование урожая.

3.1. Площадь ассимиляционной поверхности

Важным фактором, определяющим высокую продуктивность растений, является хорошо развитый фотосинтетический аппарат. То есть, ассимиляционная поверхность должна быть определенных размеров и сохраняться в течение длительного времени при условии высокой фотосинтетической активности (Нешин И.В. и др., 2008; Ерошенко Ф.В., Петрова Л.Н., 2010).

Размеры фотосинтетического аппарата часто характеризуют таким показателем как листовой индекс (ЛИ) или максимальная площадь листьев – это площадь листового аппарата на 1 м² посева (Подушин Ю.В. и др., 2009; Березов З.Т. и др., 2017). Наши исследования показали, что различные элементы технологии возделывания озимой пшеницы оказывают существенное влияние на размеры листового аппарата. В среднем по сортам за годы исследований площадь листьев в период колошения озимой пшеницы по паровому предшественнику была больше, чем по колосовому на 31,5 % (таблица 6). Улучшение условий минерального питания по предшественнику черный пар способствовало увеличению листового индекса на 55,2 %, а по предшественнику озимая пшеница на 84,7 %. На оптимальном сроке сева значения этого показателя были больше, чем на раннем и позднем, на 52,9 и 45,0 % соответ-

ственно, а при 5 миллионах всхожих семян на 1 га значения листового индекса выше, чем при 4 и 6 млн./га, на 24,9 и 50,5 % соответственно (таблица 7).

Таблица 6 – Максимальная площадь листьев (листовой индекс) посевов озимой пшеницы в зависимости от предшественника и уровня минерального питания, $\text{м}^2/\text{м}^2$ (среднее за 2016-2018 гг.)

Предшественник	Фон	Сорт				Среднее
		Зустріч	Арсенал	Ставка	Стать	
Озимая пшеница	контроль	1,69	1,80	2,04	2,02	1,89
	удобренный	3,25	2,91	4,05	3,72	3,48
Пар	контроль	2,32	2,01	2,64	2,96	2,48
	удобренный	3,70	3,32	4,16	4,22	3,85
НСР ₀₅ фактора А (предшественник) = 0,037 $\text{м}^2/\text{м}^2$		F _ф = 357,8 > F _т = 4,1				
НСР ₀₅ фактора В (минеральное питание) = 0,037 $\text{м}^2/\text{м}^2$		F _ф = 3405,7 > F _т = 4,1				
НСР ₀₅ фактора С (сорт) = 0,052 $\text{м}^2/\text{м}^2$		F _ф = 204,8 > F _т = 2,9				
НСР ₀₅ опыта = 0,144 $\text{м}^2/\text{м}^2$		F _ф = 301,8 > F _т = 2,0				

Максимальная площадь листьев в наших исследованиях для изучаемых сортов находилась в пределах 1,69-4,22 $\text{м}^2/\text{м}^2$. Наибольший листовой индекс отмечается у сорта Ставка. Так, в среднем по всем технологиям возделывания площадь листьев у этого сорта составила 3,18 $\text{м}^2/\text{м}^2$, что на 23,9 % больше по сравнению с сортом Арсенал, который сформировал наименьший листовой аппарат. Наибольшие значения листового индекса у сорта Ставка отмечается на всех вариантах кроме парового предшественника на контрольном и удобренном вариантах, а также на раннем сроке сева, здесь наибольшие значения отмечены у сорта Стать.

Фотосинтезирующими органами у растений озимой пшеницы являются не только листья, а также стебли и колосья (Андрианова Ю.Е., Тарчевский И.А., 2000; Ерошенко Ф.В., 2006). В наших опытах в среднем по всем вариантам, вклад в ассимиляционную поверхность стеблей составил 28,2 %, а колосьев – 21,4 % (рисунок 2).

Таблица 7 – Максимальная площадь листьев (листовой индекс) посевов озимой пшеницы в зависимости от срока сева и нормы высева, $\text{м}^2/\text{м}^2$ (среднее за 2016-2018 гг.)

Вариант	Сорт				Среднее
	Зустріч	Арсенал	Ставка	Стать	
Срок сева					
Ранний	2,03	2,38	2,33	2,44	2,29
Оптимальный	3,25	2,91	4,05	3,72	3,48
Поздний	2,29	2,28	2,55	2,49	2,40
НСР ₀₅ фактора А (срок сева) = 0,047 $\text{м}^2/\text{м}^2$			F _φ = 828,2 > F _T = 3,4		
НСР ₀₅ фактора В (сорт) = 0,055 $\text{м}^2/\text{м}^2$			F _φ = 80,9 > F _T = 3,0		
НСР ₀₅ опыта = 0,135 $\text{м}^2/\text{м}^2$			F _φ = 190,6 > F _T = 2,3		
Норма высева					
4 млн	2,05	2,88	3,22	2,98	2,78
5 млн	3,25	2,91	4,05	3,72	3,48
6 млн	2,11	2,31	2,76	2,47	2,41
НСР ₀₅ фактора А (норма высева) = 0,052 $\text{м}^2/\text{м}^2$			F _φ = 473,28 > F _T = 3,4		
НСР ₀₅ фактора В (сорт) = 0,060 $\text{м}^2/\text{м}^2$			F _φ = 175,8 > F _T = 3,0		
НСР ₀₅ опыта = 0,149 $\text{м}^2/\text{м}^2$			F _φ = 149,5 > F _T = 2,3		

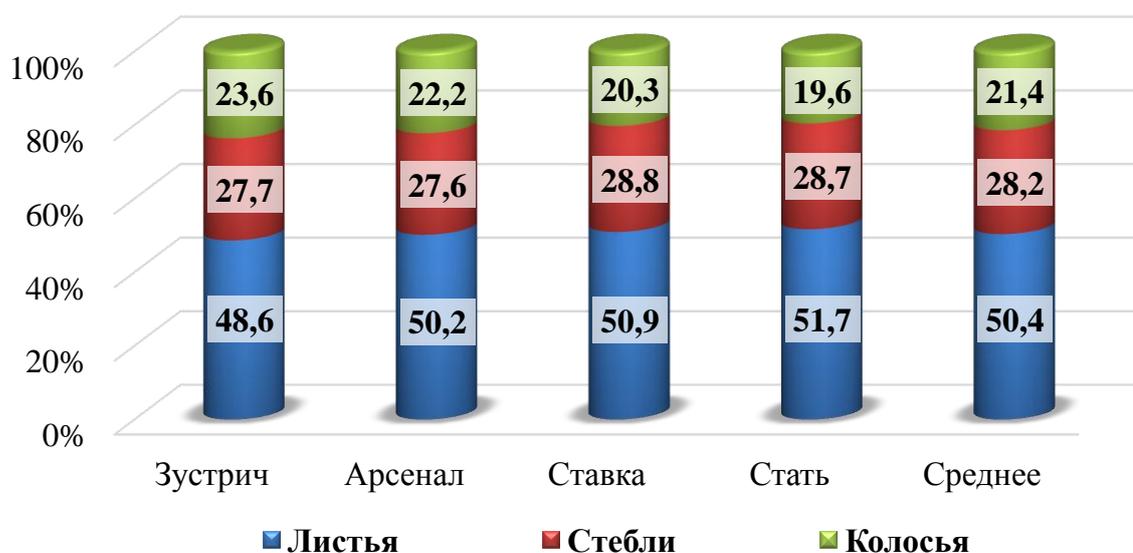


Рисунок 2 – Вклад отдельных органов растений озимой пшеницы различных сортов в ассимиляционную поверхность, % (среднее за 2016-2018 гг.)

Анализ общей площади ассимиляционной поверхности посевов озимой пшеницы в зависимости от элементов технологии возделывания показал, что в среднем по сортам за годы исследований ее значение по предшественнику пар составила $5,03 \text{ м}^2/\text{м}^2$, что больше, чем по озимой пшенице на 26,8 % (таблица 8). Применение минеральных удобрений по пару способствовало увеличению этого показателя на 44,3 %, а по озимой пшенице на 67,2 %.

Таблица 8 – Площадь ассимиляционной поверхности растений озимой пшеницы в зависимости от предшественника и уровня минерального питания, $\text{м}^2/\text{м}^2$ (среднее за 2016-2018 гг.)

Предшественник	Фон	Сорт				Среднее
		Зустріч	Арсенал	Ставка	Стать	
Озимая пшеница	контроль	3,63	3,78	4,29	4,16	3,97
	удобренный	6,31	5,57	7,77	6,88	6,63
Пар	контроль	4,91	4,14	5,33	5,73	5,03
	удобренный	7,28	6,27	7,62	7,85	7,25
НСР ₀₅ фактора А (предшественник) = $0,071 \text{ м}^2/\text{м}^2$		F _φ = 292,9 > F _T = 4,1				
НСР ₀₅ фактора В (минеральное питание) = $0,071 \text{ м}^2/\text{м}^2$		F _φ = 2464,1 > F _T = 4,1				
НСР ₀₅ фактора С (сорт) = $0,100 \text{ м}^2/\text{м}^2$		F _φ = 153,2 > F _T = 2,9				
НСР ₀₅ опыта = $0,287 \text{ м}^2/\text{м}^2$		F _φ = 224,4 > F _T = 2,0				

На оптимальном сроке сева общая площадь фотосинтезирующей поверхности посевов озимой пшеницы выше, чем на раннем и позднем, на 37,3 и 35,1 % соответственно, а при норме высева 5 миллионов всхожих семян на 1 га она больше, чем при 4 и 6 млн./га, на 21,7 и 33,9 % соответственно (таблица 9).

Различные сорта озимой пшеницы характеризуются своими особенностями формирования фотосинтезирующей поверхности посевов. Наименьшая площадь ассимиляционной поверхности в среднем по всем вариантам отмечена у сорта Арсенал и составила величину $5,10 \text{ м}^2/\text{м}^2$, что ниже на 17,8 %, чем у наибольшего значения – $6,20 \text{ м}^2/\text{м}^2$, которое наблюдалось у сорта Ставка. У этого сорта максимальные значения показателей площади ассимиляци-

онной поверхности отмечены на всех вариантах, кроме парового предшественника на контрольном и удобренном вариантах, здесь наибольшие значения были у сорта Стась – 5,73 и 7,95 м²/м² соответственно. Также сорт Ставка не показал максимум на раннем сроке сева, здесь наибольшее значение наблюдалось у сорта Арсенал – 5,05 м²/м².

Таблица 9 – Площадь ассимиляционной поверхности растений озимой пшеницы в зависимости от срока сева и нормы высева, м²/м² (среднее за 2016-2018 гг.)

Вариант	Сорт				Среднее
	Зустріч	Арсенал	Ставка	Стась	
Срок сева					
Ранний	4,48	5,05	4,78	5,01	4,83
Оптимальный	6,31	5,57	7,77	6,88	6,63
Поздний	4,75	4,65	5,17	5,06	4,91
НСР ₀₅ фактора А (срок сева) = 0,095 м ² /м ²			F _φ = 491,2 > F _T = 3,4		
НСР ₀₅ фактора В (сорт) = 0,110 м ² /м ²			F _φ = 53,1 > F _T = 3,0		
НСР ₀₅ опыта = 0,279 м ² /м ²			F _φ = 114,8 > F _T = 2,3		
Норма высева					
4 млн	4,31	5,51	6,07	5,65	5,39
5 млн	6,31	5,57	7,77	6,88	6,63
6 млн	4,56	4,87	5,42	5,14	4,99
НСР ₀₅ фактора А (норма высева) = 0,099 м ² /м ²			F _φ = 321,6 > F _T = 3,4		
НСР ₀₅ фактора В (сорт) = 0,114 м ² /м ²			F _φ = 121,6 > F _T = 3,0		
НСР ₀₅ опыта = 0,282 м ² /м ²			F _φ = 105,5 > F _T = 2,3		

Для фотосинтетической продуктивности растений большое значение имеет не только площадь ассимиляционной поверхности, но и продолжительность ее функционирования (Ерошенко Ф.В., Дуденко Н.В., 2016; Симатин Т.В. и др., 2018). Показателем, который характеризует размеры фотосинтетического аппарата посева и время его активной работы, служит поверхностный фотосинтетический потенциал (ПФСП).

Исследования показали, что в среднем за 2016-2018 гг. поверхностный фотосинтетический потенциал посевов озимой пшеницы различных сортов за весь период вегетации по паровому предшественнику выше на 30,5 %, чем по колосовому (таблица 10). Улучшение условий минерального питания по предшественнику пар увеличивало значение фотопотенциала на 49,3 %, а по предшественнику озимая пшеница на 61,1 %.

Таблица 10 – Поверхностный фотосинтетический потенциал растений озимой пшеницы в зависимости от предшественника и уровня минерального питания, ($\text{м}^2/\text{м}^2$)·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 фактора А (предшественник) = 0,038 ($\text{м}^2/\text{м}^2$)·сутки					$F_{\phi} = 546,8 > F_T = 4,1$	
НСР ₀₅ фактора В (минеральное питание) = 0,038 ($\text{м}^2/\text{м}^2$)·сутки					$F_{\phi} = 2079,1 > F_T = 4,1$	
НСР ₀₅ фактора С (сорт) = 0,054 ($\text{м}^2/\text{м}^2$)·сутки					$F_{\phi} = 114,6 > F_T = 2,9$	
НСР ₀₅ опыта = 0,150 ($\text{м}^2/\text{м}^2$)·сутки					$F_{\phi} = 202,3 > F_T = 2,0$	

На оптимальном сроке сева ПФСП выше, чем на раннем и позднем, на 21,4 и 33,6 % соответственно, а при норме высева 5 млн./га он больше на 20,0 и 29,7 %, чем при 4 и 6 млн./га (таблица 11).

Наибольшее значение ПФСП в среднем по всем вариантам наблюдается у сорта Ставка и Стать ($2,94 \text{ м}^2/\text{м}^2$ ·сутки), а наименьшее – у сорта Арсенал ($2,52 \text{ м}^2/\text{м}^2$ ·сутки). Превосходство сортов Ставка и Стать над остальными сортами обусловлено главным образом за счет размеров листового аппарата (Ерошенко Ф.В., Бильдиева Е.А., Сторчак И.Г., Шестакова Е.О., Энговатова И.В., 2020).

Интерес представляют данные структуры поверхностного фотопотенциала посевов озимой пшеницы в зависимости от элементов технологии воз-

дельвания, поэтому нами был оценен вклад различных органов растений в общий фотопотенциал. В среднем по всем вариантам и сортам доля отдельных органов растений в ПФСП находится в следующих пределах: листья – 57,3-64,2 %, стебли – 21,2-24,5 % и колосья – 14,2-19,2 % (рисунок 3).

Таблица 11 – 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 фактора А (срок сева) = 0,046 ($\text{м}^2/\text{м}^2$)·сутки				F _ф = 319,4 > F _т = 3,4	
НСР ₀₅ фактора В (сорт) = 0,054 ($\text{м}^2/\text{м}^2$)·сутки				F _ф = 52,3 > F _т = 3,0	
НСР ₀₅ опыта = 0,132 ($\text{м}^2/\text{м}^2$)·сутки				F _ф = 80,1 > F _т = 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 фактора А (норма высева) = 0,049 ($\text{м}^2/\text{м}^2$)·сутки				F _ф = 243,4 > F _т = 3,4	
НСР ₀₅ фактора В (сорт) = 0,056 ($\text{м}^2/\text{м}^2$)·сутки				F _ф = 80,6 > F _т = 3,0	
НСР ₀₅ опыта = 0,140 ($\text{м}^2/\text{м}^2$)·сутки				F _ф = 74,2 > F _т = 2,3	

Исследования показали, что при улучшении условий выращивания существенно увеличивается вклад листовых пластин в общий фотопотенциал, а вклад колосьев снижается. В среднем по сортам, на предшественнике пар на удобренном фоне доля листьев в ПФСП составила 64,2 %, колосьев – 14,2 %. На предшественнике озимая пшеница на контрольном варианте вклад листовых пластин меньше на 6,8 %, а колосьев больше на 4,0 %. При изменении условий выращивания вклад стеблей в общий фотопотенциал существенно не изменялся.

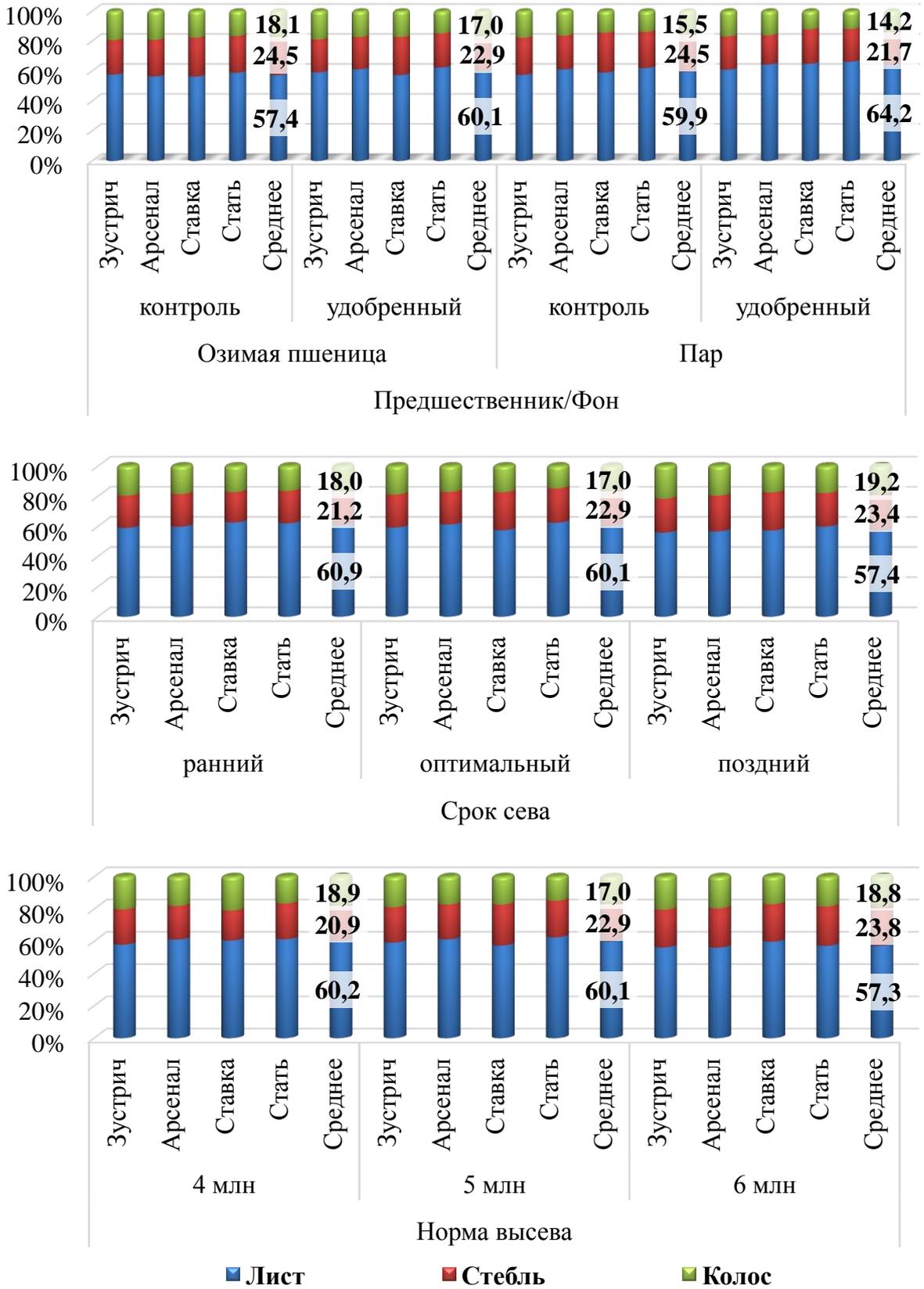


Рисунок 3 – Структура поверхностного фотосинтетического потенциала посевов озимой пшеницы в зависимости от элементов технологии возделывания, % (среднее за 2016-2018 гг.)

Установлено, что чем позднее производится сев, тем вклад листовых пластин в поверхностный фотосинтетический потенциал снижается, а колосьев повышается. В то же время нормы высева на структуру ПФСП влияние не оказали.

Нами изучены сортовые особенности вклада отдельных органов в общий фотопотенциал. Так, в среднем по вариантам у сорта Сталь отмечается наибольшее значение доли листовых пластин в ПФСП – 61,5 %, а у сорта Зустрич наименьшее – 58,3 %, а показатели доли колосьев наоборот – сорт Зустрич характеризуется наибольшими значениями этого показателя среди изученных сортов – 19,2 %, а Сталь наименьшими – 15,6 %.

Результаты проведенного дисперсионного анализа показали, что сроки сева и внесение минеральных удобрений в наибольшей степени оказывают влияние на ПФСП – 23,7 и 22,5 % соответственно (рисунок 4). Также существенный вклад в размеры и продолжительность функционирования фотосинтетического аппарата оказывают нормы высева и особенности сорта – по 19,3 % каждый из этих элементов.

Таким образом, различные элементы технологии возделывания озимой пшеницы оказывают существенное влияние на развитие фотосинтетического аппарата и продолжительность его функционирования. На предшественнике пар, по сравнению с предшественником озимая пшеница, значения листового индекса больше на 31,5 %, площадь ассимиляционной поверхности – на 26,8 %, ПФСП – на 30,5 %. Применение минеральных удобрений по пару увеличило показатели этих величин на 55,2, 44,3, 49,3 %, а по озимой пшенице на 84,7, 67,2, 61,1 % соответственно. На оптимальных сроках сева значения листового индекса, площади ассимиляционной поверхности и поверхностного фотосинтетического потенциала выше, чем при ранних сроках сева на 52,9, 37,3, 21,4 % соответственно, а при поздних на 45,0, 35,1, 33,6 %. При различных нормах высева выявлена аналогичная закономерность. При оптимальной норме показатели этих величин выше, чем при минимальной норме высева на 24,9, 21,7, 20,0 % соответственно, а при максимальной на 50,5, 33,9, 29,7 %. В

среднем по всем технологиям возделывания сорт Ставка характеризуется наибольшей площадью листьев ($3,18 \text{ м}^2/\text{м}^2$) и ассимиляционной поверхностью ($6,20 \text{ м}^2/\text{м}^2$).

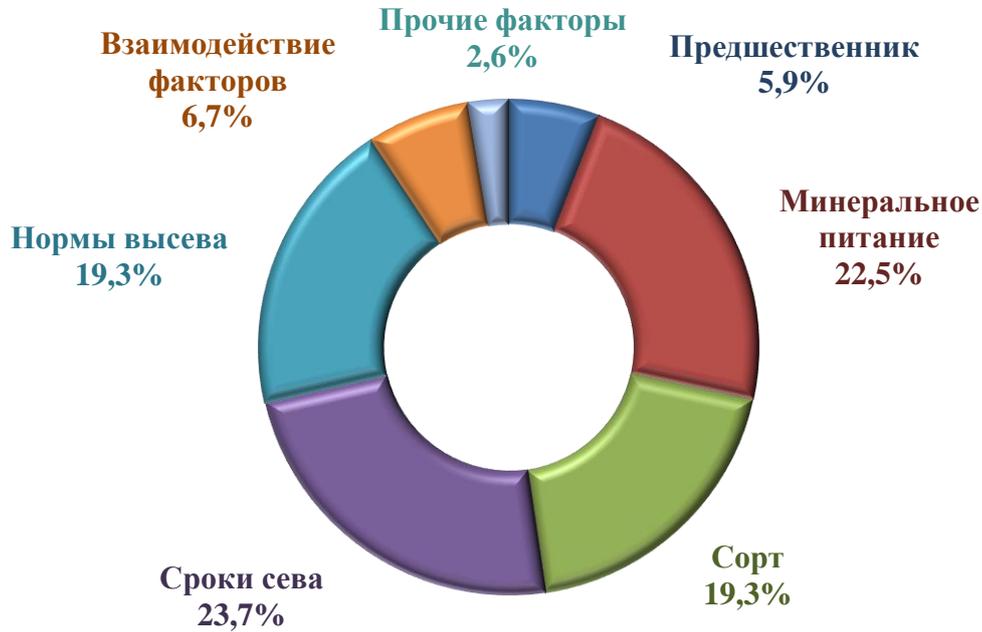


Рисунок 4 – Степень влияния различных факторов на поверхностный фотосинтетический потенциал растений озимой пшеницы, %

Максимальные значения поверхностного фотосинтетического потенциала в среднем по технологическим приемам выращивания в наших исследованиях отмечаются у сортов Ставка и Сталь – $2,94 (\text{м}^2/\text{м}^2) \cdot \text{сутки}$. На долю листьев в структуре ПФСП в среднем по сортам приходится 57,3-64,2 %, на долю стеблей – 21,2-24,5 %, а колосьям принадлежит – 14,2-19,2 %. Из изученных элементов технологии возделывания сроки сева и минеральные удобрения в наибольшей степени оказывают влияние на ПФСП – 23,7 и 22,5 % соответственно.

3.2. Содержание хлорофилла

Содержание хлорофилла является важным показателем фотосинтетической продуктивности растений, который характеризует размеры ассимиляционного аппарата и эффективность синтетических процессов растений, обеспечивающих его наработку (Кононенко Л. А., 2006; Сидько А.Ф. и др., 2017).

Изучение влияния различных элементов технологии возделывания на относительное содержание хлорофилла (a+b) в растениях озимой пшеницы (мг/г) показало, что в среднем по сортам за годы исследований его концентрация в растениях озимой пшеницы по предшественнику пар выше, чем по предшественнику озимая пшеница, на 9,4 % (таблица 12). Применение минеральных удобрений по пару способствовало увеличению количества зеленых пигментов на 38,1 %, а по озимой пшенице, на 14,0 % (Шестакова Е.О. и др., 2020).

Таблица 12 – Относительное содержание хлорофилла (a+b) в растениях озимой пшеницы в зависимости от предшественника и уровня минерального питания, мг/г (среднее за 2016-2018 гг.)

Предшественник	Фон	Сорт				Среднее
		Зустріч	Арсенал	Ставка	Стать	
Озимая пшеница	контроль	0,98	1,04	1,19	1,11	1,08
	удобренный	1,19	1,24	1,07	1,43	1,23
Пар	контроль	1,18	1,23	1,14	1,18	1,18
	удобренный	1,54	1,55	1,63	1,80	1,63
НСР ₀₅ фактора А (предшественник) = 0,016 мг/г						$F_{\phi} = 528,4 > F_T = 4,1$
НСР ₀₅ фактора В (минеральное питание) = 0,016 мг/г						$F_{\phi} = 758,4 > F_T = 4,1$
НСР ₀₅ фактора С (сорт) = 0,022 мг/г						$F_{\phi} = 40,3 > F_T = 2,9$
НСР ₀₅ опыта = 0,062 мг/г						$F_{\phi} = 117,6 > F_T = 2,0$

В среднем за годы исследований при применении минеральных удобрений по колосовому предшественнику отмечается рост количества зеленых пигментов у сортов Зустріч, Арсенал и Стать, а у сорта Ставка наблюдается обратная зависимость, что, на наш взгляд, связано с «ростовым разбавлением», когда применение удобрений у этого сорта ведет к усилению ростовых процессов, при этом существенно увеличивается биомасса.

На удобренном фоне по предшественнику пар наблюдается увеличение содержания хлорофилла у всех изучаемых сортов, но максимальное его зна-

чение отмечается у сорта Стась (1,80 мг/г), что выше на 51,9 %, чем на варианте без внесения удобрений.

В среднем по сортам относительное содержание хлорофилла в растениях озимой пшеницы было больше на позднем сроке сева, чем на раннем и оптимальном, на 10,5 и 3,7 % соответственно (таблица 13). Например, у сорта Ставка на оптимальном сроке сева содержание зеленых пигментов составляет 1,07 мг/г, а на позднем сроке – 1,35 мг/г, что на 25,7 % больше.

Таблица 13 – Относительное содержание хлорофилла (a+b) в растениях озимой пшеницы в зависимости от срока сева и нормы высева, мг/г (среднее за 2016-2018 гг.)

Вариант	Сорт				Среднее
	Зустріч	Арсенал	Ставка	Стась	
Срок сева					
Ранний	1,12	1,22	1,10	1,18	1,16
Оптимальный	1,19	1,24	1,07	1,43	1,23
Поздний	1,30	1,15	1,35	1,31	1,28
НСР ₀₅ фактора А (срок сева) = 0,021 мг/г			F _φ = 35,6 > F _T = 3,4		
НСР ₀₅ фактора В (сорт) = 0,025 мг/г			F _φ = 25,2 > F _T = 3,0		
НСР ₀₅ опыта = 0,061 мг/г			F _φ = 28,1 > F _T = 2,3		
Норма высева					
4 млн	1,11	1,26	1,22	1,38	1,24
5 млн	1,19	1,24	1,07	1,43	1,23
6 млн	0,94	1,16	1,10	1,14	1,08
НСР ₀₅ фактора А (норма высева) = 0,021 мг/г			F _φ = 77,3 > F _T = 3,4		
НСР ₀₅ фактора В (сорт) = 0,024 мг/г			F _φ = 78,1 > F _T = 3,0		
НСР ₀₅ опыта = 0,060 мг/г			F _φ = 43,1 > F _T = 2,3		

Количество зеленых пигментов (мг/г) в растениях озимой пшеницы в среднем по сортам при 4 и 5 миллионах всхожих семян на 1 га было равно 1,24 и 1,23 мг/г соответственно, что выше на 14,9 %, чем при 6 млн./га. У сорта Ставка количество зеленых пигментов при пониженной норме высева

составило 1,22 мг/г, а при повышенной – на 11,5 % меньше. У сорта Стать наибольшее содержание хлорофилла отмечено при 5 млн./га – 1,43 мг/г, что выше, чем при 6 миллионах – на 25,5 %.

Изучение влияния различных элементов технологии возделывания на относительное содержание хлорофилла (a+b) в органах растений озимой пшеницы показало, что в листьях наибольшее его количество отмечается у сорта Арсенал: на удобренном варианте по колосовому предшественнику – 4,36 мг/г, на раннем и оптимальном сроках сева – 4,26 и 4,36 мг/г, и при нормах 4 и 5 млн./га – 4,49 и 4,36 мг/г соответственно (таблица 14, 15). Наименьшее содержание хлорофилла в листьях у этого сорта отмечают по паровому предшественнику на контрольном (4,73 мг/г) и удобренном (4,13 мг/г) вариантах. У сорта Зустрич максимум выявлен по пару на варианте без удобрений – 4,29 мг/г, минимум – по озимой пшенице на удобренном фоне – 3,16 мг/г, а также на позднем сроке сева (3,89 мг/г) и при норме высева 6 млн/га (3,31 мг/г). В стеблях и колосьях наибольшие значения относительного содержания хлорофилла наблюдаются у сорта Стать по всем вариантам, кроме позднего срока сева.

Более точно фотосинтетическую деятельность посева характеризует абсолютное содержание хлорофилла (a+b) (г/м²) (Прядкина Г.А. и др., 2014; Richardson K. et. al., 2016). В среднем по сортам за годы исследований его значение по предшественнику пар было выше, чем по предшественнику озимая пшеница на 45,0 % (таблица 16). Улучшение условий минерального питания по пару увеличивало эти значения на 73,4 %. У сорта Стать отмечается максимальные показатели абсолютного содержания хлорофилла по паровому предшественнику на удобренном варианте – 1,99 г/м², что больше, чем на контрольном – на 74,4 %. Минимум на этом же варианте у сорта Арсенал – 1,44 г/м², что выше чем на контроле на 65,0 %. По озимой пшенице наблюдается такая же закономерность как и по пару – на удобренном фоне в среднем по всем сортам отмечено увеличение содержания хлорофилла в посевах озимой пшеницы на 76,8 %.

Таблица 14 – Относительное содержание хлорофилла (a+b) в органах растений озимой пшеницы в зависимости от предшественника и уровня минерального питания, мг/г (среднее за 2016-2018 гг.)

Предшественник	Фон	Сорт				Среднее
		Зустріч	Арсенал	Ставка	Стать	
Лист						
Озимая пшеница	контроль	3,16	3,47	3,27	3,62	3,38
	удобренный	3,81	4,36	3,74	4,23	4,04
Пар	контроль	4,29	4,13	4,23	4,21	4,21
	удобренный	4,93	4,73	5,07	5,43	5,04
Стебель						
Озимая пшеница	контроль	0,57	0,67	0,65	0,73	0,66
	удобренный	0,71	0,68	0,62	0,99	0,75
Пар	контроль	0,66	0,72	0,71	0,77	0,71
	удобренный	0,90	0,91	0,96	1,21	0,99
Колос						
Озимая пшеница	контроль	0,75	0,66	0,56	0,75	0,68
	удобренный	0,80	0,64	0,59	0,82	0,71
Пар	контроль	0,88	0,80	0,67	0,88	0,81
	удобренный	0,94	0,86	0,81	0,99	0,90
НСР ₀₅ опыта (лист) = 0,207 мг/г				F _φ = 77,7 > F _T = 2,0		
НСР ₀₅ опыта (стебель) = 0,039 мг/г				F _φ = 152,6 > F _T = 2,0		
НСР ₀₅ опыта (колос) = 0,039 мг/г				F _φ = 78,1 > F _T = 2,0		

На оптимальном сроке сева абсолютное содержание хлорофилла в растениях озимой пшеницы имеет наибольшее значение в среднем по сортам и составляет – 1,23 г/м², что выше, чем на раннем и позднем, на 29,6 и 15,3 % соответственно (таблица 17). Например, у сорта Стать на этом сроке сева наблюдается наибольшее количество зеленых пигментов с 1 м² посева по сравнению с другими сортами – 1,40 г/м², что больше, чем на раннем и позднем на 53,2 и 25,9 % соответственно.

Таблица 15 – Относительное содержание хлорофилла (a+b) в органах расте-
ний озимой пшеницы в зависимости от срока сева и нормы высева, мг/г
(среднее за 2016-2018 гг.)

Вариант		Сорт				Среднее
		Зустріч	Арсенал	Ставка	Стать	
Лист						
Срок сева	Ранний	3,87	4,26	3,85	3,46	3,86
	Оптимальный	3,81	4,36	3,74	4,23	4,04
	Поздний	3,89	3,97	4,62	4,32	4,20
Стебель						
Срок сева	Ранний	0,79	0,79	0,73	0,78	0,77
	Оптимальный	0,71	0,68	0,62	0,99	0,75
	Поздний	0,89	0,79	0,91	0,83	0,86
Колос						
Срок сева	Ранний	0,70	0,63	0,60	0,74	0,67
	Оптимальный	0,80	0,64	0,59	0,82	0,71
	Поздний	0,82	0,76	0,69	0,69	0,74
		НСР ₀₅ опыта (лист) = 0,201 мг/г		F _φ = 24,9 > F _T = 2,3		
		НСР ₀₅ опыта (стебель) = 0,040 мг/г		F _φ = 54,4 > F _T = 2,3		
		НСР ₀₅ опыта (колос) = 0,035 мг/г		F _φ = 40,7 > F _T = 2,3		
Лист						
Норма высева	4 млн	4,01	4,59	3,97	4,44	4,25
	5 млн	3,81	4,36	3,74	4,23	4,04
	6 млн	3,31	3,91	3,82	4,03	3,77
Стебель						
Норма высева	4 млн	0,57	0,66	0,69	0,80	0,68
	5 млн	0,71	0,68	0,62	0,99	0,75
	6 млн	0,59	0,59	0,61	0,70	0,62
Колос						
Норма высева	4 млн	0,62	0,56	0,58	0,65	0,60
	5 млн	0,80	0,64	0,59	0,82	0,71
	6 млн	0,64	0,61	0,42	0,65	0,58
		НСР ₀₅ опыта (лист) = 0,200 мг/г		F _φ = 26,7 > F _T = 2,3		
		НСР ₀₅ опыта (стебель) = 0,034 мг/г		F _φ = 102,9 > F _T = 2,3		
		НСР ₀₅ опыта (колос) = 0,032 мг/г		F _φ = 91,9 > F _T = 2,3		

Таблица 16 – Абсолютное содержание хлорофилла (a+b) в растениях озимой пшеницы в зависимости от предшественника и уровня минерального питания, г/м² (среднее за 2016-2018 гг.)

Предшественник	Фон	Сорт				Среднее
		Зустріч	Арсенал	Ставка	Стать	
Озимая пшеница	контроль	0,63	0,68	0,78	0,70	0,70
	удобренный	1,18	1,02	1,32	1,40	1,23
Пар	контроль	1,00	0,87	1,02	1,14	1,01
	удобренный	1,71	1,44	1,87	1,99	1,75
НСР ₀₅ фактора А (предшественник) = 0,015 г/м ²		F _φ = 1529,4 > F _T = 4,1				
НСР ₀₅ фактора В (минеральное питание) = 0,015 г/м ²		F _φ = 3592,3 > F _T = 4,1				
НСР ₀₅ фактора С (сорт) = 0,022 г/м ²		F _φ = 162,8 > F _T = 2,9				
НСР ₀₅ опыта = 0,059 г/м ²		F _φ = 392,5 > F _T = 2,0				

Таблица 17 – Абсолютное содержание хлорофилла (a+b) в растениях озимой пшеницы в зависимости от срока сева и нормы высева, г/м² (среднее за 2016-2018 гг.)

Вариант	Сорт				Среднее	
	Зустріч	Арсенал	Ставка	Стать		
Срок сева						
Ранний	0,89	1,08	0,92	0,91	0,95	
Оптимальный	1,18	1,02	1,32	1,40	1,23	
Поздний	1,04	0,73	1,39	1,11	1,07	
НСР ₀₅ фактора А (срок сева) = 0,019 г/м ²		F _φ = 236,0 > F _T = 3,4				
НСР ₀₅ фактора В (сорт) = 0,022 г/м ²		F _φ = 121,7 > F _T = 3,0				
НСР ₀₅ опыта = 0,054 г/м ²		F _φ = 130,2 > F _T = 2,3				
Норма высева						
4 млн	0,79	0,90	1,00	0,99	0,92	
5 млн	1,18	1,02	1,32	1,40	1,23	
6 млн	0,79	0,96	1,03	1,18	0,99	
НСР ₀₅ фактора А (норма высева) = 0,018 г/м ²		F _φ = 355,0 > F _T = 3,4				
НСР ₀₅ фактора В (сорт) = 0,021 г/м ²		F _φ = 170,1 > F _T = 3,0				
НСР ₀₅ опыта = 0,051 г/м ²		F _φ = 124,2 > F _T = 2,3				

При норме высева 5 миллионов всхожих семян на 1 га содержание зеленых пигментов на 1 м² посева озимой пшеницы в среднем по сортам выше, чем при 4 и 6 млн./га на 33,4 и 24,2 % соответственно. У сорта Сталь абсолютное содержания хлорофилла наблюдается на варианте 5 млн./га – 1,40 г/м², что больше, чем на 4 и 6 млн., на 40,7 и 18,0 % соответственно.

Изучение влияния различных элементов технологии возделывания на абсолютное содержание хлорофилла (a+b) в органах растений озимой пшеницы показало, что у сорта Сталь в листьях содержится наибольшее количество зеленых пигментов по всем технологиям возделывания, кроме раннего срока сева и пониженной норме высева, здесь максимум отмечен у сортов Арсенал и Сталь – 0,51 и 0,63 г/м² соответственно (таблица 18, 19). Наименьшие значения этого показателя в листьях наблюдаются у сорта Зустрич по предшественнику озимая пшеница на контрольном (0,56 г/м²) и удобренном (0,29 г/м²) вариантах, раннем (0,36 г/м²) и оптимальном (0,56 г/м²) сроках сева, а также по нормам высева – 4, 5 и 6 млн./га (0,43, 0,56 и 0,33 г/м² соответственно). В стеблях максимальные значения отмечены у сорта Сталь по всем изученным технологическим приемам возделывания, кроме раннего и позднего сроков сева. В колосьях наибольшие значения абсолютного содержания хлорофилла получены у сорта Зустрич по всем вариантам, кроме пониженной нормы высева – здесь отмечается минимум по сравнению с другими сортами (0,10 г/м²).

При применении тех или иных технологических приемов выращивания озимой пшеницы наблюдаются существенные различия в концентрации зеленых пигментов в растениях в конце репродуктивного периода, что говорит о неодинаковой продолжительности работы фотосинтетического аппарата (Зборовская О.В. и др., 2016; Моисеева А.А. и др., 2019). Показателем, который характеризует количество хлорофилла и время его активного функционирования за весь период роста и развития растений, является хлорофилловый фотосинтетический потенциал (ХФСП).

Таблица 18 – Абсолютное содержание хлорофилла (a+b) в органах растений озимой пшеницы в зависимости от предшественника и уровня минерального питания, г/м² (среднее за 2016-2018 гг.)

Предшественник	Фон	Сорт				Среднее
		Зустріч	Арсенал	Ставка	Стать	
Лист						
Озимая пшеница	контроль	0,29	0,30	0,42	0,29	0,32
	удобренный	0,56	0,56	0,67	0,61	0,60
Пар	контроль	0,46	0,46	0,49	0,49	0,46
	удобренный	0,87	0,87	1,02	0,93	0,89
Стебель						
Озимая пшеница	контроль	0,22	0,29	0,27	0,32	0,27
	удобренный	0,44	0,35	0,50	0,62	0,48
Пар	контроль	0,36	0,34	0,43	0,50	0,41
	удобренный	0,60	0,49	0,70	0,85	0,66
Колос						
Озимая пшеница	контроль	0,12	0,09	0,09	0,09	0,10
	удобренный	0,18	0,12	0,15	0,17	0,15
Пар	контроль	0,18	0,11	0,009	0,15	0,14
	удобренный	0,24	0,19	0,15	0,21	0,20
НСР ₀₅ опыта (лист) = 0,028 г/м ²		НСР ₀₅ опыта (стебель) = 0,024 г/м ²		НСР ₀₅ опыта (колос) = 0,006 г/м ²		
				F _ф = 503,8 > F _т = 2,0		
				F _ф = 385,4 > F _т = 2,0		
				F _ф = 412,9 > F _т = 2,0		

Наши исследования показали, что в среднем по сортам величина хлорофиллового фотосинтетического потенциала посевов озимой пшеницы по паровому предшественнику выше, чем по колосовому на 48,7 % (таблица 20). Применение минеральных удобрений по предшественнику пар увеличивало эти значения на 64,2 %, по предшественнику озимая пшеница на 68,8 %.

Таблица 19 – Абсолютное содержание хлорофилла (a+b) в органах растений озимой пшеницы в зависимости от срока сева и нормы высева, г/м² (среднее за 2016-2018 гг.)

Вариант		Сорт				Среднее
		Зустріч	Арсенал	Ставка	Стать	
Лист						
Срок сева	Ранний	0,36	0,51	0,42	0,39	0,42
	Оптимальный	0,56	0,56	0,67	0,61	0,60
	Поздний	0,46	0,29	0,56	0,54	0,47
Стебель						
Срок сева	Ранний	0,38	0,44	0,39	0,39	0,40
	Оптимальный	0,44	0,35	0,50	0,62	0,48
	Поздний	0,42	0,32	0,65	0,45	0,46
Колос						
Срок сева	Ранний	0,15	0,13	0,11	0,13	0,13
	Оптимальный	0,18	0,12	0,15	0,17	0,15
	Поздний	0,16	0,12	0,13	0,13	0,13
		НСР ₀₅ опыта (лист) = 0,023 г/м ²		F _φ = 221,7 > F _T = 2,3		
		НСР ₀₅ опыта (стебель) = 0,022 г/м ²		F _φ = 161,5 > F _T = 2,3		
		НСР ₀₅ опыта (колос) = 0,006 г/м ²		F _φ = 110,0 > F _T = 2,3		
Лист						
Норма высева	4 млн	0,43	0,56	0,56	0,63	0,54
	5 млн	0,56	0,56	0,67	0,61	0,60
	6 млн	0,33	0,50	0,56	0,47	0,46
Стебель						
Норма высева	4 млн	0,26	0,29	0,33	0,43	0,33
	5 млн	0,44	0,35	0,50	0,62	0,48
	6 млн	0,34	0,30	0,37	0,41	0,36
Колос						
Норма высева	4 млн	0,10	0,11	0,15	0,12	0,12
	5 млн	0,18	0,12	0,15	0,17	0,15
	6 млн	0,12	0,10	0,07	0,12	0,10
		НСР ₀₅ опыта (лист) = 0,027 г/м ²		F _φ = 108,2 > F _T = 2,3		
		НСР ₀₅ опыта (стебель) = 0,019 г/м ²		F _φ = 264,8 > F _T = 2,3		
		НСР ₀₅ опыта (колос) = 0,007 г/м ²		F _φ = 165,3 > F _T = 2,3		

Таблица 20 – Хлорофилловый фотосинтетический потенциал (ХФСП) посевов озимой пшеницы в зависимости от предшественника и уровня минерального питания, (г/м²)·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 фактора А (предшественник) = 0,750 (г/м ²)·сутки		F _ф = 1939,9 > F _т = 4,1				
НСР ₀₅ фактора В (минеральное питание) = 0,750 (г/м ²)·сутки		F _ф = 3400,5 > F _т = 4,1				
НСР ₀₅ фактора С (сорт) = 1,060 (г/м ²)·сутки		F _ф = 126,4 > F _т = 2,9				
НСР ₀₅ опыта = 2,931 (г/м ²)·сутки		F _ф = 397,5 > F _т = 2,0				

При оптимальном сроке сева величина ХФСП на 21,6 % больше, чем при раннем и позднем, а при оптимальной норме высева она выше на 27,4 %, чем при пониженной и повышенной (таблица 21).

В среднем по всем технологическим приемам выращивания озимой пшеницы наибольший хлорофилловый фотосинтетический потенциал из всех испытываемых сортов имеет сорт Стать – 62,92 (г/м²)·сутки. Максимальная величина ХФСП у этого сорта отмечается по паровому предшественнику на удобренном фоне – 102,91 (г/м²)·сутки, что больше на 32,6 %, чем у сорта Арсенал (77,60 (г/м²)·сутки), который имеет минимальное значение на этом варианте.

Оценка вклада различных органов растений в хлорофилловый фотосинтетический потенциал по его структуре показала, что в зависимости от различных элементов технологии возделывания в среднем по сортам на долю листьев в структуре ХФСП приходится 53,7-65,4 %, на долю стеблей – почти третья часть (25,2-35,5 %), а колосьям принадлежит всего 8,7-10,8 % (рисунок 5).

Таблица 21 – Хлорофилловый фотосинтетический потенциал (ХФСП) посевов озимой пшеницы в зависимости от срока сева и нормы высева, (г/м²)·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 фактора А (срок сева) = 0,917 (г/м ²)·сутки			F _φ = 208,0 > F _T = 3,4		
НСР ₀₅ фактора В (сорт) = 1,059 (г/м ²)·сутки			F _φ = 83,9 > F _T = 3,0		
НСР ₀₅ опыта = 2,624 (г/м ²)·сутки			F _φ = 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 фактора А (норма высева) = 0,891 (г/м ²)·сутки			F _φ = 339,5 > F _T = 3,4		
НСР ₀₅ фактора В (сорт) = 1,028 (г/м ²)·сутки			F _φ = 110,2 > F _T = 3,0		
НСР ₀₅ опыта = 1,919 (г/м ²)·сутки			F _φ = 98,3 > F _T = 2,3		

В структуре хлорофиллового фотосинтетического потенциала прослеживается такая же тенденция, как и у поверхностного, т.е. при анализе данных вклада отдельных органов в ХФСП в зависимости от предшественника, уровня минерального питания и сроков сева существенно увеличивается вклад листовых пластин в общий фотопотенциал, а вклад колосьев снижается, при этом, доля стеблей изменяется незначительно. В то же время, при минимальной норме высева существенно увеличивается вклад листовых пластин, а стеблей снижается. В среднем по технологическим приемам выращивания у сорта Арсенал из всех изучаемых сортов отмечается наибольшее значение вклада листовых пластин в ХФСП – 64,1 %, а стеблей наименьшее – 26,8 %. У сорта Зустріч колосья имеют максимум среди изучаемых сортов – 12,2 %, а Ставка минимум – 8,3 %.

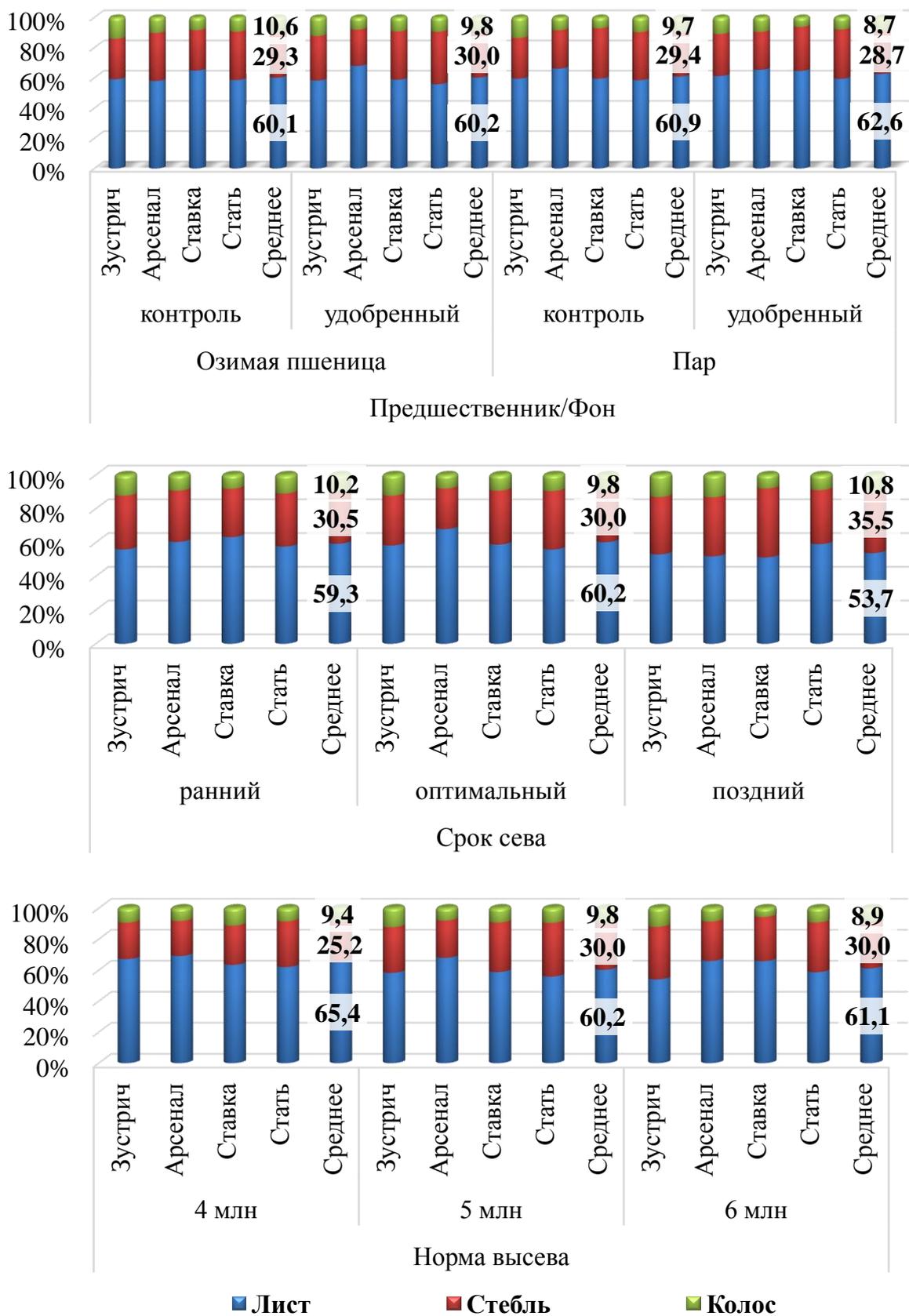


Рисунок 5 – Структура хлорофиллового фотосинтетического потенциала посевов озимой пшеницы в зависимости от элементов технологии возделывания, % (среднее за 2016-2018 гг.)

Данные дисперсионного анализа показали, что в случае с ХФСП по степени влияния элементов технологии выращивания у наиболее значимых из них наблюдается следующее ранжирование: нормы высева (20,5 %), сорт (19,4 %) и минеральное питание (18,9 %) (рисунок 6).



Рисунок 6 – Степень влияния различных факторов на хлорофилловый фотосинтетический потенциал растений озимой пшеницы, %

Таким образом, различные элементы технологии возделывания озимой пшеницы оказывают существенное влияние на количество хлорофилла и время его функционирования. Так, на паровом предшественнике, по сравнению с колосовым, значения относительного содержания хлорофилла (мг/г) больше на 9,4 %, абсолютного (г/м²) – на 45,0 %, ХФСП – на 48,7 %. Применение минеральных удобрений по предшественнику пар увеличивало показатели этих величин на 38,0, 73,4, 64,2 %, а по озимой пшенице на 14,0, 76,8, 68,8 % соответственно. Значения относительного содержания хлорофилла на позднем сроке сева выше, чем на раннем и позднем на 10,5 и 3,7 % соответственно, при 4 и 5 млн./га эти значения выше, чем при 6 млн/га, на 14,9%. Максимальное значение абсолютного содержания хлорофилла и хлорофил-

лового фотосинтетического потенциала отмечается при оптимальных сроке (1,23 г/м²) и норме высева (62,28 г/м²·сутки). В среднем по всем технологиям возделывания сорт Сталь характеризуется наибольшим относительным (1,34 мг/г) и абсолютным (1,22 г/м²) содержанием хлорофилла, а также ХФСП (62,92 г/м²·сутки). На долю листьев в структуре ХФСП в среднем по сортам приходится 53,7-65,4 %, стеблей – 25,2-35,5 %, а колосьям принадлежит всего 8,7-10,8 %. Из изученных элементов технологии возделывания, нормы высева, сортовые особенности и внесение минерального питания в наибольшей степени оказывают влияние на ХФСП – 20,5, 19,4 и 18,9 % соответственно.

3.3. Чистая продуктивность фотосинтеза

В процессе фотосинтетической деятельности посева нарабатывается органические соединения, которые используются растениями для роста, развития и накопления их в генеративных органах в виде урожая (Sariyeva G., et al., 2009; Бесалиев И.Н., Крючков А.Г., 2015). Отражением условий протекания физиологических процессов является накопление биомассы.

В среднем за годы исследований различные элементы технологии возделывания оказывали существенное влияние на динамику сухой биомассы посевов озимой пшеницы. В среднем по сортам в период колошения и полной спелости прирост сухой биомассы по паровому предшественнику выше, чем по колосовому на 32,8 и 32,7 % соответственно (рисунок 7). На удобренном фоне значения сухой биомассы по предшественнику пар на VIII этапе органогенеза выросли на 25,1 %, в то время как в полную спелость (XII этап органогенеза) – на 24,1 %, а по предшественнику озимая пшеница – на 56,5 и 44,0 % соответственно.

В целом, в период от колошения до полной спелости темпы роста сухой биомассы на контрольных вариантах по обоим предшественникам были одинаковы – на 72,8 %. В этот же время по предшественнику пар на удобренном фоне биомасса увеличилась на 71,3%, а по предшественнику озимая пшеница – на 59,1%.

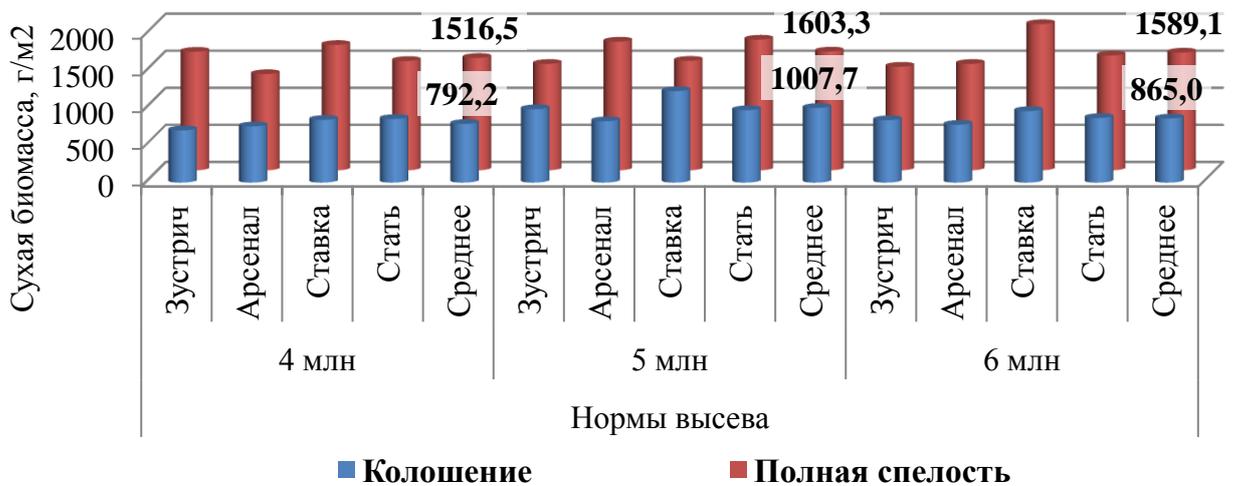
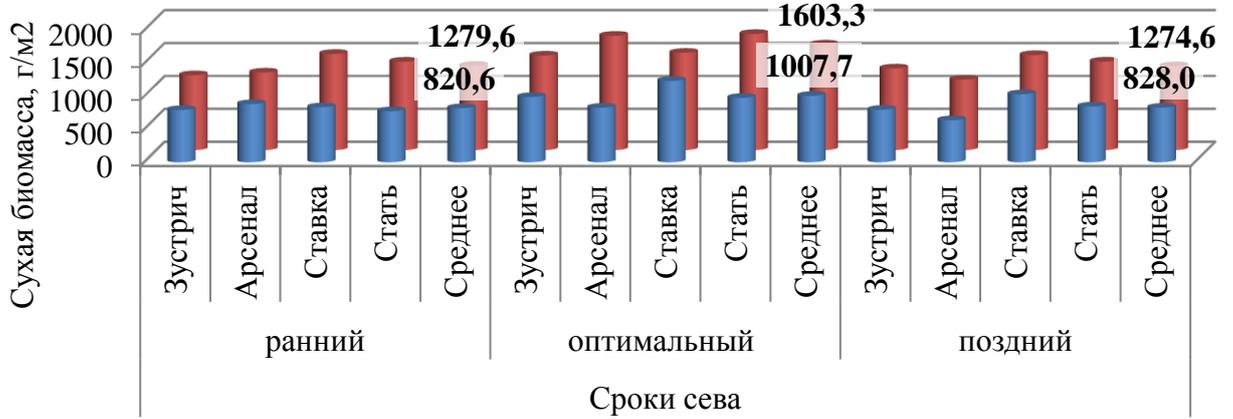
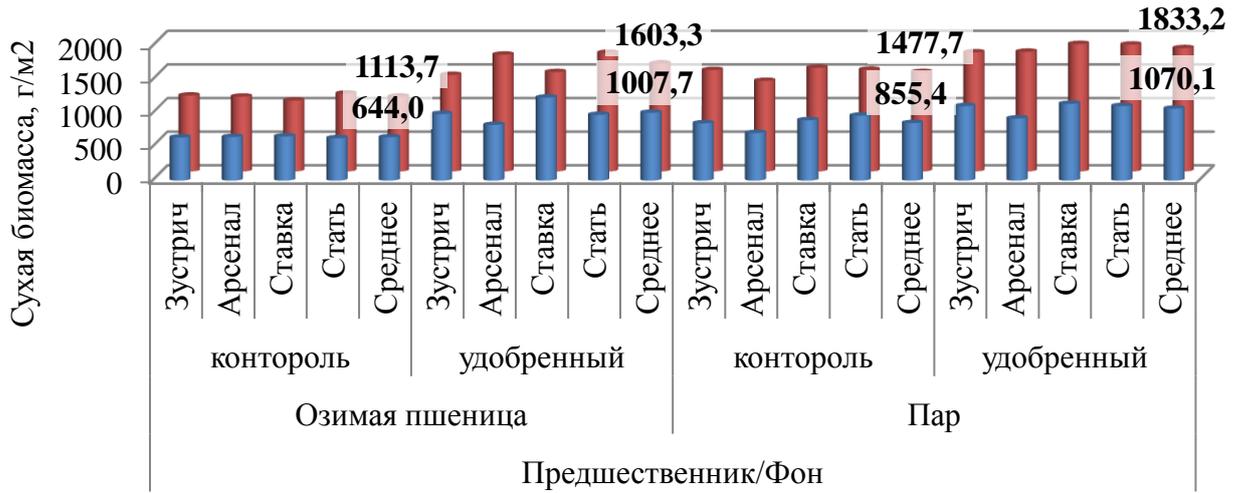


Рисунок 7 – Динамика сухой биомассы посевов озимой пшеницы в зависимости от элементов технологии возделывания, г/м² (среднее за 2016-2018 гг.)

В наших опытах отмечаются сортовые особенности в динамике сухой биомассы посевов озимой пшеницы. У сорта Арсенал в фазу колошения на удобренном фоне по паровому и колосовому предшественникам отмечены минимальные значения сухой биомассы. Полученные данные свидетельствуют о том, что в период от колошения до полной спелости происходит интенсивное наращивание биомассы. Например, по предшественнику озимая пшеница на удобренном фоне, в отличие от сорта Ставка, биомасса которого с VIII по XII этап органогенеза выросла лишь на 243 г/м^2 , а у сорта Арсенал – 909 г/м^2 .

Установлено, что на оптимальном сроке в период колошения прирост биомассы выше, чем на раннем и позднем, на $22,0 \%$, а в период полной спелости, эти значения выше на $25,5 \%$. В целом в период от колошения до полной спелости сухая биомасса на раннем сроке увеличилась на $71,3 \%$, оптимальном – $59,1 \%$, а на позднем – на $53,9 \%$.

Существенные отличия в сухой биомассе при различных нормах высева отмечаются в период колошения. При норме высева 5 млн./га биомасса выше, чем при 4 и 6 млн./га , на $27,2$ и $16,5 \%$ соответственно. В период от колошения до полной спелости сухая биомасса при минимальной норме высева выросла на $91,4 \%$, при оптимальной – $59,1 \%$, а при максимальной норме – на $83,7 \%$.

Необходимо отметить особенности роста и развития при различных сроках и нормах высева у сорта Ставка. Так, на оптимальных и поздних сроках сева у этого сорта происходит интенсивное наращивание биомассы до колошения, а от этого периода до полной спелости рост значительно снижается. Аналогичная закономерность отмечается при оптимальной норме высева. Например, в отличие от сорта Стая, биомасса которого с периода колошения до полной спелости выросла на 786 г/м^2 , у сорта Ставка эта прибавка составила только 243 г/м^2 .

Анализ связи между фотосинтетическими потенциалами посевов озимой пшеницы и накопленной ими биомассы показал, что коэффициенты кор-

реляции между этими показателями составили следующие величины: для ПФСП – 0,69, ХФСП – 0,72.

Показатель, характеризующий количество общей биомассы, образованной единицей площади ассимиляционной поверхности (1 м^2) или количеством хлорофилла (1 г) в течение суток, является чистой продуктивностью фотосинтеза (ЧПФ) (Щедрин В.А., 2006; Подлесных Н.В., 2018; Ионова, Е. В., 2020).

Наши исследования показали, что чистая продуктивность фотосинтеза ассимиляционной поверхности (ЧПФ_с) посевов озимой пшеницы различных сортов, в среднем за вегетацию на удобренном фоне по предшественнику пар выше, чем на контрольном на 20,5 %, а по предшественнику озимая пшеница – на 11,2 % (таблица 22).

Таблица 22 – Чистая продуктивность фотосинтеза за вегетацию в расчете на площадь ассимиляционной поверхности посевов озимой пшеницы в зависимости от предшественника и уровня минерального питания, ($\text{г}/\text{м}^2$)·сутки (среднее за 2016-2018 гг.)

Предшественник	Фон	Сорт				Среднее
		Зустріч	Арсенал	Ставка	Стать	
Озимая пшеница	контроль	6,22	6,19	5,17	5,61	5,80
	удобренный	4,84	6,41	4,27	5,35	5,22
Пар	контроль	6,27	6,21	5,94	5,24	5,91
	удобренный	4,89	5,41	4,84	4,48	4,91
НСР ₀₅ фактора А (предшественник) = 0,069 ($\text{г}/\text{м}^2$)·сутки						$F_{\phi} = 4,2 > F_T = 4,1$
НСР ₀₅ фактора В (минеральное питание) = 0,069 ($\text{г}/\text{м}^2$)·сутки						$F_{\phi} = 278,4 > F_T = 4,1$
НСР ₀₅ фактора С (сорт) = 0,097 ($\text{г}/\text{м}^2$)·сутки						$F_{\phi} = 89,7 > F_T = 2,9$
НСР ₀₅ опыта = 0,269 ($\text{г}/\text{м}^2$)·сутки						$F_{\phi} = 52,0 > F_T = 2,0$

Явных закономерностей влияния различных предшественников на показатели чистой продуктивности фотосинтеза единицы площади посева озимой пшеницы выявлено не было.

В наших опытах ЧПФ₅ на позднем сроке сева составила – 5,47 (г/м²)·сутки, что больше, чем на раннем и оптимальном сроках сева на 9,5 и 5,0 % соответственно (таблица 23).

Таблица 23 – Чистая продуктивность фотосинтеза за вегетацию в расчете на площадь ассимиляционной поверхности посевов озимой пшеницы в зависимости от срока сева и нормы высева, (г/м²)·сутки (среднее за 2016-2018 гг.)

Вариант	Сорт				Среднее
	Зустріч	Арсенал	Ставка	Стать	
Срок сева					
Ранний	4,81	4,49	5,65	5,03	4,99
Оптимальный	4,84	6,41	4,27	5,35	5,22
Поздний	5,64	4,96	5,95	5,32	5,47
НСР ₀₅ фактора А (срок сева) = 0,088 (г/м ²)·сутки			F _φ = 31,0 > F _T = 3,4		
НСР ₀₅ фактора В (сорт) = 0,102 (г/м ²)·сутки			F _φ = 3,4 > F _T = 3,0		
НСР ₀₅ опыта = 0,252 (г/м ²)·сутки			F _φ = 52,7 > F _T = 2,3		
Норма высева					
4 млн	7,52	4,86	5,94	5,42	5,94
5 млн	4,84	6,41	4,27	5,35	5,22
6 млн	6,32	6,22	7,55	6,30	6,60
НСР ₀₅ фактора А (норма высева) = 0,104 (г/м ²)·сутки			F _φ = 191,3 > F _T = 3,4		
НСР ₀₅ фактора В (сорт) = 0,120 (г/м ²)·сутки			F _φ = 16,0 > F _T = 3,0		
НСР ₀₅ опыта = 0,292 (г/м ²)·сутки			F _φ = 103,1 > F _T = 2,3		

Исследования показали, что чистая продуктивность фотосинтеза единицы площади посева при максимальной норме высева выше, чем при минимальной и оптимальной, на 11,2 и 26,6 % соответственно.

В среднем по всем технологическим приемам выращивания у посева сорта Арсенал показатель чистой продуктивности фотосинтеза имеет наибольшее значение среди изученных сортов (5,76 г/м²·сутки), что на 6,9 % больше, чем у наименьшего значения, которое отмечено у посевов сорта Стать.

Анализ данных чистой продуктивности фотосинтеза в расчете на единицу хлорофилла ($ЧПФ_{chl}$) показал, что этот показатель снижается при улучшении условий выращивания озимой пшеницы. По паровому предшественнику данные $ЧПФ$ по содержанию хлорофилла ниже, чем по колосовому, на 10,9 % (таблица 24). При применении минеральных удобрений по предшественнику пар значения $ЧПФ$ снижается на 24,2 %, а по озимой пшенице – на 15,0 %.

Таблица 24 – Чистая продуктивность фотосинтеза за вегетацию в расчете на единицу хлорофилла посевов озимой пшеницы в зависимости от предшественника и уровня минерального питания, (г/г)·сутки
(среднее за 2016-2018 гг.)

Предшественник	Фон	Сорт				Среднее
		Зустріч	Арсенал	Ставка	Стать	
Озимая пшеница	контроль	34,35	31,37	26,43	29,42	30,39
	удобренный	24,59	30,18	23,73	24,85	25,84
Пар	контроль	28,58	25,42	29,99	24,29	27,07
	удобренный	20,73	22,94	20,07	18,33	20,52
НСР ₀₅ фактора А (предшественник) = 0,340 (г/г)·сутки						$F_{\phi} = 335,5 > F_T = 4,1$
НСР ₀₅ фактора В (минеральное питание) = 0,340 (г/г)·сутки						$F_{\phi} = 553,9 > F_T = 4,1$
НСР ₀₅ фактора С (сорт) = 0,481 (г/г)·сутки						$F_{\phi} = 44,0 > F_T = 2,9$
НСР ₀₅ опыта = 1,331 (г/г)·сутки						$F_{\phi} = 87,8 > F_T = 2,0$

Существенной разницы в значениях чистой продуктивности фотосинтеза в расчете на единицу хлорофилла на различных сроках сева не наблюдалось. Однако можно отметить тенденцию их более высоких значений в оптимальный срок сева (таблица 25).

Изучение влияния норм высева на $ЧПФ_{chl}$ показало, что ее значения при 6 млн./га выше, чем при 4 и 5, на 11,5 и 30,6 % соответственно.

В среднем по всем технологическим приемам выращивания максимальное значение $ЧПФ$ на единицу хлорофилла среди изученных сортов от-

мечено у сорта Зустрич – 27,88 (г/г)·сутки, что больше на 9,3 %, чем у минимального значения, которое наблюдалось у сорта Стась.

Таблица 25 – Чистая продуктивность фотосинтеза за вегетацию в расчете на единицу хлорофилла посевов озимой пшеницы в зависимости от срока сева и нормы высева, (г/г)·сутки (среднее за 2016-2018 гг.)

Вариант	Сорт				Среднее
	Зустрич	Арсенал	Ставка	Стась	
Срок сева					
Ранний	23,89	20,71	27,38	27,66	24,91
Оптимальный	24,59	30,18	23,73	24,85	25,84
Поздний	25,41	29,51	22,92	24,25	25,52
НСР ₀₅ фактора А (срок сева) = 0,449 (г/г)·сутки			F _φ = 4,8 > F _T = 3,4		
НСР ₀₅ фактора В (сорт) = 0,519 (г/г)·сутки			F _φ = 16,6 > F _T = 3,0		
НСР ₀₅ опыта = 1,285 (г/г)·сутки			F _φ = 40,7 > F _T = 2,3		
Норма высева					
4 млн	37,02	25,37	33,11	25,53	30,26
5 млн	24,59	30,18	23,73	24,85	25,84
6 млн	35,00	30,60	38,40	30,99	33,75
НСР ₀₅ фактора А (норма высева) = 0,516 (г/г)·сутки			F _φ = 253,0 > F _T = 3,4		
НСР ₀₅ фактора В (сорт) = 0,595 (г/г)·сутки			F _φ = 71,8 > F _T = 3,0		
НСР ₀₅ опыта = 1,475 (г/г)·сутки			F _φ = 107,1 > F _T = 2,3		

Следовательно, существует обратная связь между фотопотенциалами и чистой продуктивностью фотосинтеза. Это подтверждает анализ коэффициентов корреляции между этими показателями. Так, в среднем по всем изученным вариантам, корреляционная связь между ПФСП и ЧПФ_S составила -0,59, а ХФСП и ЧПФ_{CH} – -0,70.

Дисперсионный анализ позволил определить степень влияния различных элементов технологии возделывания на ЧПФ посевов озимой пшеницы. Взаимодействие всех изучаемых факторов в наибольшей степени оказывает влияние на чистую продуктивность фотосинтеза рассчитанную, как на еди-

ницу площади, так и на единицу хлорофилла – 49,3 и 41,7 % соответственно (рисунок 8). Полученные результаты объясняются тем, что активность работы фотосинтетического аппарата растений, отражением которой является показатель чистой продуктивности фотосинтеза, определяется соотношением различных факторов, а не одним из них, либо определенной группой. В наименьшей степени на ЧПФ ассимиляционной поверхности посевов озимой пшеницы в наших исследованиях оказали сроки сева (3,5 %) и предшественники (0,2 %), а на ЧПФ в расчете на единицу хлорофилла – только сроки сева (0,7 %).

Таким образом, размер и продолжительность работы фотосинтетического аппарата посева определяют его возможность сформировать конечную урожайность биомассы определенной величины. Коэффициенты корреляции между накопленной биомассой и поверхностным, и хлорофилловым фотопотенциалами оцениваются величинами: 0,69 и 0,72 соответственно, что согласно шкале оценки силы связи Чеддока соответствует средней и высокой силе связи между данными показателями. Влияние элементов технологии возделывания на чистую продуктивность фотосинтеза в расчете на площадь ассимиляционной поверхности и единицу хлорофилла показало, что ее значения снижаются при улучшении условий выращивания (предшественник и минеральное питание) и пониженной и оптимальной норме высева. При оптимальных сроках сева значения ЧПФ в расчете на единицу площади и единицу хлорофилла немного выше, чем при ранних и поздних. У сорта Арсенал, по сравнению с другими сортами, отмечается максимальные значения ЧПФ_S, а у сорта Зустріч – для ЧПФ_{chl}. Существует обратная связь между значениями фотопотенциала и чистой продуктивностью фотосинтеза (-0,59 (средняя сила связи) – для поверхностного фотопотенциала и -0,70 (высокая сила связи) – для хлорофиллового). На ЧПФ в расчете на единицу площади и единицу хлорофилла в наибольшей степени оказывает влияние взаимодействие всех изученных элементов технологии (более 40,0 %).

ЧПФ_S**ЧПФ_{CH}**

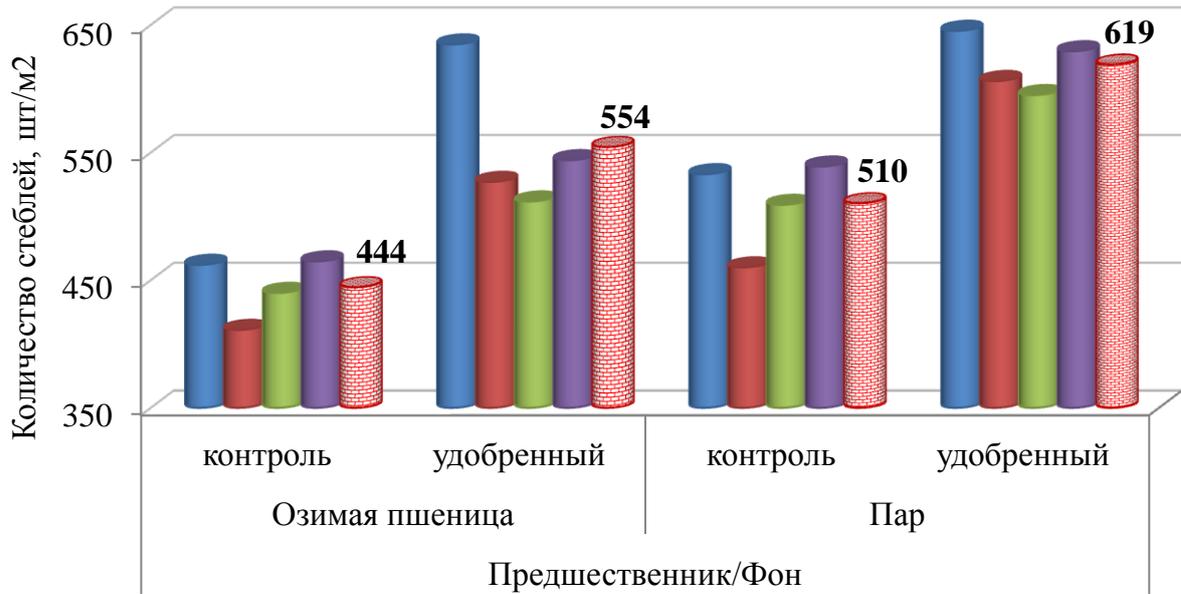
Рисунок 8 – Степень влияния различных факторов на чистую продуктивность фотосинтеза растений озимой пшеницы, %

4. РАДИАЦИОННЫЙ РЕЖИМ ПОСЕВОВ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ

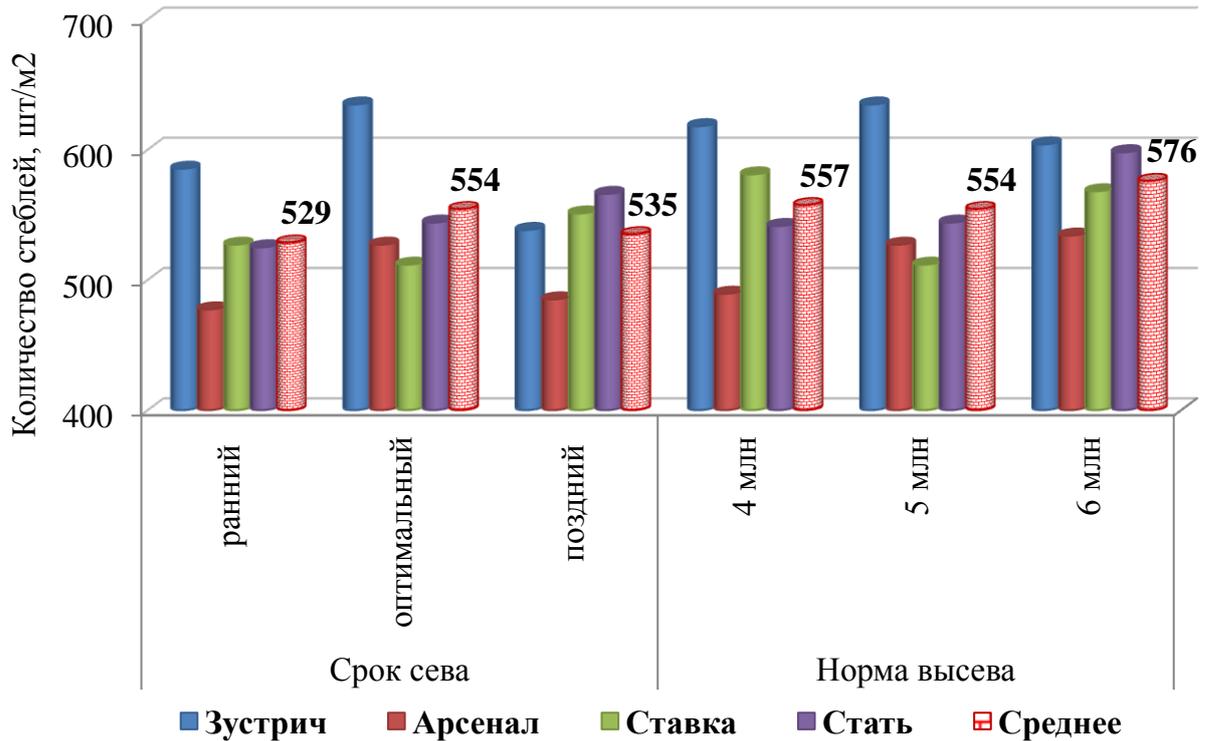
4.1. Структура посевов озимой пшеницы различных сортов

Важным фактором высокой продуктивности озимой пшеницы является формирование такой ее структуры, которая обеспечила бы полную реализацию фотосинтетического потенциала ценоза. Оптико-биологические свойства, которые, в первую очередь, зависят от площади фотосинтезирующей поверхности, концентрации зеленых пигментов, густоты стояния и высоты растений, обеспечивают распределение в посевах солнечного света, в процессе фотосинтеза преобразующийся в химические соединения, необходимые для синтетических реакций (Петрова Л.Н., 2009; Ерошенко Ф.В., 2010; 2011; Шульгин И.А., 2015). Поэтому, помимо площади ассимиляционной поверхности и содержания хлорофилла, нами было изучено влияние стеблестоя и высоты растений озимой пшеницы на оптико-биологические свойства посева и его эффективность по запасанию фотосинтетически активной радиации.

Наши исследования показали, что в среднем за 2016-2018 гг. в период колошения стеблестой по всем изучаемым сортам озимой пшеницы на предшественнике пар составил 510 шт./м², что больше на 14,8 %, чем на предшественнике озимая пшеница. Улучшение условий минерального питания по паровому предшественнику способствовало увеличению стеблестоя на 21,3 %, а по колосовому – на 24,7 %. Влияние сроков сева и норм высева на густоту стояния растений озимой пшеницы в среднем по сортам оказалось незначительным. Однако прослеживается тенденция к его увеличению в оптимальный срок сева и при норме 6 млн./га (576 шт./м²). Выявлены сортовые особенности формирования густоты стояния растений. На варианте без удобрений по двум предшественникам и на позднем сроке сева наибольший стеблестой отмечен у сорта Стая, а на остальных вариантах максимальные значения показал сорт Зустріч. В среднем по всем технологическим приемам выращивания наименьший стеблестой сформировал сорт Арсенал (504 шт./м²), а наибольший – Зустріч (589 шт./м²) (рисунок 9).



НСР₀₅ фактора А (предшественник) = 6,886 шт/м², $F_{\phi} = 186,6 > F_T = 4,1$; НСР₀₅ фактора В (минеральное питание) = 6,886 шт/м², $F_{\phi} = 524,2 > F_T = 4,1$; НСР₀₅ фактора С (сорт) = 9,738 шт/м², $F_{\phi} = 40,8 > F_T = 2,9$; НСР₀₅ опыта = 26,923 шт/м², $F_{\phi} = 59,4 > F_T = 2,0$



НСР₀₅ фактора А (срок сева) = 9,927 шт/м², $F_{\phi} = 7,8 > F_T = 3,4$; НСР₀₅ фактора В (сорт) = 11,463 шт/м², $F_{\phi} = 45,1 > F_T = 3,0$; НСР₀₅ опыта = 28,399 шт/м², $F_{\phi} = 19,9 > F_T = 2,3$

НСР₀₅ фактора А (норма высева) = 9,391 шт/м², $F_{\phi} = 6,7 > F_T = 3,4$; НСР₀₅ фактора В (сорт) = 10,843 шт/м², $F_{\phi} = 65,0 > F_T = 3,0$; НСР₀₅ опыта = 26,865 шт/м², $F_{\phi} = 24,8 > F_T = 2,3$

Рисунок 9 – Влияние элементов технологии возделывания на стеблестой растений озимой пшеницы, шт./м² (среднее за 2016-2018 гг.)

На примере 2016 года мы рассмотрели, как изменяется стеблестой озимой пшеницы в зависимости от различных элементов технологии возделывания в онтогенезе. Так, по предшественнику пар на удобренном фоне было максимальное количество стеблей на всех этапах органогенеза. Наибольшее их значение отмечено в конце весеннего кущения – 1862 шт./м², к периоду трубкования стеблестой на этом варианте составил уже – 777 шт./м², а к периоду полной спелости – 621 шт./м² (рисунок 10).

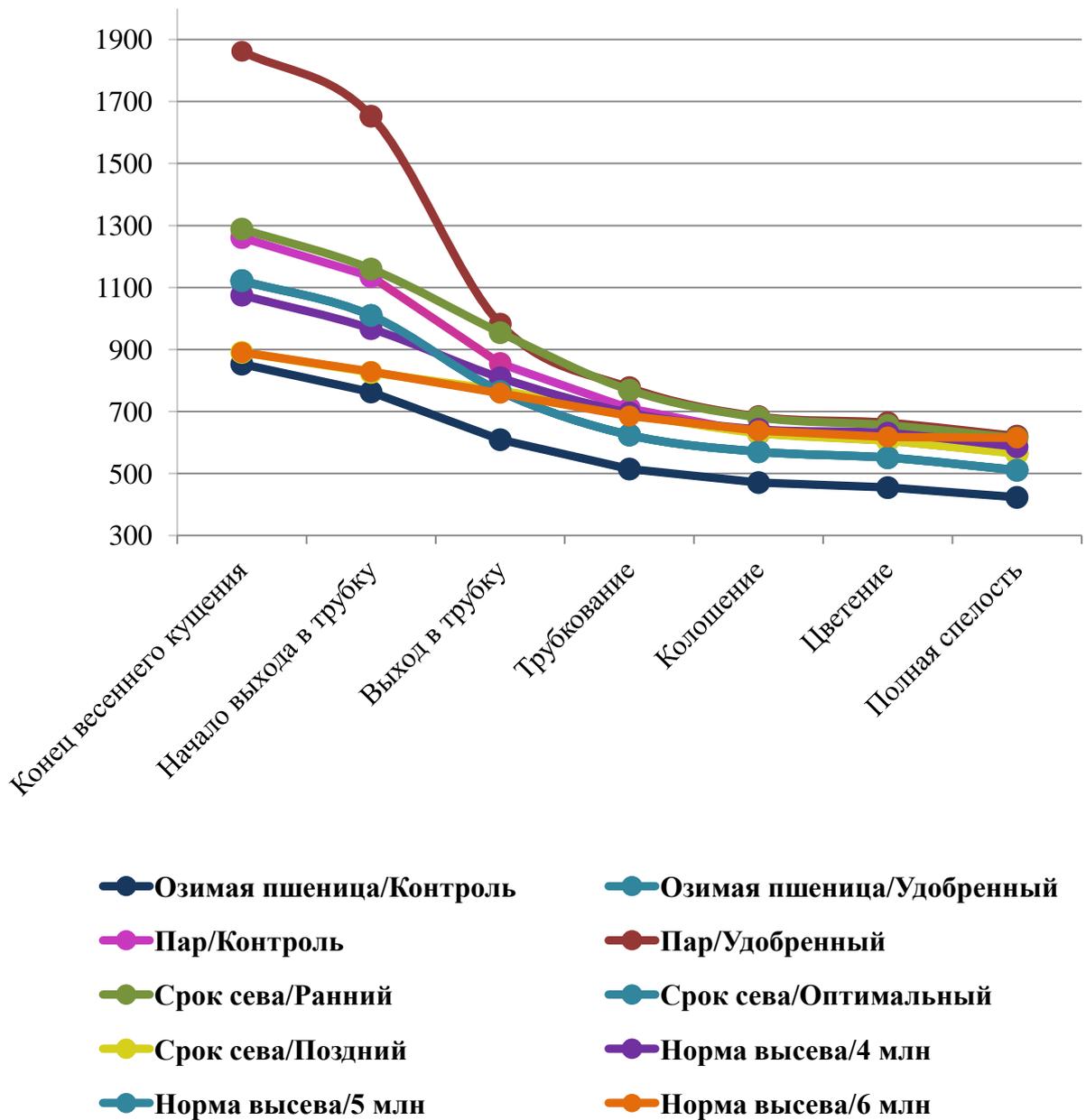


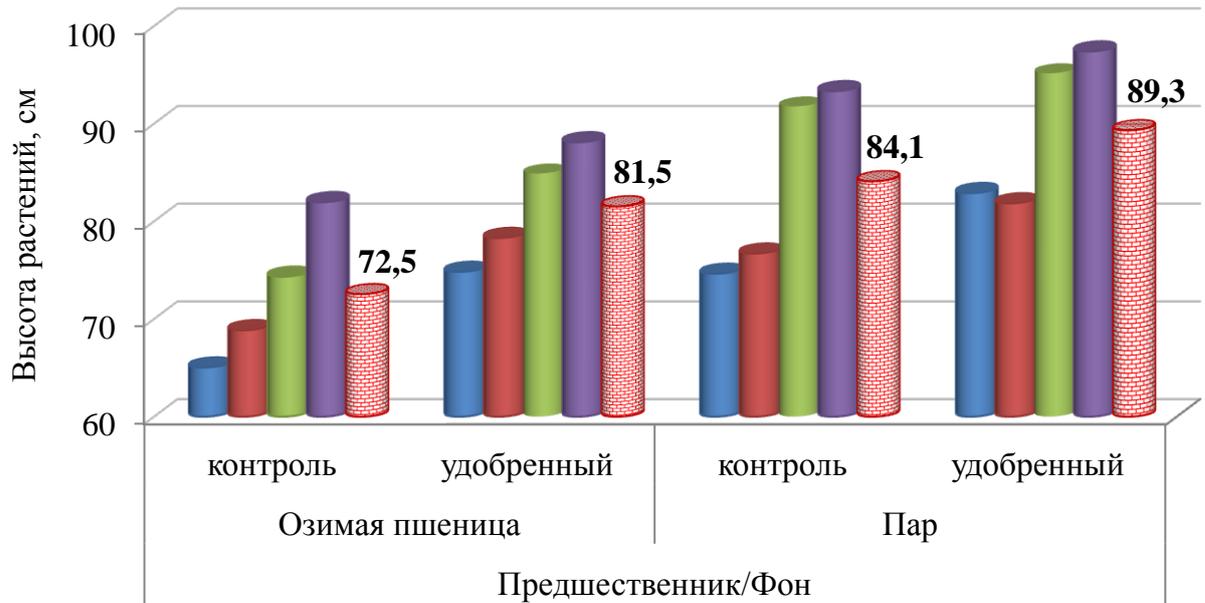
Рисунок 10 – Онтогенетические изменения стеблестоя озимой пшеницы в зависимости от элементов технологии возделывания в 2016 г., шт./м²

Близким к значениям, которые были получены на удобренном варианте по паровому предшественнику, оказался стеблестой на раннем сроке сева в период трубкования (769 шт.), колошения (681 шт.), цветения (656 шт.) и при норме высева 6 млн./га в период полной спелости (615 шт.). Минимальное количество стеблей отмечено по предшественнику озимая пшеница на варианте без удобрений на всех этапах органогенеза. Следовательно, густота стояния растений озимой пшеницы существенно зависит от уровня минерального питания, норм высева и сроков сева.

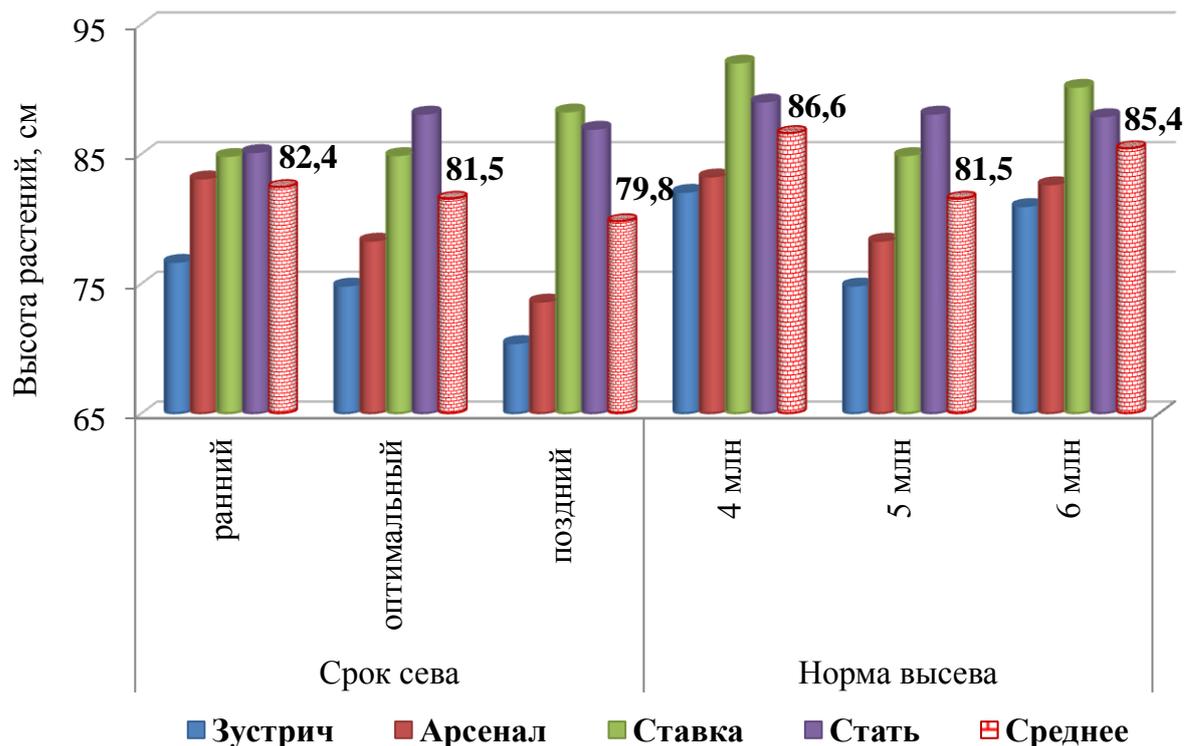
На высоту растений существенное влияние оказали предшественники и минеральные удобрения. Высота растений на паровом предшественнике в среднем составила 84,1 см, что больше чем на предшественнике озимая пшеница на 16,0 %. Применение минеральных удобрений на пару способствовало увеличению высоты растений на 6,2 %, а на озимой пшенице – на 12,4 % (рисунок 11). Влияние сроков сева на высоту растений в среднем по сортам не выявлено. Однако прослеживается тенденция ее увеличения на ранних сроках сева. При различных нормах высева максимальная высота растений озимой пшеницы опытных сортов составила 86,6 и 85,4 см на вариантах 4 и 6 млн./га соответственно, что в среднем выше, чем при 5 млн./га, на 5,5 %.

В среднем за годы исследований, среди всех изучаемых сортов, максимальная высота растений была у сорта Сталь (по паровому предшественнику на удобренном фоне – 97,4 см). Минимальную высоту посева формирует сорт Зустріч (на колосовом предшественнике без удобрений – 65 см).

Таким образом, в среднем по всем вариантам из всех изучаемых сортов – Зустріч формирует максимальный стеблестой, но минимальную высоту растений, сорт Арсенал показал самое низкое количество продуктивных стеблей на 1 м², а Сталь – наибольшую высоту растений. Следовательно, применение тех или иных технологических приемов выращивания существенно влияют на густоту стеблестоя и высоту растений, и тем самым, дают возможность сформировать оптимальный посев с максимальным коэффициентом поглощения ФАР.



НСП₀₅ фактора А (предшественник) = 1,104 шт/м², $F_{\phi} = 160,0 > F_T = 4,1$; НСП₀₅ фактора В (минеральное питание) = 1,104 шт/м², $F_{\phi} = 86,2 > F_T = 4,1$; НСП₀₅ фактора С (сорт) = 1,561 шт/м², $F_{\phi} = 101,0 > F_T = 2,9$; НСП₀₅ опыта = 4,315 шт/м², $F_{\phi} = 38,4 > F_T = 2,0$



НСП₀₅ фактора А (срок сева) = 1,443 шт/м², $F_{\phi} = 3,7 > F_T = 3,4$; НСП₀₅ фактора В (сорт) = 1,667 шт/м², $F_{\phi} = 58,7 > F_T = 3,0$; НСП₀₅ опыта = 4,129 шт/м², $F_{\phi} = 19,6 > F_T = 2,3$

НСП₀₅ фактора А (норма высева) = 1,453 шт/м², $F_{\phi} = 14,2 > F_T = 3,4$; НСП₀₅ фактора В (сорт) = 1,678 шт/м², $F_{\phi} = 36,6 > F_T = 3,0$; НСП₀₅ опыта = 4,157 шт/м², $F_{\phi} = 13,3 > F_T = 2,3$

Рисунок 11 – Влияние элементов технологии возделывания на высоту растений озимой пшеницы, см (среднее за 2016-2018 гг.)

4.2. Коэффициенты поглощения фотосинтетически активной радиации посевов озимой пшеницы

Архитектоника растений зависит от морфологических особенностей сорта, а также от применяемых уходных мероприятий. Следовательно, посе- вы, возделываемые по различным технологиям, будут поглощать неодинако- вое количество солнечной радиации (Кононенко Л.А., 2008; Пташник М.М., 2014).

Наши исследования показали, что в 2016-2018 гг. в период колошения в среднем по сортам на уровне колоса посе- вы 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 12).

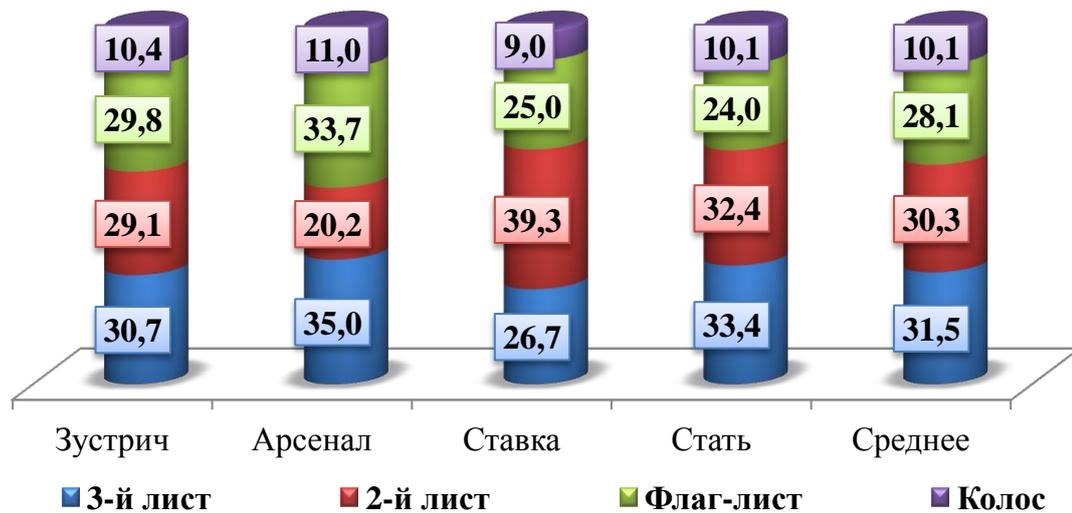


Рисунок 12 – Коэффициенты поглощения ФАР на различных уровнях посе- вов озимой пшеницы различных сортов, % (среднее за 2016-2018 гг.)

Следовательно, верхней частью посева (уровень колоса и флаг-листа) озимой пшеницы поглощается только 38,2 % приходящей солнечной радиа- ции, а нижней (уровень 2-го и 3-го листа) – 61,8 % (Шестакова Е.О. и др., 2018-2; 2019).

На полученные закономерности существенное влияние оказали осо- бенности структурной организации посевов различных сортов. Наименьшая разница в поглощении приходящей ФАР верхней и нижней частями посева

отмечается у сорта Арсенал – 44,7 и 55,3 % соответственно, а наибольшая разница у сорта Ставка. Верхняя часть посева у этого сорта поглощает всего 33,9 %, а нижняя 66,1%. Также у сорта Ставка коэффициенты поглощения ФАР находятся в пределах 9,0-39,3 %, что свидетельствует о не равномерном распределении солнечной радиации внутри посева, в то время как у сорта Зустріч такие пределы намного уже – 10,4-30,7 % и соответственно световая энергия распределится более равномерно.

Изучено влияние различных элементов технологии возделывания на коэффициенты поглощения фотосинтетически активной радиации отдельно растениями и всем посевом в целом. Исследования показали, что коэффициенты поглощения солнечной радиации всего посева по паровому предшественнику выше на 3,3 %, чем по колосовому, а коэффициенты поглощения только растениями на 5,6 % (рисунок 13). Применение минеральных удобрений увеличило значение коэффициента поглощения посева по пару на 1,4 %, по озимой пшенице на 2,4 %, а коэффициент поглощения растениями по этим вариантам на 5,7 и 8,3 % соответственно.

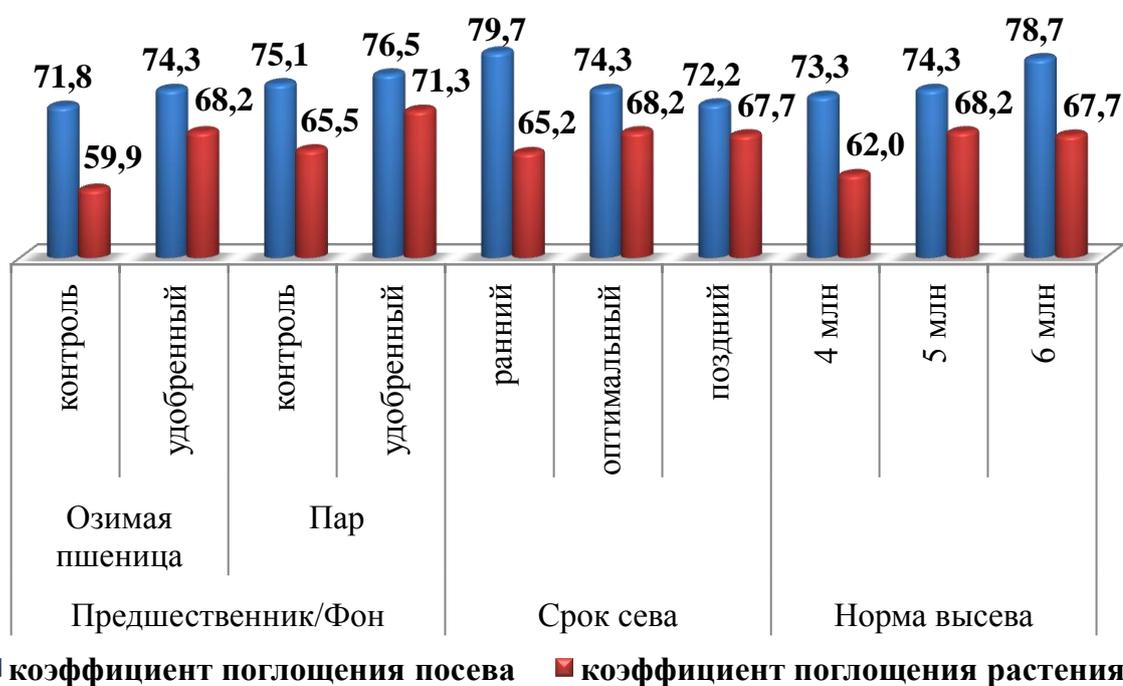
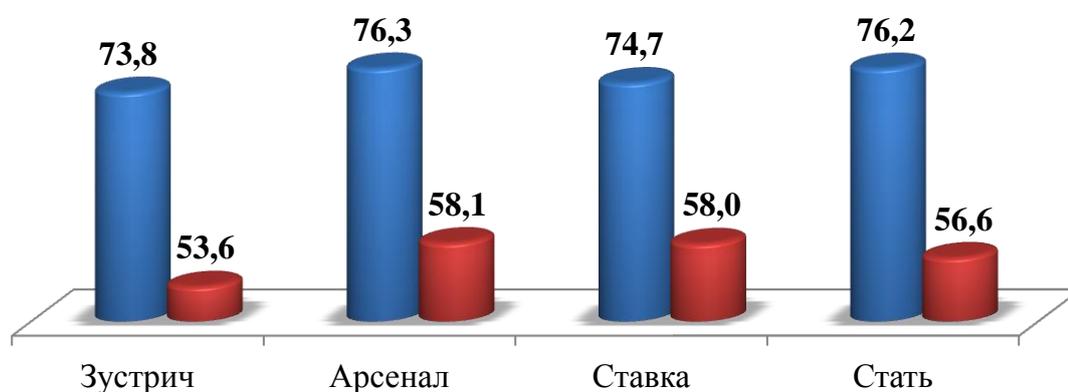


Рисунок 13 – Коэффициенты поглощения фотосинтетически активной радиации всего посева и растениями озимой пшеницы в зависимости от элементов технологии возделывания, % (среднее за 2016-2018 гг.)

При ранних сроках сева значения коэффициентов поглощения солнечной радиации посевами озимой пшеницы были выше, чем при оптимальных и поздних на 5,4 и 7,5 % соответственно, а в случае с поглощением растениями на этих же вариантах наблюдалась обратная закономерность. При норме высева 6 млн./га коэффициенты поглощения ФАР всем посевом оказались выше, чем при 4 и 5 млн., на 5,4 и 4,4 % соответственно, а коэффициенты поглощения ФАР растениями при оптимальной и максимальной нормах (68,2 и 67,7 % соответственно) выше, чем при минимальной, в среднем на 5,9 % (Шестакова Е.О. и др., 2017-1; 2018-1).

Изучение влияния сортовых особенностей озимой пшеницы на коэффициенты поглощения солнечной радиации показало, что из всех изученных сортов максимальные коэффициенты поглощения ФАР посевом и отдельно растениями отмечены у сорта Арсенал – 76,3 и 58,1 % соответственно, а минимальные у сорта Зустріч – 73,8 и 53,6 % (рисунок 14).



■ коэффициент поглощения посева ■ коэффициент поглощения растениями

Рисунок 14 – Коэффициенты поглощения фотосинтетически активной радиации всего посева и растениями озимой пшеницы в зависимости от сортовых особенностей озимой пшеницы, % (среднее за 2016-2018 гг.)

Таким образом, при улучшении условий выращивания (предшественник – черный пар и применение минеральных удобрений), на ранних сроках сева и при повышенной норме высева коэффициенты поглощения солнечной радиации посевом увеличиваются. Коэффициенты поглощения ФАР растениями повышаются на удобренном фоне и при оптимальных нормах и сроках

сева. На полученные закономерности оказывают влияние сортовые особенности структурной организации посева. 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 %.

4.3. Коэффициент полезного действия фотосинтетически активной радиации посевов озимой пшеницы

Показателем, который характеризует результат фотосинтетической продуктивности посева за вегетацию, является количество солнечной энергии, запасенной растениями в биомассе. В наших опытах посевы озимой пшеницы без внесения удобрений по предшественнику озимая пшеница и черный пар в среднем накопили 20546 и 27217 МДж/м² соответственно (таблица 26). Превышение этого значения по паровому предшественнику составило 32,5 %. При внесении удобрений показатели накопленной световой энергии увеличились: по предшественнику озимая пшеница на 43,8 %, по пару – на 24,3 %.

Существенные сортовые различия по количеству запасенной энергии наблюдаются в периоды до колошения и после. Например, у сорта Ставка на удобренном варианте по предшественнику озимая пшеница световая энергия до колошения накопилась в количестве 22224 МДж/м², а за репродуктивный период всего 5011 МДж/м², что меньше на 77,5 %. У сорта Арсенал на этом же варианте наблюдается противоположная картина, т.е. после колошения количество запасенной энергии выше, чем до колошения, на 15,2 %. У этого сорта по паровому предшественнику на контрольном и удобренном вариантах существенной разницы в показателях накопленной солнечной энергии в эти периоды не отмечено.

Полученные результаты объясняются тем, что в данном случае проявляются сортовые особенности по высоте растений. Сорт Ставка, в отличие от сорта Арсенал, формирует более высокий посев, поэтому для накопления

биомассы за период от начала вегетации до колошения ему необходимо больше энергии, чем низкорослому сорту. С другой стороны, сорт Арсенал более урожайный, поэтому в репродуктивный период ему необходимо дополнительное количество приходящей ФАР в это время роста и развития.

Таблица 26 – Накопление ФАР посевами озимой пшеницы различных сортов в зависимости от предшественника и уровня минерального питания, МДж/м²

Предшественник/Фон	Сорт	До колошения	Репродуктивный период	За вегетацию
Озимая пшеница/ контроль	Зустріч	11539	9313	20852
	Арсенал	11670	8899	20570
	Ставка	11817	7618	19435
	Стать	11344	9983	21327
	Среднее	11593	8954	20546
Озимая пшеница/ удобренный	Зустріч	17837	8622	26459
	Арсенал	14899	17156	32056
	Ставка	22224	5011	27235
	Стать	17598	14856	32454
	Среднее	18139	11411	29551
Пар/контроль	Зустріч	15325	12511	27835
	Арсенал	12743	12164	24907
	Ставка	16148	12187	28335
	Стать	17375	10414	27789
	Среднее	15398	11819	27217
Пар/удобренный	Зустріч	19934	12761	32695
	Арсенал	16625	16296	32921
	Ставка	20545	14422	34967
	Стать	19944	14810	34754
	Среднее	19262	14572	33834

Изучение влияния сроков сева на накопление световой энергии в посевах озимой пшеницы различных сортов показало, что в оптимальные сроки ее запас выше, чем на ранних и поздних. В период до колошения эти показатели больше на 22,8 и 21,7 % соответственно, в репродуктивный период на 30,2 и 32,7 %, а за весь период вегетации на 25,5 и 25,8 % (таблица 27). В оптимальный срок сева сорт Стась за весь период вегетации накапливает наибольшее количество солнечной энергии – 32454 МДж/м², что больше чем у минимального значения, которое отмечено у сорта Зустріч (26459 МДж/м²), на 22,7 %.

До колошения в среднем по сортам показатели накопления световой энергии в посевах озимой пшеницы различных сортов выше при норме высева 5 млн./га, чем при 4 и 6 млн., на 27,2 и 16,5 % соответственно. В репродуктивный период значения накопленной солнечной энергии при нормах высева 4 и 6 млн./га составили практически одинаковые значения – 13726 и 13682 МДж/м² соответственно, что в среднем выше, чем при норме 5 млн./га, на 20,1 %, а за весь период вегетации наибольшие показатели отмечены при оптимальной и максимальной нормах высева – 29551 и 29252 МДж/м² соответственно, что в среднем больше, чем при минимальной норме на 5,1 %. У сорта Ставка за весь период вегетации при нормах высева 4 и 6 млн./га отмечаются максимальные значения накопления световой энергии посевами (31203 и 36220 МДж/м² соответственно), минимум на этих вариантах – у сорта Арсенал (24002 МДж/м²) и Зустріч (25813 МДж/м²). При норме высева 5 млн./га сорт Стась накапливает наибольшее количество световой энергии – 32454 МДж/м², а наименьшее Зустріч (26459 МДж/м²).

Эффективность работы посева по запасанию солнечной энергии оценивают коэффициентом использования энергии ФАР на формирование урожая. По мнению А.А. Ничипоровича (1963) оптимальные значения КПД для хорошо развитых посевов составляет 2-3 %. В наших опытах этот показатель у всех сортов за весь период вегетации находился в пределах 1,63-3,04 % (таблица 28, 29).

Таблица 27 – Накопление ФАР посевами озимой пшеницы различных сортов в зависимости от срока сева и нормы высева, МДж/м²

Вариант	Сорт	До колоше- ния	Репродук- тивный пе- риод	За вегета- цию
Срок сева				
Ранний	Зустріч	14272	6655	20927
	Арсенал	15879	5800	21679
	Ставка	15004	11857	26861
	Стать	13926	10753	24679
	Среднее	14770	8766	23537
Оптимальный	Зустріч	17837	8622	26459
	Арсенал	14899	17156	32056
	Ставка	22224	5011	27235
	Стать	17598	14856	32454
	Среднее	18139	11411	29551
Поздний	Зустріч	14333	8526	22859
	Арсенал	11480	8295	19775
	Ставка	18574	8029	26603
	Стать	15228	9536	24764
	Среднее	14904	8597	23500
Норма высева				
4 млн	Зустріч	12676	16861	29537
	Арсенал	13665	10338	24002
	Ставка	15234	15969	31203
	Стать	15460	11739	27199
	Среднее	14259	13726	27985
5 млн	Зустріч	17837	8622	26459
	Арсенал	14899	17156	32056
	Ставка	22224	5011	27235
	Стать	17598	14856	32454
	Среднее	18139	11411	29551
6 млн	Зустріч	15158	10655	25813
	Арсенал	14045	12449	26495
	Ставка	17377	18843	36220
	Стать	15700	12782	28482
	Среднее	15570	13682	29252

Наименьшие значения КПД ФАР были отмечены на предшественнике озимая пшеница на варианте без удобрений. Здесь эти показатели в среднем по сортам составили 1,72 %, что ниже, чем на удобренном фоне, на 0,76 % (таблица 28).

Таблица 28 – КПД ФАР посевов озимой пшеницы различных сортов в зависимости от предшественника и уровня минерального питания, %

Предшественник/Фон	Сорт	До колошения	Репродуктивный период	За вегетацию
Озимая пшеница/ контроль	Зустріч	1,41	2,47	1,75
	Арсенал	1,43	2,36	1,72
	Ставка	1,45	2,02	1,63
	Стать	1,39	2,65	1,79
	Среднее	1,42	2,38	1,72
Озимая пшеница/ удобренный	Зустріч	2,19	2,29	2,22
	Арсенал	1,83	4,56	2,69
	Ставка	2,72	1,33	2,28
	Стать	2,16	3,95	2,72
	Среднее	2,22	3,03	2,48
Пар/контроль	Зустріч	1,88	3,32	2,33
	Арсенал	1,56	3,23	2,09
	Ставка	1,98	3,24	2,38
	Стать	2,13	2,77	2,33
	Среднее	1,89	3,14	2,28
Пар/удобренный	Зустріч	2,44	3,39	2,74
	Арсенал	2,04	4,33	2,76
	Ставка	2,52	3,83	2,93
	Стать	2,44	3,93	2,91
	Среднее	2,36	3,87	2,84

Улучшение условий выращивания существенно повлияло на показатели КПД, особенно это наблюдается при рассмотрении этих значений в период до колошения и после. На удобренном фоне по паровому предшественнику в среднем по сортам коэффициент использования посевами ФАР в репродуктивный период увеличился на 1,51 %, по сравнению с периодом до колошения, а в конце вегетации по всем изучаемым вариантам он составил максимальное значение – 2,84 %. Наименьший КПД ФАР из всех изучаемых сортов отмечен у сорта Ставка на варианте без удобрений по колосовому предшественнику – 1,63 %, а наибольшее – 2,93 % у этого же сорта на удобренном фоне по пару.

На раннем и позднем сроках сева значения коэффициентов использования посевами ФАР составили практически одинаковые значения и оказались ниже, чем на оптимальном, в среднем до колошения на 0,40 %, в репродуктивный период на 0,73 %, а за всю вегетацию на 0,51 % (таблица 29). В оптимальный срок сева наибольшие значения КПД ФАР за вегетацию отмечены у сортов Сталь (0,72 %) и Арсенал (0,69 %). Необходимо отметить, что в период после колошения эти значения существенно выше, чем до колошения, на 1,79 % и 2,73 % соответственно. У сорта Ставка наблюдается обратная закономерность, а у сорта Зустріч значения коэффициенты полезного действия солнечной радиации были практически одинаковы до и после колошения.

Влияние различных норм высева на показатели КПД ФАР в среднем по сортам незначительно, однако прослеживается тенденция к их снижению при 4 миллионах всхожих семян на 1 га. Также необходимо отметить, что при пониженной и повышенной норме высева коэффициенты использования солнечной радиации в период до колошения ниже, чем при оптимальной норме, а после колошения происходит их существенный прирост. На варианте с нормой 5 млн./га у сорта Сталь отмечается наибольший коэффициент полезного действия ФАР – 2,72 %, а при 4 и 6 млн./га у сорта Ставка – 2,62 и 3,04 % соответственно.

Таблица 29 – КПД ФАР посевов озимой пшеницы различных сортов в зависимости от срока сева и нормы высева, %

Вариант	Сорт	До колошения	Репродуктивный период	За вегетацию
Срок сева				
Ранний	Зустріч	1,75	1,77	1,75
	Арсенал	1,95	1,54	1,82
	Ставка	1,84	3,15	2,25
	Стать	1,71	2,86	2,07
	Среднее	1,81	2,33	1,97
Оптимальный	Зустріч	2,19	2,29	2,22
	Арсенал	1,83	4,56	2,69
	Ставка	2,72	1,33	2,28
	Стать	2,16	3,95	2,72
	Среднее	2,22	3,03	2,48
Поздний	Зустріч	1,76	2,26	1,92
	Арсенал	1,41	2,20	1,66
	Ставка	2,28	2,13	2,23
	Стать	1,87	2,53	2,08
	Среднее	1,83	2,28	1,97
Норма высева				
4 млн	Зустріч	1,55	4,48	2,48
	Арсенал	1,67	2,75	2,01
	Ставка	1,87	4,24	2,62
	Стать	1,89	3,12	2,28
	Среднее	1,75	3,65	2,35
5 млн	Зустріч	2,19	2,29	2,22
	Арсенал	1,83	4,56	2,69
	Ставка	2,72	1,33	2,28
	Стать	2,16	3,95	2,72
	Среднее	2,22	3,03	2,48
6 млн	Зустріч	1,86	2,83	2,16
	Арсенал	1,72	3,31	2,22
	Ставка	2,13	5,00	3,04
	Стать	1,92	3,40	2,39
	Среднее	1,91	3,63	2,45

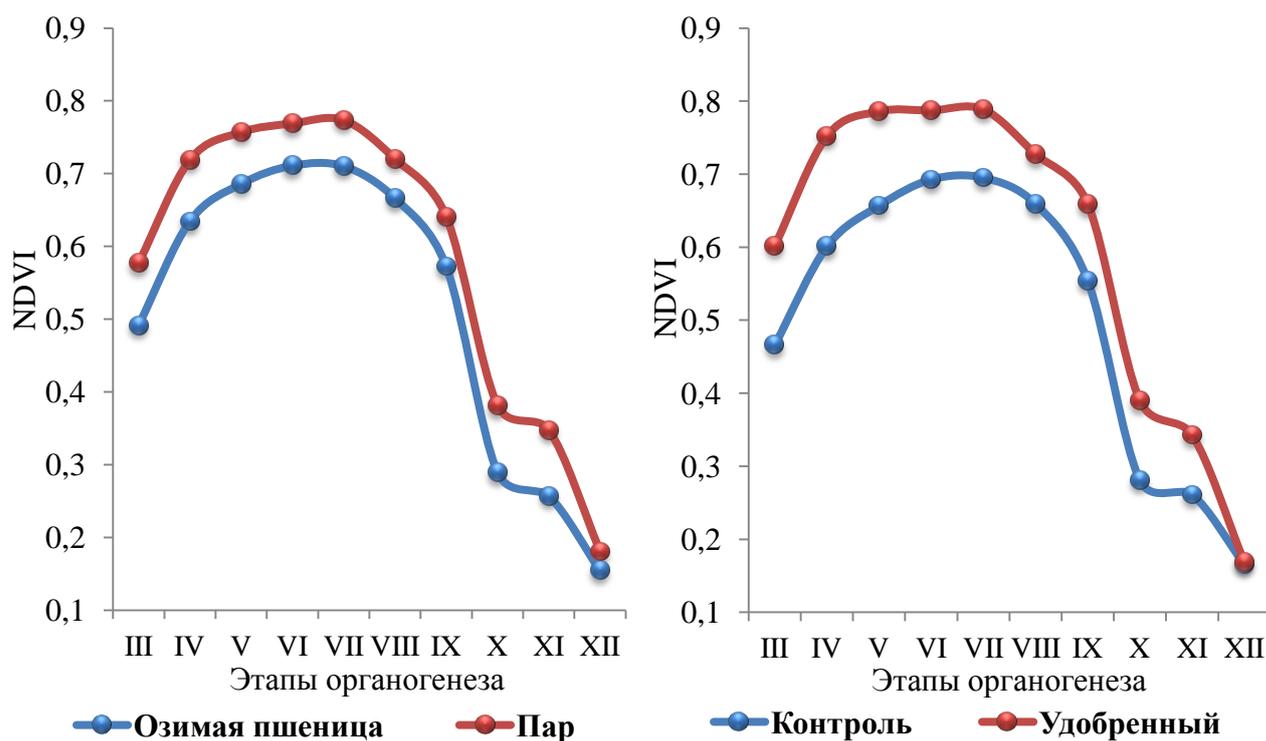
Полученные результаты объясняются тем, что, как уже отмечалось, распределение и запасание посевом солнечной радиации зависит от площади ассимиляционной поверхности, концентрации зеленых пигментов, стеблестоя и высоты растений. Такая закономерность подтверждает анализом коэффициентов корреляции между этими показателями. Так, в среднем по всем изученным вариантам корреляционная связь между КПД ФАР и площадью фотосинтезирующей поверхности составила 0,63, с содержанием хлорофилла – 0,56, со стеблестоем – 0,50 и между КПД и высотой растений – 0,61, что согласно шкале Чеддока соответствует средней степени силы связи между данными показателями. Так же нами установлена корреляционная связь между КПД ФАР и поверхностным и хлорофилловым фотосинтетическими потенциалами растений озимой пшеницы, которая составила 0,68 (средняя сила связи) и 0,72 (высокая сила связи) соответственно. Полученные значения являются значимыми по данным таблицы критических значений корреляции Пирсона для $p=0,01$.

Следовательно, при использовании тех или иных агротехнических приемов выращивания и подбором сортов озимой пшеницы, можно оптимизировать посев таким образом, чтобы он был способен поглощать фотосинтетически активную радиацию с наибольшим КПД, тем самым увеличивая общую фотосинтетическую продуктивность.

5. ВЕГЕТАЦИОННЫЙ ИНДЕКС NDVI И ФОТОСИНТЕТИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ПОСЕВОВ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ

5.1. Влияние технологических приемов выращивания озимой пшеницы на NDVI ее посевов

Изучение влияния различных элементов технологии возделывания озимой пшеницы на NDVI ее посевов, как одного из показателей его оптико-биологических характеристик показало, что улучшение условий выращивания (предшественник – пар и применение минеральных удобрений) способствовало увеличению значений вегетационного индекса. За годы исследований, на паровом предшественнике в среднем за вегетацию величина NDVI была на 14,5 % больше, чем на колосовом. Применение $N_{90}P_{60}K_{60}$ увеличивало этот показатель на 19,0 % (рисунок 14) (Шестакова Е.О. и др., 2017).



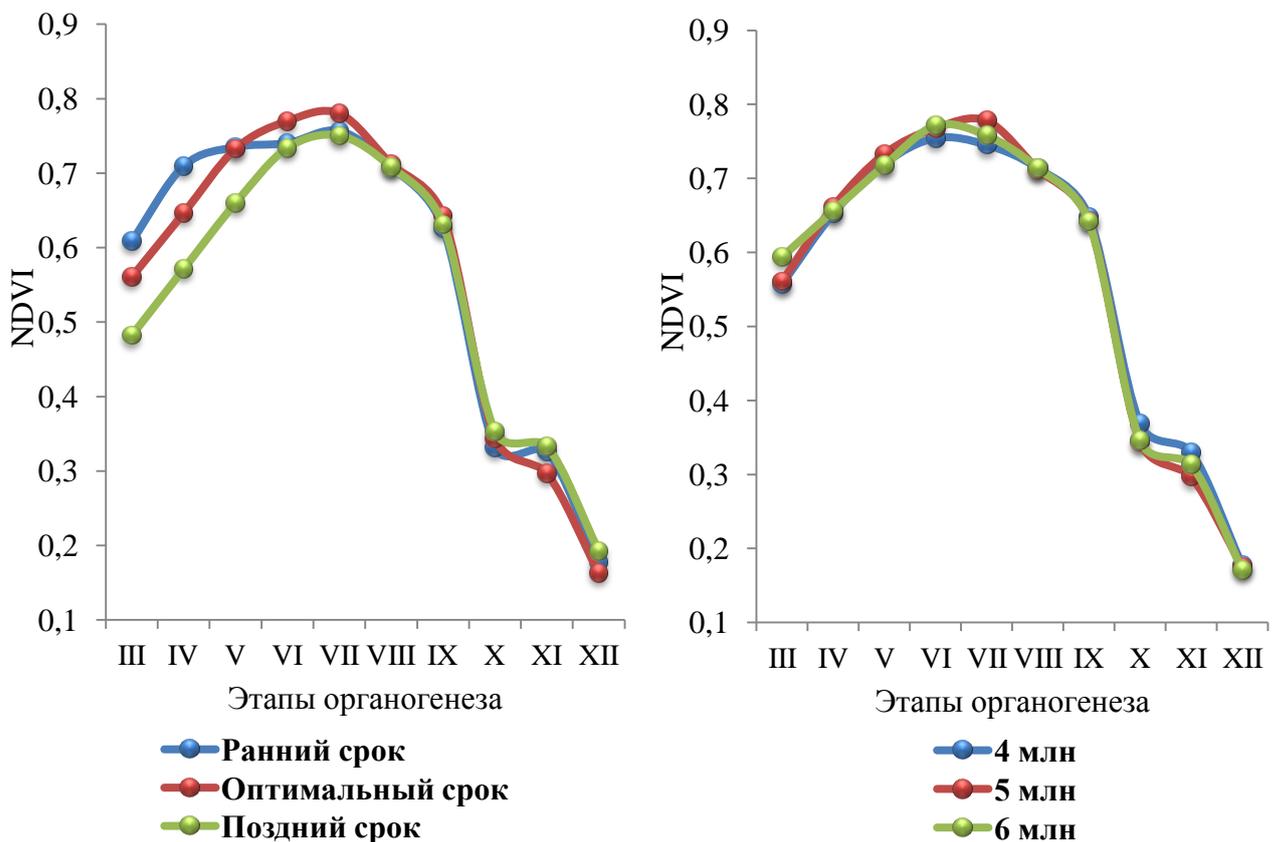
НСР₀₅ фактора А (предшественник) = 0,007, $F_{\phi} = 215,3 > F_T = 4,1$; НСР₀₅ фактора В (этапы органогенеза) = 0,015, $F_{\phi} = 788,5 > F_T = 2,1$; НСР₀₅ опыта = 0,029, $F_{\phi} = 385,7 > F_T = 1,9$

НСР₀₅ фактора А (минеральное питание) = 0,006, $F_{\phi} = 498,9 > F_T = 4,1$; НСР₀₅ фактора В (этапы органогенеза) = 0,014, $F_{\phi} = 931,2 > F_T = 2,1$; НСР₀₅ опыта = 0,027, $F_{\phi} = 471,7 > F_T = 1,9$

Рисунок 14 – Влияние предшественников и минерального питания на NDVI посевов озимой пшеницы различных сортов (среднее за 2016-2018 гг.)

Отмечается существенная разница при различных сроках сева с момента возобновления весенней вегетации до начала колошения. В среднем за этот период у посевов ранних и оптимальных сроков сева NDVI оказался выше, чем у поздних сроков, на 8,0 % (рисунок 15) (Ерошенко Ф.В., Сторчак И.Г., Шестакова Е.О., 2018).

В среднем за годы исследований устойчивых закономерностей влияния различных норм высева на величины индекса NDVI нами не установлено. Однако необходимо отметить, что в 2016 и 2018 гг. на этапе весеннего кущения разница в значениях NDVI составляла более 20,0 % (приложение 7, 9) (Сторчак И.Г., Ерошенко Ф.В., Оганян Л.Р., Шестакова Е.О., Калашникова А.А., 2021).

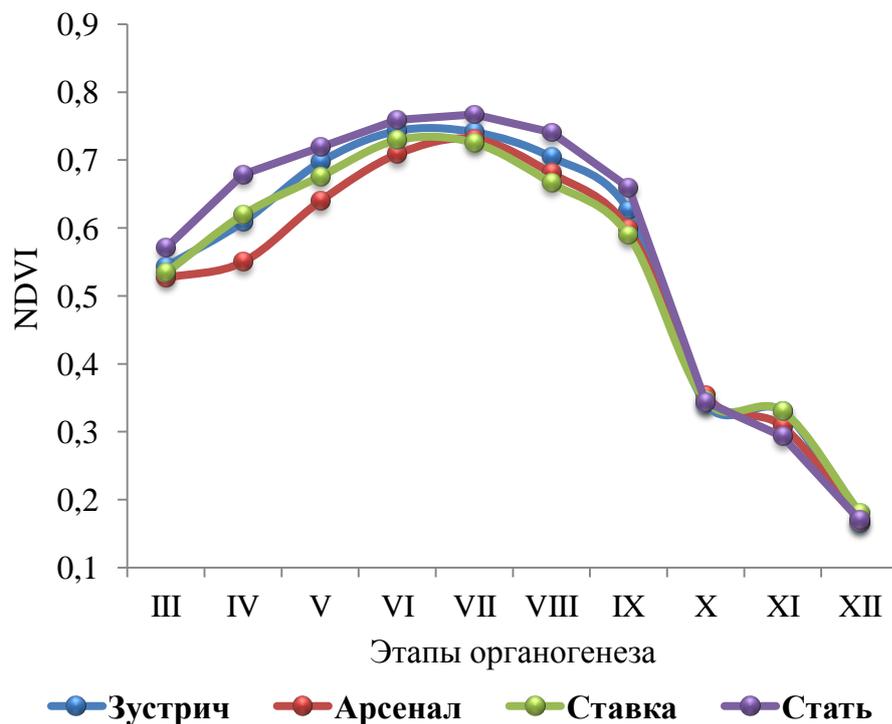


НСР₀₅ фактора А (срок сева) = 0,006, $F_{\phi} = 24,9 > F_T = 3,2$; НСР₀₅ фактора В (этапы органогенеза) = 0,012, $F_{\phi} = 1264,8 > F_T = 2,0$; НСР₀₅ опыта = 0,028, $F_{\phi} = 400,7 > F_T = 1,7$

НСР₀₅ фактора А (норма высева) = 0,006, $F_{\phi} = 0,2 < F_T = 8,6$; НСР₀₅ фактора В (этапы органогенеза) = 0,012, $F_{\phi} = 1317,2 > F_T = 2,0$; НСР₀₅ опыта = 0,028, $F_{\phi} = 410,2 > F_T = 1,7$

Рисунок 15 – Влияние сроков сева и норм высева на NDVI посевов озимой пшеницы различных сортов (среднее за 2016-2018 гг.)

В среднем по всем вариантам посева изучаемых сортов озимой пшеницы отличаются по величине вегетационного индекса – максимальная разница в среднем за вегетацию составляет 7,9 % (Сторчак И.Г., Шестакова Е.О., Ерошенко Ф.В., 2018). В отдельные периоды роста и развития растений такие отличия более существенны (рисунок 20). Например, в период начала выхода в трубку разница между NDVI у сортов Сталь и Арсенал по всем вариантам составляет 12,4 % (рисунок 16).



НСР₀₅ фактора А (сорт) = 0,006, $F_{\phi} = 37,7 > F_T = 2,7$; НСР₀₅ фактора В (этапы органогенеза) = 0,009, $F_{\phi} = 1780,6 > F_T = 2,0$; НСР₀₅ опыта = 0,027, $F_{\phi} = 471,4 > F_T = 1,6$

Рисунок 16 – Влияние сорта на NDVI посевов озимой пшеницы (среднее за 2016-2018 гг.)

Таким образом, использование различных элементов технологии возделывания оказывает влияние на вегетационного индекса NDVI. Улучшение предшественника и уровня минерального питания в наших опытах способствовало увеличению значений NDVI озимой пшеницы в среднем на 14,5 % и 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. Влия-

ние сортовых особенностей посевов на значение вегетационного индекса в среднем составило 7,9 %.

Следовательно, элементы технологии возделывания, такие как сорт, предшественник, минеральное питание, сроки и нормы высева, оказывают существенное влияние не только на фотосинтетическую продуктивность растений озимой пшеницы, но и на NDVI их посевов. Полученные результаты дают возможность использовать их для научного обоснования существующих закономерностей взаимосвязи данных дистанционного зондирования Земли с продукционным процессом сельскохозяйственных культур.

5.2. Связь вегетационного индекса NDVI с фотосинтетической деятельностью посевов озимой пшеницы

Для установления взаимосвязи данных дистанционного зондирования Земли с фотосинтетической деятельностью нами были посчитаны коэффициенты корреляции между этими показателями. В расчетах мы использовали: максимальный NDVI в период с возобновления весенней вегетации до полной спелости ($NDVI_{max}$), NDVI в колошение ($NDVI_{ear}$) и NDVI средний в период с возобновления весенней вегетации до полной спелости ($NDVI_{aver}$).

Анализ показал, что корреляционная связь между этими показателями существует и значима для $p=0,01$, кроме связи $NDVI_{ear}$ и $NDVI_{aver}$ с чистой продуктивностью фотосинтеза, рассчитанной по содержанию хлорофилла, а также $NDVI_{max}$ с коэффициентом поглощения посева, для которых такая связь значима при $p=0,05$ (таблица 30).

Между NDVI и чистой продуктивностью фотосинтеза растений озимой пшеницы корреляция отрицательная, что свидетельствует о снижении эффективности работы фотосинтетического аппарата посевов при увеличении NDVI. Необходимо отметить, что связь наблюдается только между NDVI и ЧПФ, рассчитанной по содержанию хлорофилла, в то время как с ЧПФ, рассчитанной по площади ассимиляционной поверхности, в наших опытах такая связь отсутствует. Возможно, это обусловлено тем, что эффективность рабо-

ты фотосинтетического аппарата в большей степени зависит от содержания хлорофилла в растениях, чем от площади ассимиляционной поверхности (Ерошенко Ф.В., Сторчак И.Г., Шестакова Е.О., Энговатова И.В., Бильдиева Е.А., 2020).

Таблица 30 – Коэффициенты корреляции между вегетационным индексом NDVI и показателями фотосинтетической деятельности и радиационным режимом посевов озимой пшеницы

Показатель 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**
ЧПФ _S , (г/м ²)•сутки	-0,23	-0,17	-0,24
ЧПФ _{Chl} , (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

Исследования показали, что коэффициенты корреляции NDVI в колошение с показателями фотосинтетической деятельности и радиационным ре-

жимом посевов озимой пшеницы в среднем меньше на 18,7 %, чем с максимальным NDVI и средним за вегетацию. В случае с показателями фотосинтетической деятельности это, возможно, объяснить тем, что в период колошения возрастает доля затрат на дыхание, связанная с увеличением биомассы растения, которая может достигать 70,0 % углеводов, образуемых в процессе фотосинтеза. Тогда как уменьшение корреляционной зависимости показателя эффективности использования ФАР посевами озимой пшеницы с NDVI в колошение может быть связано с тем, что в этот период наблюдается снижение значений NDVI, обусловленное снижением количества хлорофилла в верхней части посева из-за появления колосьев, которые в этот период составляют значительную часть проективного покрытия посева (Ерошенко Ф.В., Сторчак И.Г., Шестакова Е.О., 2015).

Однако такая закономерность наблюдается для всех рассматриваемых показателей кроме коэффициента поглощения посевом озимой пшеницы. Здесь коэффициент корреляции с $NDVI_{ear}$ выше, чем с $NDVI_{aver}$ и $NDVI_{max}$, на 49,7 и 15,9 % соответственно. С нашей точки зрения, это связано с тем, что в период колошения содержание хлорофилла на 1 м^2 посева становится максимальным за весь период вегетации, что отражается на полученных результатах.

Таким образом, между вегетационным индексом NDVI и показателями фотосинтетической деятельности посевов озимой пшеницы существует тесная корреляционная связь. Максимальное ее проявление отмечается между наибольшим значением NDVI за весь период вегетации и ПФСП, коэффициент корреляции в этом случае составляет 0,74.

Метод множественной регрессии позволил проанализировать влияние показателей фотосинтетической деятельности и радиационного режима посевов озимой пшеницы на вегетационный индекс NDVI (максимальный, средний за вегетацию, а также в фазу колошения). Характеристика метода: линейный метод наименьших квадратов с пошаговым отбором и исключением факторов (5,0 % уровень значимости для исключения), со свободным членом.

Программное обеспечение – Statistica 10.0. В качестве переменных были выбраны такие показатели фотосинтетической деятельности посева как поверхностный и хлорофилловый фотосинтетические потенциалы, максимальная площадь листьев, площадь ассимиляционной поверхности, относительное и абсолютное содержание хлорофилла в листьях и в растениях в целом. Для характеристики использования растениями озимой пшеницы приходящей солнечной радиации был использован коэффициент поглощения посева.

На полученных диаграммах Парето отобразились те переменные, которые оказывают наибольшее влияние на показатели вегетационного индекса NDVI в тот или иной период роста и развития растений озимой пшеницы. Анализ показал, что коэффициент поглощения посева, ПФСП, площадь листьев и относительное содержание хлорофилла в листьях и отдельно в растениях в наибольшей мере оказывают влияние на вегетационный индекс NDVI (рисунок 17, 18, 19).

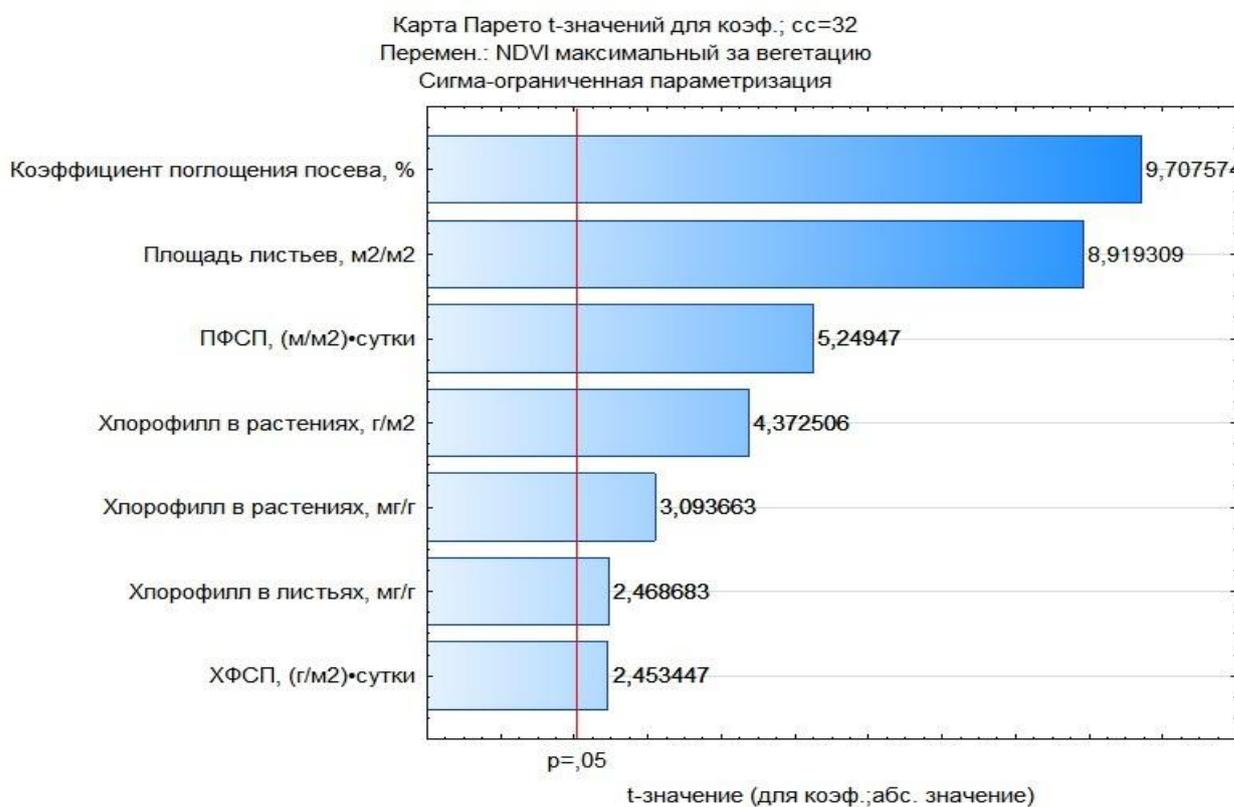


Рисунок 17 – Влияние показателей фотосинтетической деятельности и радиационного режима посевов озимой пшеницы на NDVI максимальный за вегетацию

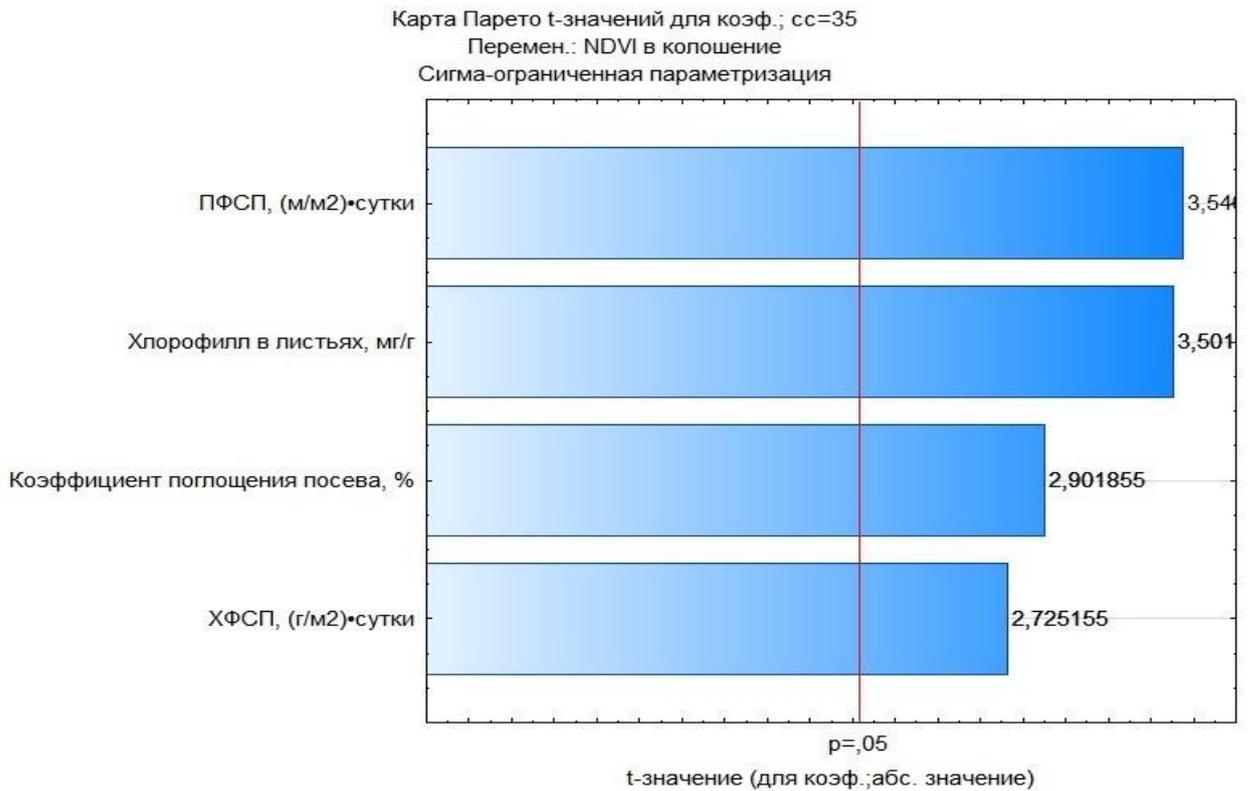


Рисунок 18 – Влияние показателей фотосинтетической деятельности и радиационного режима посевов озимой пшеницы на NDVI в колошение

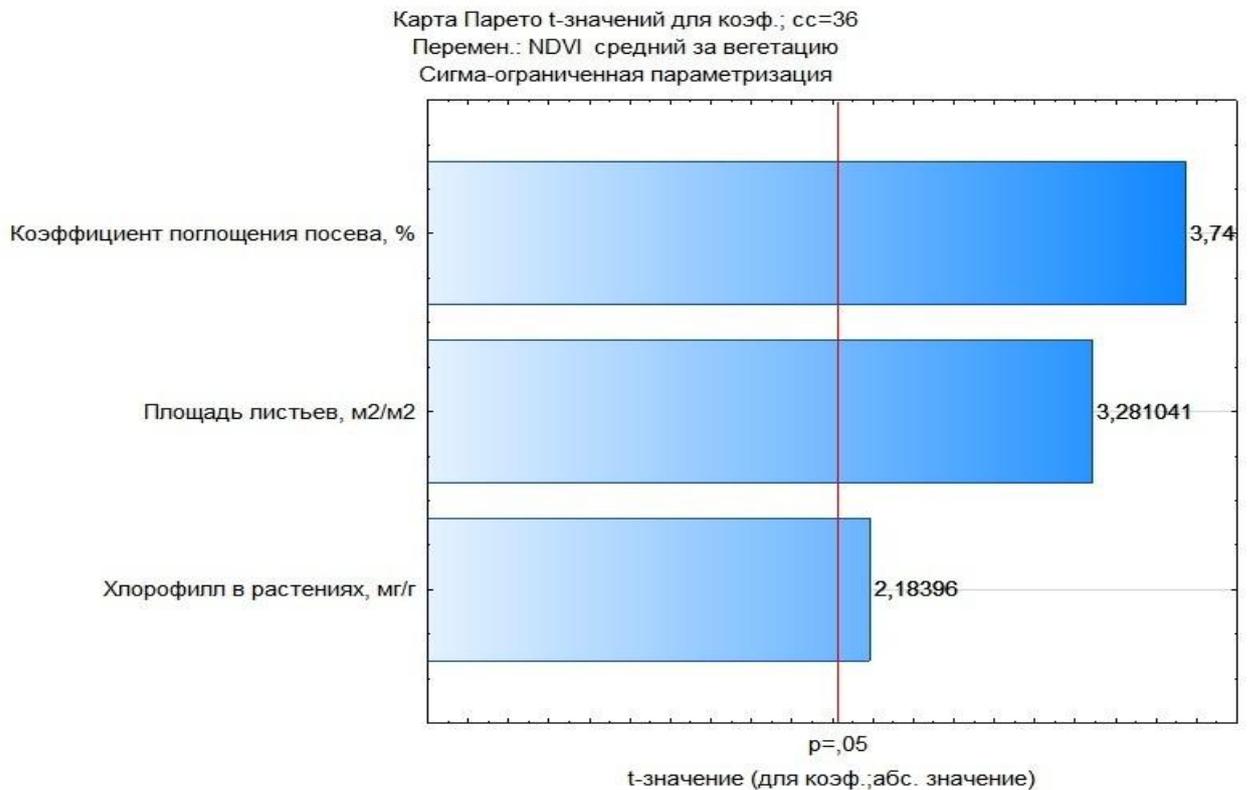


Рисунок 19 – Влияние показателей фотосинтетической деятельности и радиационного режима посевов озимой пшеницы на NDVI средний за вегетацию

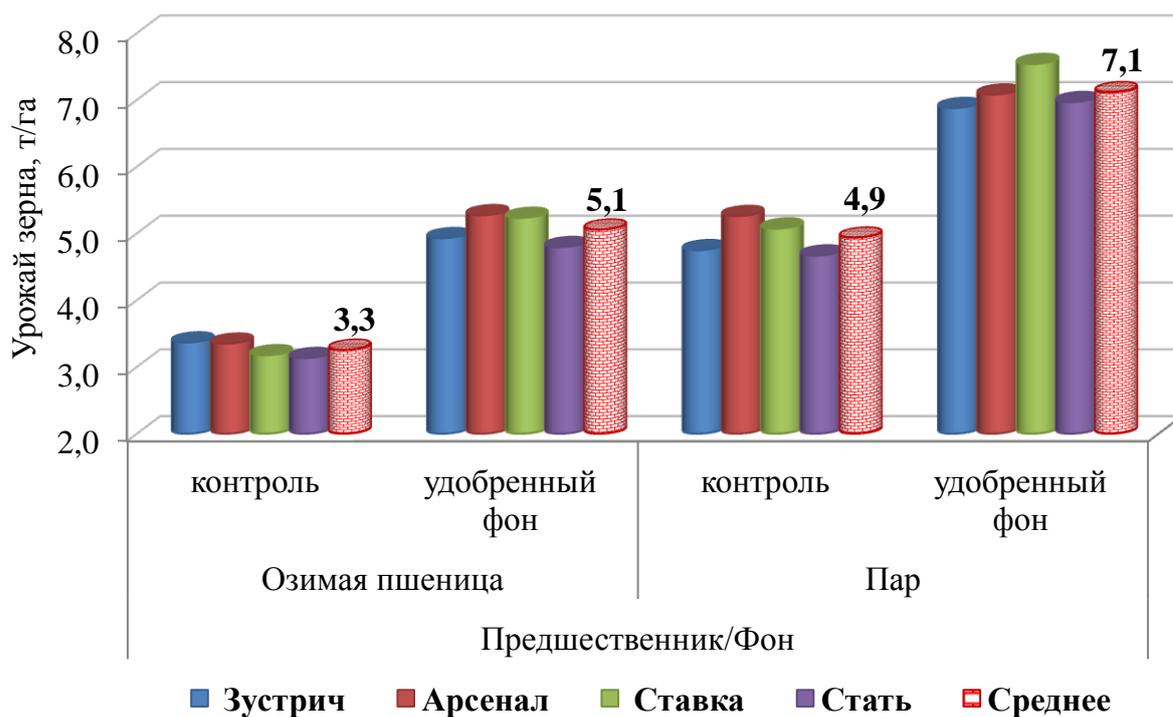
Таким образом, наши исследования показали, что вегетационный индекс NDVI посева озимой пшеницы тесно связан с его фотосинтетической деятельностью, о чем свидетельствуют математически значимые коэффициенты корреляции 0,38-0,74. Для всех характеристик динамики NDVI наиболее тесная такая связь наблюдается с фотосинтетическими потенциалами (ПФСП и ХФСП) – коэффициент корреляции составляет 0,59-0,74, что согласно шкале Чеддока соответствует средней и высокой силе связи. Кроме того, показатели фотосинтетической продуктивности оказывают существенное влияние ($p=0,05$ или $<0,05$) на значение вегетационного индекса NDVI, о чем свидетельствуют данные диаграмм Парето.

6. УРОЖАЙНОСТЬ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЕМОВ ВЫРАЩИВАНИЯ

6.1. Влияние технологических приемов выращивания на урожайность озимой пшеницы

Результатом фотосинтетической деятельности растений озимой пшеницы является не только формирование общей биомассы посева, но и ее хозяйственно ценной части – урожая зерна (Ерошенко А.А. и др., 2013; Пушкарев С.Е., Пугач А.А., 2018).

В среднем за 2016-2018 гг. урожайность всех изучаемых сортов 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 20).



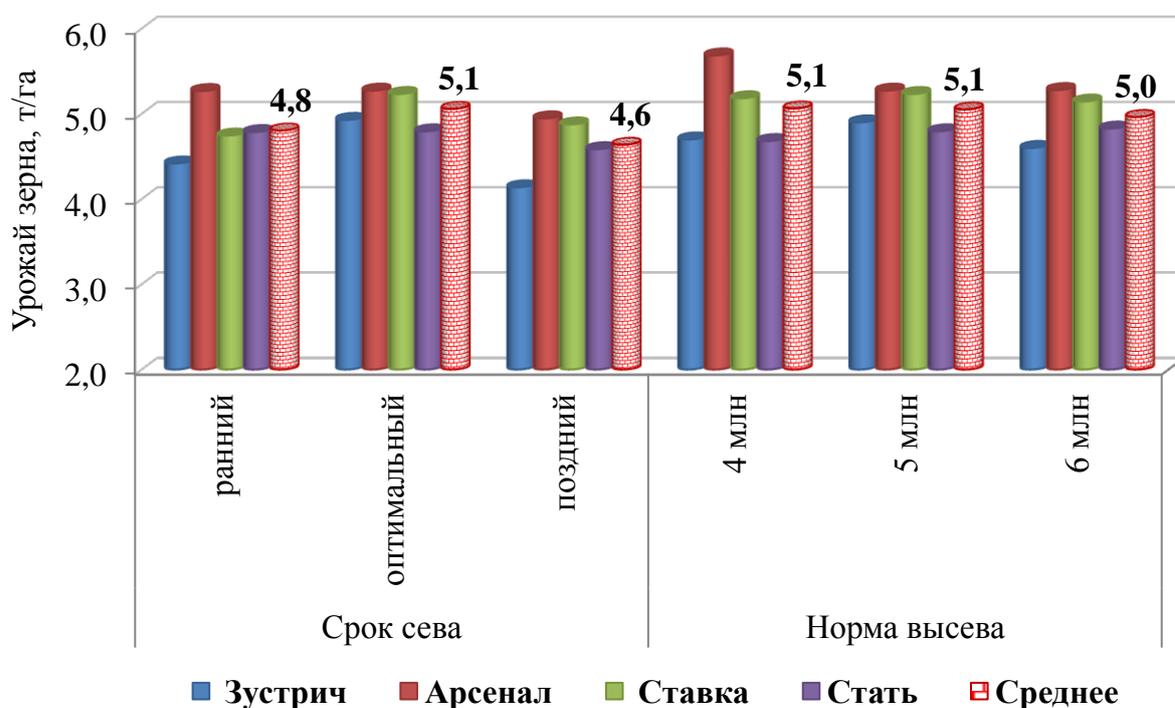
НСР₀₅ фактора А (предшественник) = 0,065 т/га, $F_{\phi} = 1733,2 > F_T = 4,1$; НСР₀₅ фактора В (минеральное питание) = 0,065 т/га, $F_{\phi} = 1962,3 > F_T = 4,1$; НСР₀₅ фактора С (сорт) = 0,092 т/га, $F_{\phi} = 16,7 > F_T = 2,9$; НСР₀₅ опыта = 0,253 т/га, $F_{\phi} = 253,2 > F_T = 2,0$

Рисунок 20 – Влияние предшественника и минерального питания на урожайность озимой пшеницы различных сортов, т/га (среднее за 2016-2018 гг.)

Применение минеральных удобрений на предшественнике пар способствовало увеличению урожайности озимой пшеницы в среднем по сортам на

44,1 %, а на предшественнике озимая пшеница – на 55,3 %. Наибольшая урожайность по предшественнику пар на удобренном фоне отмечена у сорта Ставка (7,5 т/га), на контрольном варианте – у сорта Арсенал (5,3 т/га). По предшественнику озимая пшеница на удобренном фоне максимальная урожайность была сформирована так же у сорта Арсенал (5,3 т/га), а на контрольном варианте у сорта Зустрич (3,4 т/га) (Шестакова Е.О. и др., 2018).

В среднем за годы исследований наибольшая урожайность была сформирована на оптимальном сроке сева, и в среднем по сортам она составила 5,1 т/га, что больше, чем при раннем и позднем севе, на 5,3 и 9,1 % соответственно (рисунок 21).



НСР₀₅ фактора А (срок сева) = 0,083 т/га, НСР₀₅ фактора А (норма высева) = 0,088 т/га,
 $F_{\phi} = 27,8 > F_T = 3,4$; НСР₀₅ фактора В (сорт) $F_{\phi} = 1,6 < F_T = 3,4$; НСР₀₅ фактора В (сорт) =
 = 0,096 т/га, $F_{\phi} = 38,6 > F_T = 3,0$; НСР₀₅ опыта = 0,101 т/га, $F_{\phi} = 45,7 > F_T = 3,0$; НСР₀₅ опыта =
 = 0,238 т/га, $F_{\phi} = 18,2 > F_T = 2,3$ 0,251 т/га, $F_{\phi} = 14,7 > F_T = 2,3$

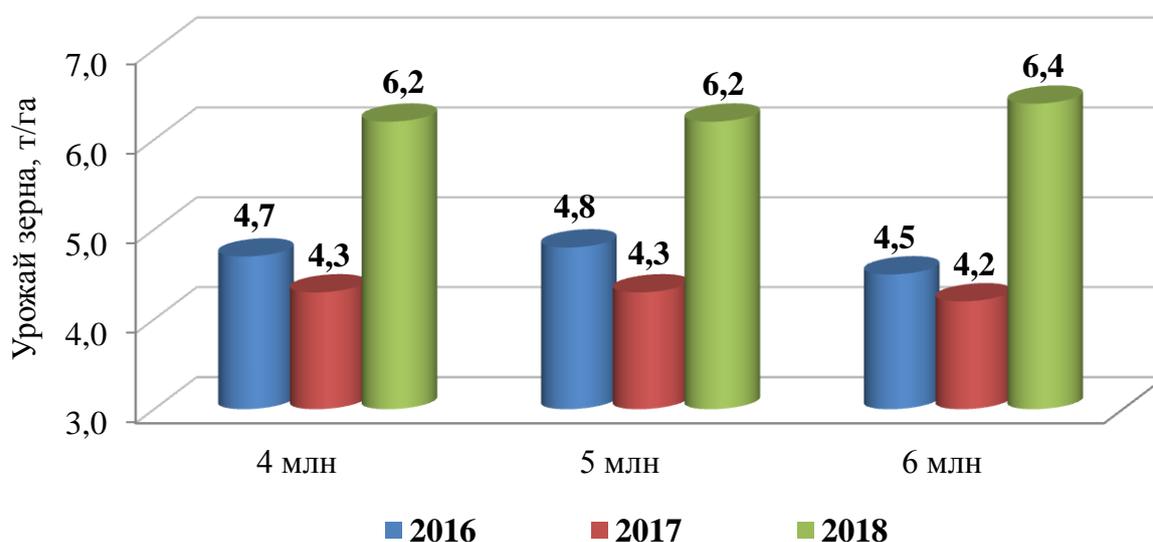
Рисунок 21 – Влияние сроков и норм высева на урожайность озимой пшеницы различных сортов, т/га (среднее за 2016-2018 гг.)

Выделяются сортовые особенности формирования урожая на различных сроках сева. Например, у сорта Зустрич 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 Сталь. При раннем и оптимальном сроках сева была сформирована одинаково максимальная урожайность – 4,8 т/га, что больше, чем на позднем сроке всего на 4,4 %.

В среднем по сортам за 2016-2018 гг. при нормах высева 4, 5 и 6 млн./га существенной разницы в значениях урожайности озимой пшеницы получено не было. Однако необходимо отметить, что в 2016 г. в среднем по сортам наименьшая урожайность была отмечена при максимальной норме высева (6 млн./га) – 4,5 т/га, что в среднем ниже, чем при минимальной и оптимальной норме, на 6,2 % (рисунок 22). А в 2018 г. прослеживается обратная закономерность – при 6 млн./га показатель урожайности (6,4 т/га) оказался выше, чем при 4 и 5 млн./га, на 3,5 %.

С нашей точки зрения, это связано с погодными условиями, которые сложились в весенне-летний период в 2018 году.



$$HCP_{05} \text{ опыта} = 0,250 \text{ т/га}, F_{\phi} = 119,0 > F_T = 2,6$$

Рисунок 22 – Влияние норм высева на урожайность озимой пшеницы в среднем по сортам за 2016-2018 гг., т/га.

Также необходимо отметить, что в среднем за годы исследований из всех изученных сортов, у Арсенала отмечаются существенные отличия в урожайности при различных нормах высева. Максимальным этот показатель

получен при норме высева 4 млн./га – 5,7 т/га, что больше чем при 5 и 6 млн., на 8,0 %.

Дисперсионный анализ позволил определить степень влияния различных элементов технологии возделывания на зерновую продуктивность посевов озимой пшеницы. Влияние сортовых особенностей озимой пшеницы на урожайность составило 42,7 % (рисунок 23). Такой высокий показатель обусловлен выбором новых сортов, которые адаптированы к условиям выращивания в зоне исследования. Ведь как известно из литературных данных, оптимальный подбор сортов без дополнительных затрат увеличивает валовой сбор сельскохозяйственной продукции на 25,0 % (Кононенко Л.А., 2008; Сандухадзе Б.И. и др., 2013).

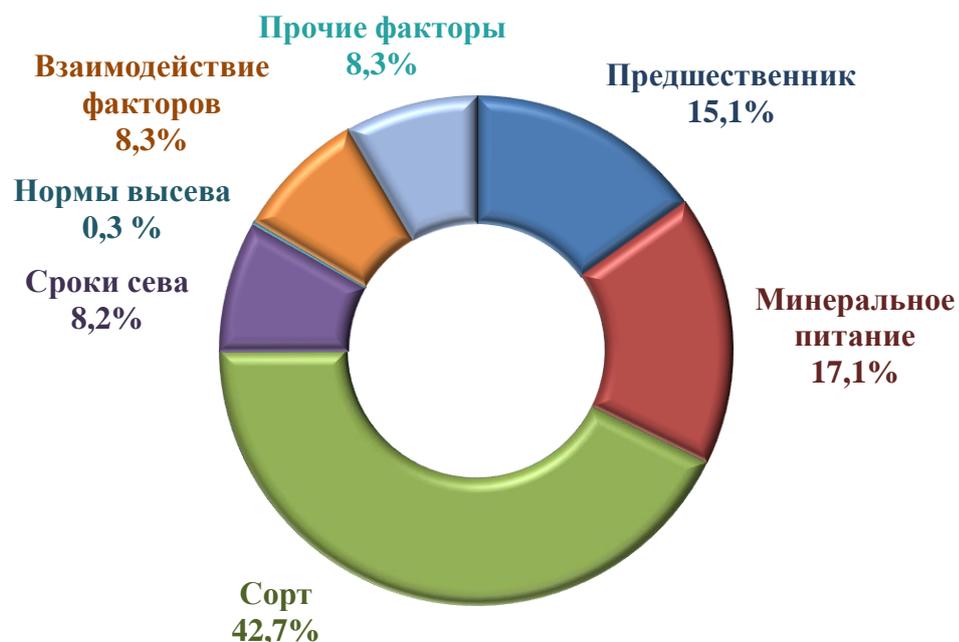


Рисунок 23 – Степень влияния различных элементов технологии возделывания на урожай зерна посевов озимой пшеницы, %

Существенной в наших опытах оказалась степень влияния минерального питания и предшественников – 17,1 и 15,1 % соответственно. И практически одинаковое влияние на урожайность озимой пшеницы оказали сроки сева, взаимодействие изучаемых факторов и прочие факторы – 8,3 %. Степень влияния норм высева на зерновую продуктивность посевов озимой пшеницы оказалось крайне низким – 0,3 %.

Анализ биологической урожайности растений при изучении влияния различных элементов технологии возделывания озимой пшеницы показал, что полученные данные и закономерности полностью согласуются с результатами комбайновой уборки.

Урожай зерна посевов озимой пшеницы определяется его структурой, основными элементами которой являются стеблестой, масса 1000 зерен, число зерен в колосе и масса зерна 1-го колоса. Если масса 1000 зерен, число зерен в колосе и вес зерна одного колоса отражают урожай одного побега, то продуктивный стеблестой характеризует урожай всего посева.

В наших опытах наибольший стеблестой был отмечен у сорта Зустрич практически на всех вариантах за исключением удобренного фона по паровому предшественнику и позднего срока сева, здесь максимум значения этого показателя наблюдался у сорта Сталь – 613 и 568 шт./м² соответственно (таблица 31, 32). Наименьшее количество стеблей с квадратного метра было получено у сорта Арсенал на всех вариантах, кроме удобренного фона по пару, в этом случае минимум отмечен у сорта Зустрич – 592 шт./м². Хотя у сорта Арсенал, по сравнению с другими сортами, самый низкий продуктивный стеблестой, тем не менее, число зерен в колосе на всех вариантах максимально. Такая же картина складывается для массы зерна с 1-го колоса, кроме варианта на предшественнике пар по удобренному фону, где наибольшее значение отмечено у сорта Ставка (1,42 г). Следовательно, сорт Арсенал формирует урожай не за счет стеблестоя, а благодаря выхода зерна с 1 колоса. Противоположная картина наблюдается у сорта Зустрич.

Сорт Сталь несколько уступает сорту Зустрич по количеству продуктивных стеблей на 1 м², у него этот показатель варьирует в пределах 464-613 шт./м². Несмотря на самое низкое число зерен и минимальную массу зерна в колосе, у этого сорта отмечена самая большая масса 1000 зерен. Следовательно, сорт Сталь в основном формирует свой урожай за счет крупности и выполненности зерна.

Таблица 31 – Элементы структуры урожая посевов озимой пшеницы в зависимости от предшественника и минерального питания
(среднее за 2016-2018 гг.)

Предшественник/Фон	Сорт	Продуктивный стеблестой, шт./м ²	Масса, г		Кол-во зерен в колосе, шт.	Биологическая урожайность, г/м ²
			зерна колоса	1000 зерен		
Озимая пшеница/контроль	Зустріч	482	0,83	40,7	20	397,6
	Арсенал	405	0,96	40,8	24	390,0
	Ставка	450	0,83	41,4	20	375,5
	Стать	464	0,79	44,6	18	364,6
	Среднее	450	0,85	42,0	20	381,9
Озимая пшеница/удобренный	Зустріч	575	1,01	41,5	24	578,7
	Арсенал	496	1,26	41,7	30	624,0
	Ставка	528	1,15	43,9	26	605,4
	Стать	571	0,99	45,4	22	565,8
	Среднее	543	1,10	43,1	26	593,5
Пар/контроль	Зустріч	528	1,06	42,1	25	560,1
	Арсенал	439	1,40	42,2	33	612,7
	Ставка	508	1,17	44,5	26	593,1
	Стать	504	1,04	45,9	23	522,7
	Среднее	495	1,17	43,7	27	572,1
Пар/удобренный	Зустріч	592	1,31	42,7	31	776,8
	Арсенал	606	1,37	42,9	32	828,0
	Ставка	593	1,42	44,9	32	841,7
	Стать	613	1,27	46,6	27	777,6
	Среднее	601	1,34	44,3	30	806,0
НСР ₀₅ опыта		24,783	0,053	1,955	1,236	30,422
F _φ > F _T		53,9 > 2,0	125,7 > 2,0	7,4 > 2,0	115, > 2,0	213,0 > 2,0

Таблица 32 – Элементы структуры урожая посевов озимой пшеницы в зависимости от срока сева и нормы высева (среднее за 2016-2018 гг.)

Вариант	Сорт	Продуктивный стеблей, шт/м ²	Масса, г		Кол-во зерен в колосе, шт.	Биологическая урожайность, г/м ²
			зерна колоса	1000 зерен		
Срок сева						
ранний	Зустріч	560	0,88	39,9	22	493,1
	Арсенал	465	1,26	41,5	30	585,2
	Ставка	526	1,02	43,4	24	536,6
	Стать	530	1,00	44,8	22	531,9
	Среднее	520	1,04	42,40	25	536,7
оптимальный	Зустріч	575	1,01	41,5	24	578,7
	Арсенал	496	1,26	41,7	30	624,0
	Ставка	528	1,15	43,9	26	605,4
	Стать	571	0,99	45,4	22	565,8
	Среднее	543	1,10	43,12	26	593,5
поздний	Зустріч	529	0,92	41,1	22	485,0
	Арсенал	425	1,29	41,6	31	549,6
	Ставка	553	1,02	44,6	23	562,2
	Стать	568	0,95	45,9	21	539,3
	Среднее	519	1,05	43,32	24	534,0
НСР ₀₅ опыта		26,566	0,051	2,273	1,228	27,981
F _φ > F _τ		25,9 > 2,3	65,9 > 2,3	6,5 > 2,3	79,9 > 2,3	19,1 > 2,3
Норма высева						
4 млн	Зустріч	557	1,00	41,8	24	554,8
	Арсенал	482	1,31	41,9	31	632,9
	Ставка	540	1,10	44,8	25	595,8
	Стать	500	1,09	45,9	24	545,0
	Среднее	520	1,13	43,58	26	582,1
5 млн	Зустріч	575	1,01	41,5	24	578,7
	Арсенал	496	1,26	41,7	30	624,0
	Ставка	528	1,15	43,9	26	605,4
	Стать	571	0,99	45,4	22	565,8
	Среднее	543	1,10	43,12	26	593,5
6 млн	Зустріч	580	0,94	40,3	23	544,2
	Арсенал	536	1,15	40,7	28	615,7
	Ставка	564	1,08	43,8	25	606,9
	Стать	558	1,01	45,3	22	563,4
	Среднее	560	1,05	42,53	25	582,6
НСР ₀₅ опыта		28,355	0,062	1,975	1,342	29,517
F _φ > F _τ		12,0 > 2,3	28,9 > 2,3	8,7 > 2,3	44,6 > 2,3	9,9 > 2,3

Таким образом, 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).

6.2. Связь оптико-биологических характеристик посевов озимой пшеницы с урожайностью

Нами были рассчитаны коэффициенты корреляции между показателями фотосинтетической продуктивности и радиационным режимом посевов озимой пшеницы с ее урожайностью. Из полученных данных видно, что связь между этими показателями существует и она значима. Однако, необходимо отметить, что с чистой продуктивностью фотосинтеза корреляция либо отсутствует, либо мало существенна, хотя и значима для $p=0,05$ (таблица 33). Это обусловлено тем, что при увеличении размера фотосинтетического аппарата, как правило, снижается его активность, и формирование урожая может происходить, как за счет увеличения ассимиляционного аппарата, так и за счет скорости фотосинтетических реакций.

Наибольшие коэффициенты корреляции были получены в случае с характеристиками фотосинтетической продуктивности, рассчитанными по содержанию хлорофилла. Максимальное значение этого показателя отмечается в случае с хлорофилловым фотосинтетическим потенциалом – 0,81. Наименее тесная корреляционная связь нами получена между урожайностью и площадью листьев – 0,65. Тем не менее, рассчитанные коэффициенты корреляции существенны и значимы. Полученные результаты полностью согласуются с литературными данными и объясняются тем, что содержание хлоро-

филла и показатели, рассчитанные по его содержанию в растениях, более точно отражают продукционный процесс (Дуденко Н.В., 2001; Ерошенко Ф.В., 2006), так как различные органы растений в значительной степени отличаются по содержанию хлорофилла. Кроме того, на различных этапах органогенеза количество зеленых пигментов в растениях может отличаться на 100 и более процентов, на что, в свою очередь, существенное влияние оказывают технологические особенности.

Таблица 33 – Коэффициенты корреляции урожайности озимой пшеницы с показателями фотосинтетической деятельности и радиационным режимом

Показатели фотосинтетической деятельности	Коэффициент корреляции
Площадь листьев, м ² /м ²	0,65**
Площадь ассимиляционной поверхности, м ² /м ²	0,66**
Хлорофил в листьях, мг/г	0,79**
Хлорофил в растениях, мг/г	0,67**
Хлорофил в растениях, г/м ²	0,76**
ПФСП, (м ² /м ²)•сутки	0,75**
ХФСП, (г/м ²)•сутки	0,81**
ЧПФ _s , (г/м ²)•сутки	-0,25
ЧПФ _{chl} , (г/г)•сутки	-0,46**
КПД ФАР за вегетацию, %	0,68**

Значимость различий: ** – для p=0,01

Методом множественной регрессии нами был проведен анализ по влиянию показателей фотосинтетической деятельности и радиационного режима посевов озимой пшеницы на урожайность зерна. Переменными были выбраны: поверхностный и хлорофилловый фотосинтетические потенциалы, площадь листьев и ассимиляционной поверхности, относительное содержание хлорофилла в листьях и в растениях в целом и абсолютное содержание хлорофилла в растениях, а также КПД ФАР за вегетацию.

Диаграмма Парето дает представление, какие переменные оказывают наибольшее влияние на урожайность озимой пшеницы различных сортов. Необходимо отметить, что относительное содержание хлорофилла в листьях, ПФСП и максимальная площадь листьев в наибольшей мере влияют на величину урожайности (рисунок 24).

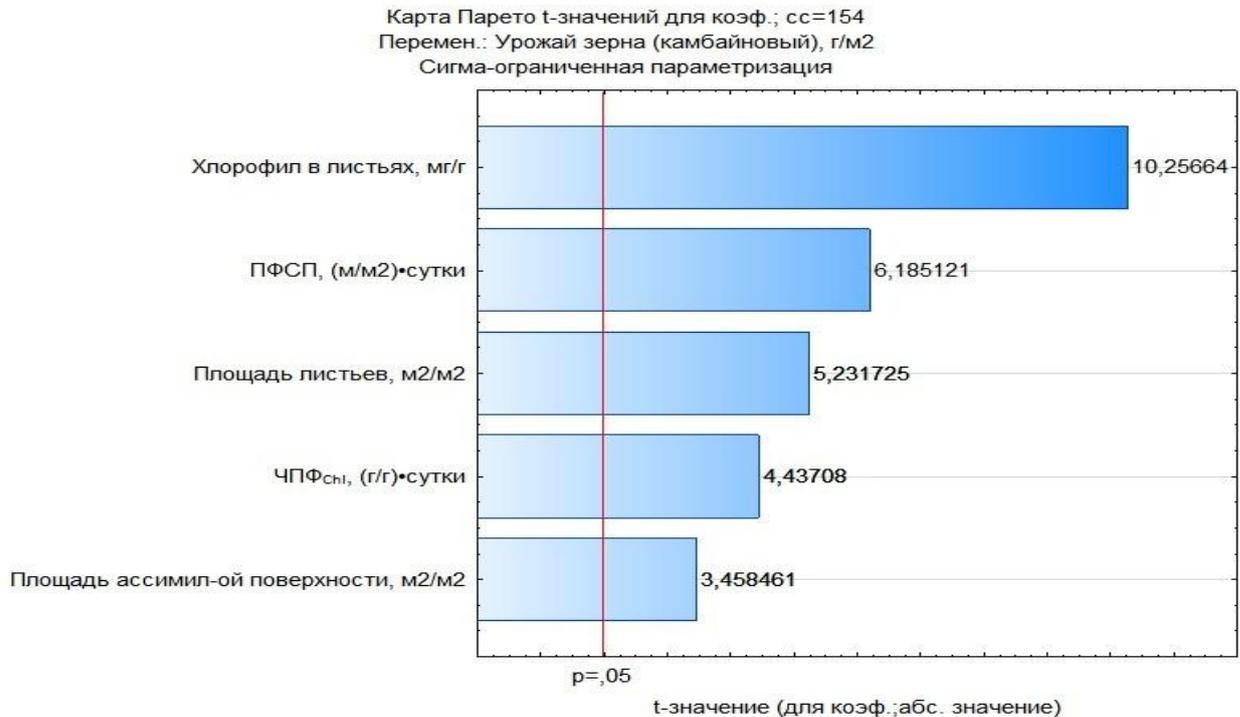


Рисунок 24 – Степень влияния показателей фотосинтетической деятельности и радиационного режима посевов озимой пшеницы на ее урожайность

Таким образом, наши исследования, подтверждают 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.

Современные спутниковые технологии позволяют оперативно и объективно проводить мониторинг посевов сельскохозяйственных культур, как на уровне страны, так и на уровне ее субъектов (Голубятников Л. Л. и др., 2015;

Якушев В.П. и др., 2019).

Используя специфичность динамики NDVI озимых культур, в Институте космических исследований РАН разработан метод, позволяющий выделить площади, занимаемые ими, и получить усредненные значения вегетационного индекса для края или области (Толпин В.А. и др., 2011).

Проведенные ранее в ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ» исследования (Сторчак И.Г., Ерошенко Ф.В., 2014; Сторчак И.Г., 2016) показали, что регрессионные зависимости урожайности озимой пшеницы от вегетационного индекса NDVI озимых культур, построенные по данным 2002-2015 гг., могут быть использованы не только для характеристики состояния посевов культуры, но и для прогноза её урожайности.

Нами также была изучена взаимосвязь между урожайностью озимой пшеницы в Ставропольском крае и вегетационным индексом NDVI. В анализе были использованы данные за 20-и летний период: с 2001 по 2020 гг. Полученные результаты свидетельствуют о том, что начиная с фазы весеннего кущения и до молочной спелости существует тесная связь между урожайностью и NDVI. Такая связь практически в течение всего этого периода значима для $p=0,01$. Максимальный коэффициент корреляции наблюдается в период стеблевания-начала колошения и составляет величину 0,84 (рисунок 25). Наши данные полностью согласуются с полученными ранее результатами Ф.В. Ерошенко и И.Г. Сторчак. Следует отметить, что корреляционная связь, рассчитанная нами по данным более длительного периода, характеризуется более высокой точностью.

Также нами была построена регрессионная зависимость урожая зерна озимой пшеницы в Ставропольском крае от NDVI максимального за весенне-летний период. Полученная модель отличается высоким значением коэффициента аппроксимации – 0,70, и поэтому более точно отражает взаимосвязь анализируемых показателей, что, в свою очередь, свидетельствует о высокой достоверности модели, позволяющей более точно прогнозировать урожайность озимой пшеницы в Ставропольском крае (рисунок 26).

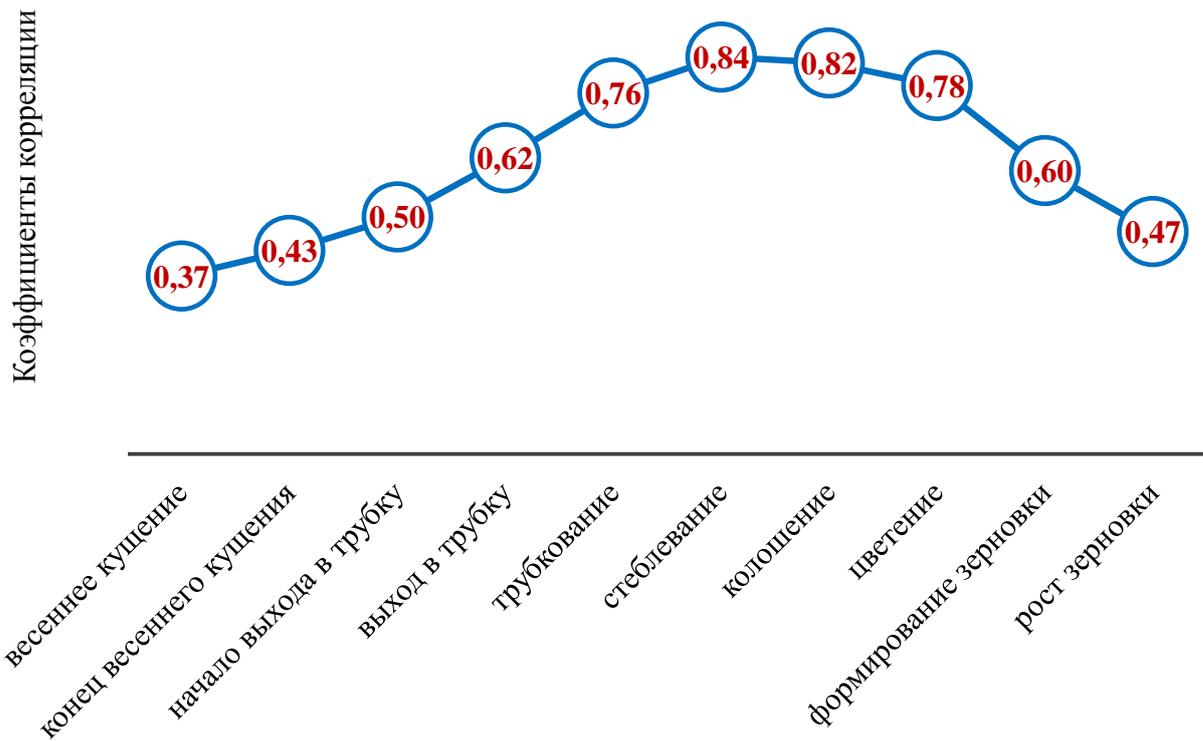


Рисунок 25 – Коэффициенты корреляции между урожаем зерна озимой пшеницы и NDVI по Ставропольскому краю в среднем за 2001-2020 гг.

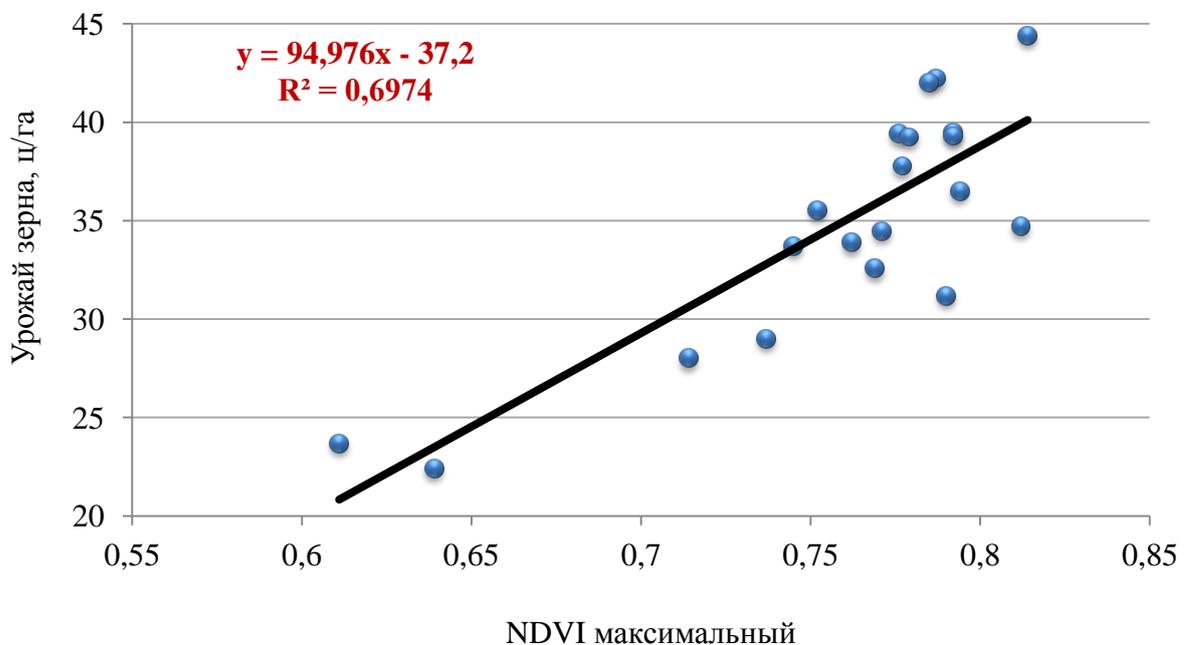


Рисунок 26 – Регрессионная модель зависимости урожая зерна от NDVI максимального за весенне-летний период для Ставропольского края (точки – годы исследования с 2001 по 2020 гг.)

Таким образом, полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что существует возможность контролировать ход формирования урожая и делать его прогнозы. Тем не менее, из литературных данных (Сторчак И.Г., Ерошенко Ф.В., 2014; Сторчак И.Г., 2016) известно, что закономерности, характерные для больших территорий, таких как край, почвенно-климатическая зона и район, для малого числа отдельных полей не устойчивые и зависят от сортовых, а также технологических особенностей посевов.

Нами 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.

Наши 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 связи), для NDVI в колошение – 0,50 (средняя сила связи), а для NDVI среднего за вегетацию – 0,74 (высокая сила связи). Полученные значения являются значимыми для $p=0,01$ (рисунок 27).

Высокую степень связи урожайности и вегетационного индекса NDVI подтверждают карты Парето, рассчитанные методом множественной регрессии (рисунок 28). Анализ диаграммы Парето показал, что ни одна из выбранных переменных не была исключена при расчетах, и каждый из показателей значим. Необходимо отметить, что NDVI среднего за вегетацию в наибольшей степени оказывает влияние на значения урожайности. Это подтверждают и данные корреляционного анализа.

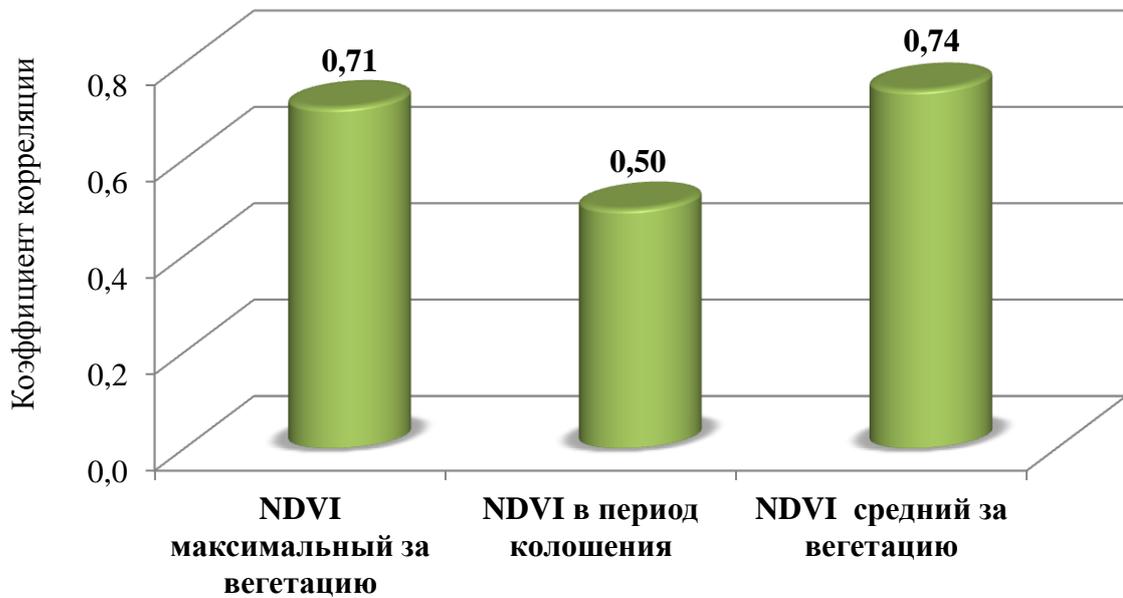


Рисунок 27 – Коэффициенты корреляции между урожайностью озимой пшеницы и характеристиками динамики NDVI

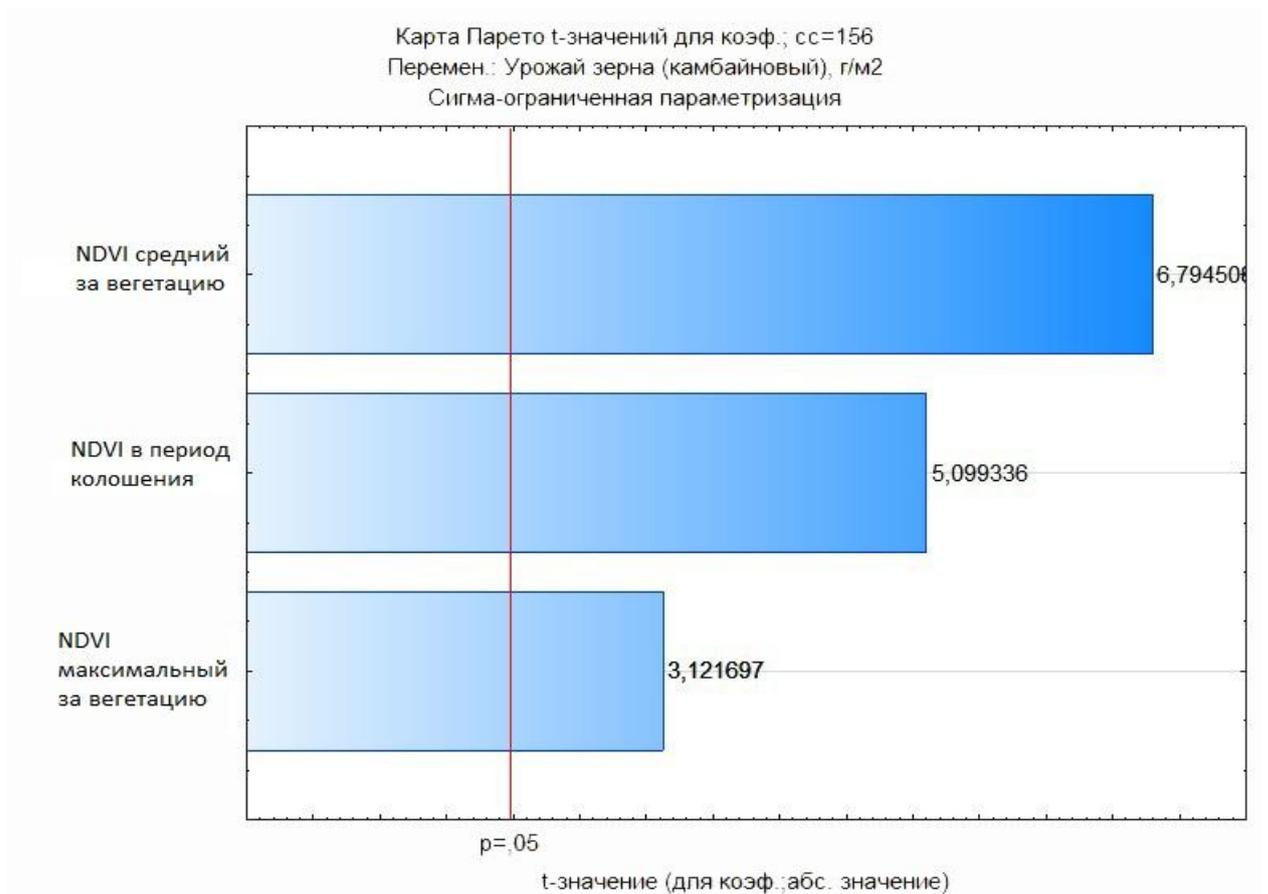


Рисунок 28 – Степень влияния вегетационного индекса NDVI посевов озимой пшеницы на значения урожайности

Чтобы установить возможность использования данных дистанционного зондирования Земли для прогнозирования 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 (рисунок 29). Кроме того, прогноз урожайности зерна всех вариантов опыта, полученный по регрессионной модели, тесно связан с фактической урожайностью – коэффициент корреляции составил 0,71, что значимо для $p=0,01$ и классифицируется как высокая сила связи по шкале Чеддока.

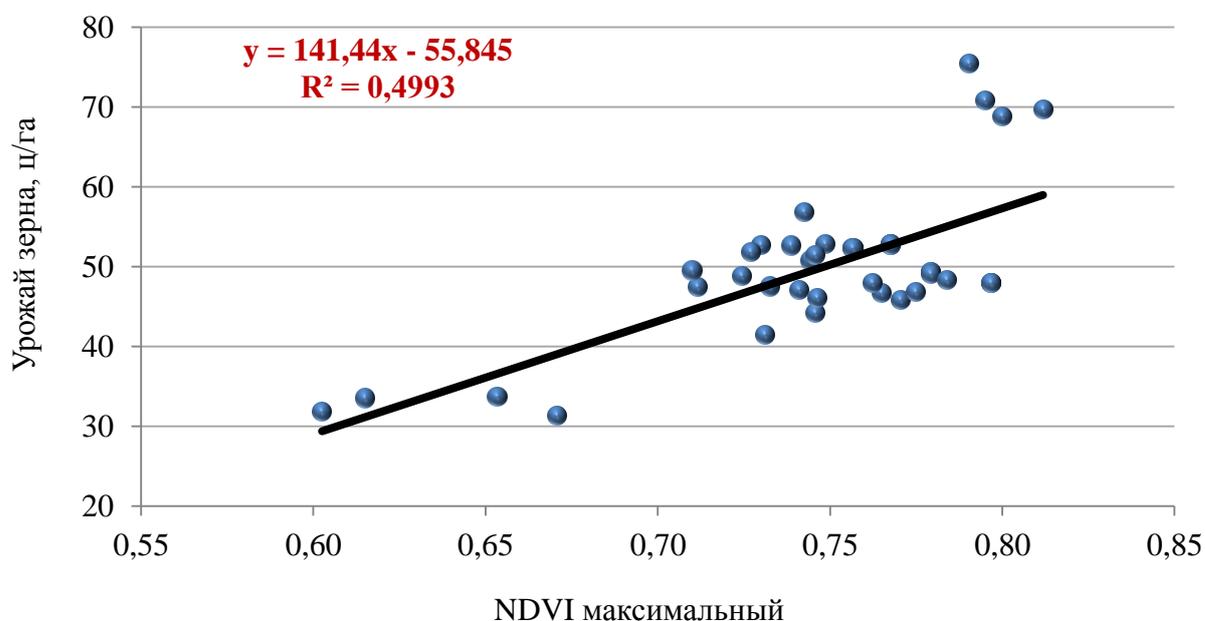


Рисунок 29 – Регрессионная модель зависимости урожайности зерна от NDVI максимального за весенне-летний период (построена по данным вариантов опыта в среднем за годы исследований)

Таким образом, 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 (средняя сила связи) - 0,74 (высокая сила связи)). Наибольший коэффициент корреляции (0,74) получен в случае 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 составляет 0,71).

Проведенные нами 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.

7. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОИЗВОДСТВА ЗЕРНА ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ

Эффективность возделывания различных сортов озимой пшеницы характеризуют показатели прибыли и рентабельности – величины, которые в основном зависят от урожайности, качества и цены на зерно. В наших исследованиях производство озимой пшеницы всех изученных сортов было прибыльно и рентабельно.

Исходные данные:

1. Технология обычная для зоны возделывания с применением протравителя Максим Форте (0,32 л/га) – 1600 руб./л, гербицида Калибр (0,05 л/га) – 8300 руб./л, фунгицида Альто Турбо (0,5 л/га) – 2440 руб./л, удобрений нитроаммофоски (375 кг/га) – 20,80 руб./кг и аммиачной селитры (87 кг/га) – 15,30 руб./кг.

2. Эффективность возделывания озимой пшеницы различных сортов рассчитывали с учетом показателей качества зерна.

Исследования показали, что на варианте без удобрений количество сырой клейковины в зерне в среднем по сортам по предшественнику черный пар составило 18,3 %, а по предшественнику озимая пшеница – 15,7 % (таблица 34). Применение минеральных удобрений обеспечило повышение данного показателя по пару на 6,0 %, а по озимой пшенице – на 4,5 %. В среднем по предшественникам и фонам минерального питания самое высокое качество отмечено у сорта Сталь (клейковина 23,7 %), а самое низкое – Зустріч (клейковина 17,6 %). На поздних сроках сева в среднем по сортам содержание сырой клейковины составило 21,6 %, что выше, чем на ранних и оптимальных на 2,0 и 1,3 % соответственно (таблица 35). При норме высева 4 миллиона всхожих семян на 1 га качество зерна в среднем по сортам составило 23,1 %, что больше на 2,8 %, чем при 5 и 6 млн. Сорт Сталь на всех сроках сева отличается более высоким качеством, по сравнению с другими сортами, а при минимальной норме высева количество сырой клейковины со-

ставило 27,6 % – наибольшее значение по всем технологическим приемам выращивания (Шестакова Е.О. и др., 2019-1).

Таблица 34 – Количество сырой клейковины в зависимости от предшественника и уровня минерального питания, % (среднее 2016-2018 гг.)

Предшественник	Фон	Сорт				Среднее
		Зустріч	Арсенал	Ставка	Стать	
Озимая пшеница	контроль	12,8	16,6	14,3	19,0	15,7
	удобренный	20,2	18,0	19,6	23,3	20,3
Пар	контроль	14,2	17,2	18,9	23,1	18,3
	удобренный	23,1	21,4	24,4	28,0	24,2
НСР ₀₅ фактора А (предшественник) = 0,252 %		F _ф = 358,0 > F _т = 4,1				
НСР ₀₅ фактора В (минеральное питание) = 0,252 %		F _ф = 906,1 > F _т = 4,1				
НСР ₀₅ фактора С (сорт) = 0,356 %		F _ф = 217,2 > F _т = 2,9				
НСР ₀₅ опыта = 0,976 %		F _ф = 140,6 > F _т = 2,0				

Согласно данным Национального Союза Зернопроизводителей стоимость зерна озимой пшеницы в ЮФО и СКФО за период с августа по сентябрь 2018 г. составила: пшеница 2 класса – 11800 руб., 3 класса – 11500 руб., 4-го – 10900 руб. и пшеница 5-го – 10200 руб. за 1 тонну (Инф. бюллетень от 9.03.2018).

Максимальная прибыль и наибольшая рентабельность были отмечены на вариантах с применением минеральных удобрений по предшественнику черный пар. В среднем по сортам прибыль на варианте без удобрений составила – 20,3 тыс. руб./га, а рентабельность – 62,5 % (таблица 36). На этом же предшественнике, но на удобренном фоне прибыль составила 36,9 тыс. руб./га, а рентабельность – 85,4 %. На контрольном варианте предшественника озимая пшеница получена прибыль в размере 9,7 тыс. руб./га, а рентабельность – 40,3 %. В тоже время, на удобренном фоне, эти показатели были равны 21,7 тыс. руб./га и 63,4 % соответственно.

Учитывая стоимость продукции и затраты на ее производство, наибольший показатель рентабельности по паровому предшественнику без

удобрений отмечен у сорта Ставка (70,1 %), а по колосовому – у сорта Зустріч (42,8 %). В то же время, у сорта Ставка показатель рентабельности был самым низким – 34,7 %. На удобренном фоне по предшественнику пар максимальная рентабельность получена у сортов Стась и Ставка (90,2 и 90,1 % соответственно), а по предшественнику озимая пшеница у сорта Арсенал (68,2 %). Минимум этого показателя наблюдался у сорта Зустріч (57,4 %).

Таблица 35 – Количество сырой клейковины в зависимости от срока сева и нормы высева, % (среднее 2016-2018 гг.)

Вариант	Сорт				Среднее
	Зустріч	Арсенал	Ставка	Стась	
Срок сева					
Ранний	17,8	17,1	19,9	23,6	19,6
Оптимальный	20,2	18,0	19,6	23,3	20,3
Поздний	20,3	20,2	20,9	24,9	21,6
НСР ₀₅ фактора А (срок сева) = 0,348 %			F _ф = 34,7 > F _Т = 3,4		
НСР ₀₅ фактора В (сорт) = 0,402 %			F _ф = 154,0 > F _Т = 3,0		
НСР ₀₅ опыта = 0,996 %			F _ф = 51,1 > F _Т = 2,3		
Норма высева					
4 млн	21,8	19,3	23,8	27,6	23,1
5 млн	20,2	18,0	19,6	23,3	20,3
6 млн	20,5	18,2	19,7	23,1	20,4
НСР ₀₅ фактора А (норма высева) = 0,395 %			F _ф = 71,6 > F _Т = 3,4		
НСР ₀₅ фактора В (сорт) = 0,456 %			F _ф = 134,1 > F _Т = 3,0		
НСР ₀₅ опыта = 1,100 %			F _ф = 53,2 > F _Т = 2,3		

Высокая стоимость минеральных удобрений оказала существенное влияние на экономическую эффективность возделывания всех изученных сортов озимой пшеницы по обоим предшественникам. В среднем по сортам их внесение привело к увеличению прибыли в расчете на 1 тонну по паровому предшественнику на 26,3 %, при этом уровень рентабельности увеличился на 23,0 %. По колосовому предшественнику применение минеральных удоб-

рений увеличило прибыль на 43,9 %, а уровень рентабельности остался практически такой же, как и по предшественнику пар – 23,1 %. Отзывчивость различных сортов озимой пшеницы на улучшение условий минерального питания не одинакова, что и отразилось на рентабельности их выращивания.

Максимальные величины прибыли и рентабельности зерна были получены на вариантах с оптимальным сроком сева. В среднем по сортам прибыль в расчете на 1 га на оптимальном сроке сева (21,7 тыс. руб./га) была больше, чем на раннем и позднем, на 30,3 и 26,6 % соответственно, а рентабельность (63,4 %) – на 15,7 и 13,3 % (таблица 37).

Наибольшая разница в показателях рентабельности на различных сроках сева наблюдалась у сорта Зустріч. Так, в оптимальный срок сева этот показатель составил 57,4 %, что выше, чем на раннем и позднем сроке сева на 27,8 и 25,3 % соответственно. Максимальный уровень рентабельности среди всех изученных сортов отмечен у сорта Ставка при оптимальной норме высева – 66,9 %, а минимальный у сорта Зустріч на раннем сроке – 29,6 %.

Более высокий доход в наших опытах обеспечили посевы с нормой в 4 миллиона всхожих семян на 1 га (Ерошенко Ф.В., Барталев С.А., Кулинцев В.В., Сторчак И.Г., Шестакова Е.О., Симатин Т.В., 2017). В среднем по сортам прибыль в расчете на 1 га при норме 4 млн./га составила 23,3 тыс. руб./га, что больше, чем при 5 и 6 млн. на 7,3 и 16,1 % соответственно, а рентабельность составила 69,6 %, что выше, чем при оптимальной и максимальной норме на 6,2 и 12,0 % соответственно (таблица 38).

Нами отмечены сортовые особенности полученных показателей экономической эффективности при различных нормах высева. У сорта Арсенал максимальный уровень рентабельности отмечается при 4 млн./га (85,6 %), что больше, чем при 5 и 6 млн., на 17,4 и 20,2 % соответственно. Минимальная рентабельность получена у сорта Зустріч на варианте с нормой 6 млн./га – 44,1 %, что меньше, чем при 4 и 5 млн. на 9,3 и 13,3 % соответственно.

Таблица 36 – Экономическая эффективность возделывания озимой пшеницы в зависимости от предшественника и уровня минерального питания

Сорт	Вариант	Урожайность, т/га	Цена реализации, руб./т	Выручка, руб./га	Производственные затраты, руб./га	Себестоимость, руб./т	Прибыль, руб./га	Уровень рентабельности, %
Предшественник – озимая пшеница								
Зустріч	контроль	3,4	10200	48450	24076	7144	10298	42,8
	удобренный	4,9	11500	79120	34151	6927	19586	57,4
Арсенал	контроль	3,4	10200	53652	24076	7187	10094	41,9
	удобренный	5,3	10900	77172	34151	6480	23292	68,2
Ставка	контроль	3,2	10900	55263	24076	7571	8360	34,7
	удобренный	5,2	10900	82186	34151	6530	22856	66,9
Стагь	контроль	3,1	11500	53705	24076	7692	10041	41,7
	удобренный	4,8	11800	82246	34151	7130	20934	61,3
Среднее	контроль	3,3	10700	52831	24076	7399	9698	40,3
	удобренный	5,1	11275	80250	34151	6767	21667	63,4
Предшественник – пар								
Зустріч	контроль	4,8	10200	34374	32480	6838	15970	49,2
	удобренный	6,9	11000	54230	43237	6284	35883	83,0
Арсенал	контроль	5,3	10200	34170	32480	6175	21172	65,2
	удобренный	7,1	11000	57970	43237	6107	33935	78,5
Ставка	контроль	5,1	10200	32436	32480	6406	22783	70,1
	удобренный	7,5	10900	57007	43237	5734	38949	90,1
Стагь	контроль	4,7	10900	34117	32480	6955	21225	65,3
	удобренный	7,0	11500	55085	43237	6203	39009	90,2
Среднее	контроль	4,9	10375	33797	32480	6578	20287	62,5
	удобренный	7,1	11100	56111	43237	6075	36944	85,4

Таблица 37 – Экономическая эффективность возделывания озимой пшеницы в зависимости от срока сева

Сорт	Срок сева	Урожайность, т/га	Цена реализации, руб./т	Выручка, руб./га	Производственные затраты, руб./га	Себестоимость, руб./т	Прибыль, руб./га	Уровень рентабельности, %
Зустріч	ранний	4,4	10500	46410	34795	7872	10289	29,6
	оптимальный	4,9	11000	54230	34151	6927	19586	57,4
	поздний	4,1	11000	45540	34151	8249	10975	32,1
Арсенал	ранний	5,3	10500	55335	34795	6602	18959	54,5
	оптимальный	5,3	11000	57970	34151	6480	23292	68,2
	поздний	5,0	10900	53955	34151	6899	19804	58,0
Ставка	ранний	4,8	10900	51775	34795	7325	16980	48,8
	оптимальный	5,2	10900	57007	34151	6530	22856	66,9
	поздний	4,9	10900	53192	34151	6998	19041	55,8
Стать	ранний	4,8	11500	55085	34795	7264	20290	58,3
	оптимальный	4,8	11500	55085	34151	7130	20934	61,3
	поздний	4,6	11500	52785	34151	7440	18634	54,6
Среднее	ранний	4,8	10850	52161	34795	7266	16630	47,8
	оптимальный	5,1	11100	56111	34151	6767	21667	63,4
	поздний	4,6	11075	51388	34151	7397	17114	50,1

Таблица 38 – Экономическая эффективность возделывания озимой пшеницы в зависимости от нормы высева

Сорт	Норма высева	Урожайность, т/га	Цена реализации, руб./т	Выручка, руб./га	Производственные затраты, руб./га	Себестоимость, руб./т	Прибыль, руб./га	Уровень рентабельности, %
Зустріч	4 млн.	4,7	11000	51700	33409	7108	17821	53,3
	5 млн.	4,9	11000	54230	34151	6927	19586	57,4
	6 млн.	4,6	11000	50600	34792	7563	15348	44,1
Арсенал	4 млн.	5,7	10900	62021	33409	5872	28612	85,6
	5 млн.	5,3	11000	57970	34151	6480	23292	68,2
	6 млн.	5,3	10900	57552	34792	6589	22760	65,4
Ставка	4 млн.	5,2	11500	59570	33409	6450	26161	78,3
	5 млн.	5,2	10900	57007	34151	6530	22856	66,9
	6 млн.	5,1	10900	56026	34792	6769	21234	61,0
Стать	4 млн.	4,7	11500	53820	33409	7139	20411	61,1
	5 млн.	4,8	11500	55085	34151	7130	20934	61,3
	6 млн.	4,8	11500	55545	34792	7203	20753	59,7
Среднее	4 млн.	5,1	11225	56827	33409	6642	23251	69,6
	5 млн.	5,1	11100	56111	34151	6767	21667	63,4
	6 млн.	5,0	11075	54960	34792	7031	20024	57,6

Таким образом, в наших опытах 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 удобренном фоне на 22,9 %, и больше, чем на предшественнике озимая пшеница на удобренном фоне на 22,0 %, а на не удобренном – на 45,1 %. Кроме того, 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. В наших опытах более высокий доход обеспечили посевы с нормой в 4 миллиона всхожих семян на гектар, 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 – $2,94 \text{ (м}^2/\text{м}^2\text{)} \cdot \text{сутки}$, а ХФСП у сорта Стась – $62,92 \text{ г/м}^2 \cdot \text{сутки}$. 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 значе-

ниями фотопотенциала 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 Сталь 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). Наи-

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

ЛИТЕРАТУРА

1. Абазова, А. М. Влияние фосфорных удобрений на урожайность и качество зерна озимой пшеницы на черноземе выщелоченном / А. М. Абазова // Аграрная наука, творчество, рост: материалы V Междунар. науч.-практ. конф. – Ставрополь: СЕКВОЙЯ, 2015. – С. 6-8.
2. Алиев, Д. А. Генетический анализ параметров ассимиляционного аппарата в связи с продуктивностью озимой пшеницы / Д. А. Алиев, Э. Г. Казибекова // Фотосинтез и продукционный процесс. – М.: Наука, 1988. – С. 243-247.
3. Андрианова, Ю. Е. Хлорофилл и продуктивность растений / Ю. Е. Андрианова, И. А. Тарчевский. – М.: Наука, 2000. – 135 с.
4. Антонов, С. А. Климатические условия возделывания ведущих сельскохозяйственных культур Ставропольского края / С. А. Антонов, Л. И. Желнакова // Бюллетень Ставропольского научно-исследовательского института сельского хозяйства. – 2011. – № 2-3. – С. 5-16.
5. Антонов, С. А. Тенденции изменения климата и их влияние на земледелие Ставропольского края / С. А. Антонов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2017. – №4 (66). – С. 43-46.
6. Антонов, С. А. Анализ влияния климатических условий на урожайность озимой пшеницы в Ставропольском крае / С. А. Антонов // Новости науки в АПК. – 2019. – № 3 (12). – С. 406-410. – doi: 10.25930/2218-855X/103.3.12.2019
7. Балашов, В. В. Влияние сорта на урожайность и качество зерна озимой пшеницы / В. В. Балашов, А. К. Агафонов // Интеграционные процессы в науке, образовании и аграрном производстве – залог успешного развития АПК: материалы Междунар. науч.-практ. конф.: в 4-х томах. – Волгоград: Волгоградский ГАУ, 2011. – С. 76-80.
8. Бельтюков, Л. П. Сорт, технология, урожай / Л. П. Бельтюков. – Ростов-на-Дону: ЗАО «Книга», 2002. – 176 с.

9. Береза, О. В. О возможности прогнозирования урожайности озимой пшеницы в среднем Поволжье на основе комплексирования наземных и спутниковых данных / О. В. Береза, А. И. Страшная, Е. А. Лупян // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2015. – Т.12. – №1. – С. 18-30.

10. Березов, З. Т. Площадь листьев, индекс листовой поверхности и фотосинтетический потенциал / З. Т. Березов, Е. А. Плиева, О. И. Босиева // Достижения науки – сельскому хозяйству: материалы Всерос. науч.-практ. конф. – Владикавказ: Горский ГАУ, 2017. – С. 93-95.

11. Бесалиев, И. Н. Особенности формирования сухой надземной биомассы яровой твердой пшеницы в Оренбургском Предуралье по различным предшественникам / И. Н. Бесалиев, А. Г. Крючков // Бюллетень Оренбургского научного центра УрО РАН. – 2015. – № 4. – С. 19.

12. Брыксин, В. М. Прогнозирование урожайности зерновых культур на основе данных дистанционного зондирования и моделирования биопродуктивности / В. М. Брыксин, А. В. Евтюшкин, Н. В. Рычкова // Известия Алтайского государственного университета. – 2010. – № 1-2. – С. 89-93.

13. Верёвкина, С. И. Изменение влагообеспеченности территории Ставропольской возвышенности в 2001-2007 гг. / С. И. Верёвкина, Н. А. Верховлазова // Инновации аграрной науки и производства: состояние, проблемы и пути решения: материалы Междунар. науч.-практич. конф. – Ставрополь, 2008. – С. 137-141.

14. Гергокаев, Д. А. Влияние минерального питания на качество зерна озимой пшеницы в условиях степной зоны КБР / Д. А. Гергокаев, Л. Ю. Кереева, Х. С. Ташилов // Успехи современного естествознания. – 2007. – №12. – С. 67-68.

15. Голева, Г. Г. Связь продолжительности вегетации флагового листа с продуктивностью у озимой пшеницы / Г. Г. Голева, Т. Г. Ващенко, А. Д. Голев, А. С. Белов, В. Д. Новгородова // Актуальные проблемы агрономии современной России и пути их решения: материалы Междунар. науч.-практич.

конф., посвященной 105-летию факультета агрономии, агрохимии и экологии / под общ. ред. Н. И. Бухтоярова, Н. М. Дерканосовой, В. А. Гулевского. – Воронеж: Воронежский ГАУ им. Императора Петра I, 2018. – С. 15-23

16. Голубятников, Л. Л. Анализ структуры ландшафтов тундровой зоны западной Сибири на основе спутниковых данных / Л. Л. Голубятников, Е. А. Заров, В. С. Казанцев, И. В. Филиппов, Г. О. Гаврилов // Исследование Земли из космоса. – 2015. – №3. – С. 4.

17. Гончаров, С. В. Жизненный цикл сортов озимой пшеницы / С. В. Гончаров // Бюллетень Ставропольского НИИСХ. – 2013. – № 5. – С. 21-28.

18. Грабовец, А. И. Озимая пшеница / А. И. Грабовец, М. А. Фоменко. – Ростов-на-Дону: Изд-во Юг, 2007. – 600 с.

19. Громова, С. Н. Роль флагового листа и остей в формировании продуктивности озимой пшеницы (обзор) / С. Н. Громова, П. И. Костылев // Зерновое хозяйство России. – 2018. – № 4 (58). – С. 32-34. – doi: 10.31367/2079-8725-2018-58-4-32-34

20. Губанов, В. С. Влияние предшественников на урожайность сортов озимой пшеницы на черноземных почвах волгоградской области / В. С. Губанов // Наука и молодежь – новые идеи и решения: материалы XII Междунар. науч.-практич. конф. – Волгоград: Волгоградский ГАУ, 2018. – С. 348-350.

21. Денисов, П. В. Прогнозирование урожайности озимой пшеницы с использованием технологий дистанционного зондирования Земли / П. В. Денисов, А. Б. Иванов, Н. П. Мишуров, Д. А. Петухов, П. А. Подъяблонский, К. А. Трошко // Управление рисками в АПК. – 2021. – № 1 (39). – С. 37-45. – doi: 10.53988/24136573-2021-01-03

22. Дорохов, П. В. Минеральное питание как фактор повышения продуктивности фотосинтеза и урожая сельскохозяйственных растений / Л. М. Дорохов // Проблемы фотосинтеза. – М., 1959. – С. 505-508

23. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований): учебник для высших сельскохозяй-

зайственных учебных заведений / Стереотип. изд. перепеч. с 5-го изд., доп. и перераб., 1985 г. – М.: Альянс, 2014. – 351 с.

24. Дрёпа, Е. Б. Влияние обработки почвы на рост и развитие озимой пшеницы / Е. Б. Дрёпа, Е. Л. Попова, А. Г. Матвеев, И. М. Чаплыгин // Сборник научных трудов Sworld: материалы Междунар. науч.-практич. конф. – Иваново: НАУЧНЫЙ МИР, 2012. – Т. 33. – № 2. – С. 74-77.

25. Дубовченко, Д. О. Влияние применения удобрений на урожайность сортов озимой пшеницы на черноземах Волгоградской области / Д. О. Дубовченко // Наука и молодежь: новые идеи и решения: материалы XI Междунар. науч.-практич. конф. – Волгоград: Волгоградский ГАУ, 2017. – С. 457-460. – doi: 10.32786/2071-9485-2020-02-12

26. Дуденко, Н. В. Хлорофилльные фотосинтетические потенциалы и некоторые другие показатели продукционных процессов у высокорослых и полукарликовых сортов озимой пшеницы: автореф. дисс... канд. биол. наук. / Дуденко Нина Васильевна. – Ставрополь, 2001. – 23 с.

27. Дуденко, Н.В. Структура «поверхностных» и хлорофилльных фотосинтетических потенциалов посевов сортов озимой пшеницы, различающихся по высоте / Н. В. Дуденко, И. А. Тарчевский, Н. Н. Максютова, Ю. Е. Андрианова, Л. Н. Петрова, И. В. Нешин // Доклады Академии наук. – 2001. – Т. 379. – №1. – С. 127-129.

28. Единая межведомственная информационно-статистическая система (ЕМИСС). [Электронный ресурс]. URL: <https://www.fedstat.ru/indicator/30950> (дата обращения 25.04.2019).

29. Елсаков, В. В. Использование материалов спутниковых съемок для анализа значений хлорофилльного индекса тундровых фитоценозов / В. В. Елсаков // Исследование Земли из космоса. – 2013. – № 1. – С. 60.

30. Ерошенко, А. А. Влияние условий выращивания на урожай и качество зерна сортов озимой пшеницы / А. А. Ерошенко, Ф. В. Ерошенко // Роль генетических ресурсов и селекционных достижений в обеспечении динамич-

ного развития сельскохозяйственного производства: материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Орёл: ПФ Картуш, 2009. – С. 96-102.

31. Ерошенко, А. А. Фотосинтетическая продуктивность посевов озимой пшеницы в условиях Северного Кавказа / А. А. Ерошенко, И. Г. Черденченко, Ф. В. Ерошенко // Земледелие. – 2013. – № 6. – С. 40-42

32. Ерошенко, А. А. Влияние зоны выращивания на площадь ассимиляционной поверхности растений озимой пшеницы / А. А. Ерошенко // Бюллетень Ставропольского НИИСХ. – 2017. – № 9. – С. 111-118.

33. Ерошенко, Ф. В. Активность первичных процессов фотосинтеза сортов озимой пшеницы / Ф. В. Ерошенко // Проблемы производства продукции растениеводства на мелиорированных землях: материалы Междунар. науч.-практич. конф., посвящ. 75-летию СтГАУ и 65-летию агрономического факультета. – Ставрополь: АГРУС, 2005. – С. 316-320

34. Ерошенко, Ф. В. Особенности фотосинтетической деятельности сортов озимой пшеницы: монография / Ф. В. Ерошенко. – Ставрополь: Сервисшкола, 2006. – 200 с.

35. Ерошенко, Ф. В. Радиационный режим посевов высокорослых и короткостебельных сортов озимой пшеницы / Ф. В. Ерошенко // Труды Кубанского ГАУ. – 2010. – № 24. – С. 58-62.

36. Ерошенко, Ф. В. Фотосинтетическая продуктивность озимой пшеницы / Ф. В. Ерошенко, Л. Н. Петрова // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2010. – № 3. – С. 36-38

37. Ерошенко, Ф. В. Фотосинтетическая продуктивность растений озимой пшеницы высокорослых и низкорослых сортов: автореф. дисс... д-ра биол. наук. / Ерошенко Федор Владимирович. – Воронеж, 2011. – 42 с.

38. Ерошенко, Ф. В. Связь NDVI с фотосинтетической продуктивностью посевов озимой пшеницы / Ф. В. Ерошенко, И. Г. Сторчак, Е. О. Шестакова // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: материалы XIII Всерос. открыт. конф. – Москва: Институт космических исследований РАН, 2015. – С. 396-397.

39. Ерошенко, Ф. В. Основные показатели фотосинтетической продуктивности растений / Ф. В. Ерошенко, Н. В. Дуденко // Бюллетень Ставропольского НИИСХ. – 2016. – № 8. – С. 119-132.

40. Ерошенко, Ф. В. Активный фотосинтетический потенциал / Ф. В. Ерошенко // Евразийский союз ученых. – 2016. – № 2-3 (23). – С. 117-120.

41. 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.

42. 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.

43. 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.

44. 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.

45. Жирных, С. С. Влияние приёмов внесения минеральных удобрений на урожайность сортов озимой пшеницы / С. С. Жирных, О. М. Тураева // Вестник Донского ГАУ. – 2015. – №2-1 (16). – С. 99-104.

46. Замалитдинова, М. Г. Исследование изменения растительности в зоне Аральского моря на основе космических снимков с использованием вегетационного индекса NDVI / М. Г. Замалитдинова, И. П. Ткачева, Д. С. Ергалиев, А. Сейткожина // Вестник Евразийского национального университета

имени Л. Н. Гумилева. Серия: Технические науки и технологии. – 2019. – № 3 (128). – С. 32-38. – doi: 10.32523/2616-7263-2019-128-3-32-38

47. Зборовская, О. В. Зависимость хлорофилльного индекса посевов высокопродуктивных сортов озимой пшеницы от условий выращивания и его связь с продуктивностью / О. В. Зборовская, Г. А. Прядкина, В. П. Оксем // Земледелие и селекция в Беларуси. – 2016. – №52. – С. 88-95.

48. Зеленский, Н. А. Влияние элементов технологии выращивания на урожайность и качество зерна сортов озимой пшеницы / Н. А. Зеленский, М. И. Текиева // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского ГАУ. – 2012. – №78. – С. 675-685.

49. Ибрагимова, И. Г. Интенсивность фотосинтеза сортов пшеницы / И. Г. Ибрагимова // Аграрная наука. – 2018. – № 7-8. – С. 55-57.

50. Иванов, А. Л. Земледелие должно быть адаптивным, дифференцированным / А. Л. Иванов // Земледелие. – 2006. – №2 – С. 2-3.

51. Игнатьева, А. В. Использование данных дистанционного зондирования земли и сельскохозяйственных карт для повышения эффективности сельского хозяйства / А. В. Игнатьева // Применение геоинформационных систем в социально-экономической сфере: актуальные проблемы и стратегии развития. Сборник трудов науч.-практич. семинара. – Челябинск: Южно-Уральский ГУ, 2018. – С. 39-43.

52. Информационный бюллетень от 09.03.2018. [Электронный ресурс]. URL: <http://nszr.ru/ru/analytics?year=2018> (дата обращения 25.02.2021).

53. Ионова, Е. В. Фотосинтетическая деятельность и динамика накопления сухой массы растений озимой мягкой пшеницы в зависимости от условий выращивания / Е. В. Ионова, В. Л. Газе, В. А. Лиховидова // Зерновое хозяйство России. – 2020. – №1 (67). – С. 23-27. – doi: 10.31367/2079-8725-2020-67-1-23-27

54. Ионова, Л. П. Влияние биопрепаратов на фотосинтетический потенциал и продуктивность ранних гибридов огурца в пленочной теплице / Л.

П. Ионова, Р. А. Арсланова // Успехи современного естествознания. – 2010. – № 6. – С. 40-43

55. Кадиров, Ш. Ю. Влияние сроков посева на урожайность зерна местных сортов озимой пшеницы в условиях хорезмской области / Ш. Ю. Кадиров, И. Г. Машарипов, У. К. Абдурахимов // Аграрная наука – сельскому хозяйству: материалы XII Междунар. науч.-практич. конф. – Барнаул: Алтайский ГАУ. – 2017. – С. 129-130.

56. Камбулов, С. И. Влияние предшественников и технологий обработки на развитие сорняков / С. И. Камбулов, В. Б. Рыков, В. В. Колесник, Е. И. Трубилин // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2019. – № 147. – С. 150-159. – doi: 10.21515/1990-4665-147-018

57. Каргин, И. Ф. Сравнительная оценка эффективности использования ресурсов влаги и фотосинтетически активной радиации озимыми культурами / И. Ф. Каргин, В. Е. Камалихин, В. С. Калентьев, Р. А. Захаркина, Ю. И. Каргин, А. А. Ерофеев // Нива Поволжья. – 2012. – № 2 (23). – С. 31-35.

58. Квасов, Н. А. Совершенствование отдельных элементов технологии возделывания озимой пшеницы и озимого ячменя в связи с изменением климата на Северном Кавказе (предшественники, удобрения, сорта, сроки и нормы высева). Методическое пособие / Н. А. Квасов, Н. А. Галушко. – Ставрополь: АГРУС. – 2010. – 80 с.

59. Квасов, Н. А. Регуляторы роста и продуктивность озимых зерновых культур Ставрополья: монография / Н. А. Квасов. – Ставрополь: АГРУС, 2010. – 184 с.

60. Ковтун, В. И. Селекция новых высококонкурентных сортов озимой мягкой пшеницы для условий юга и юго-востока России / В. И. Ковтун // Геннофонд и селекция растений: материалы III Междунар. науч.-практич. конф., посвященной 130-летию Н. И. Вавилова. – Новосибирск: Институт цитологии и генетики Сибирского отделения РАН, 2017. – С. 29-30.

61. Ковтун, В. И. Урожайность и элементы ее структуры у новых генотипов пшеницы мягкой озимой в условиях юга России / В. И. Ковтун, А. А. Сухарева // Аграрный научный журнал. – 2020. – № 11. – С. 16-19.

62. Кондратьева, К. Я. Применение дистанционных методов для оценки состояния сельскохозяйственных культур / К. Я. Кондратьева, П. П. Федченко // География и природные ресурсы. – 1981. – №2. – С. 100-110.

63. Кононенко, Л. А. Использование фотосинтетического показателя хлорофилльного индекса для оценки экологической пластичности сортов озимой пшеницы / Л. А. Кононенко // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2006. – №3 (11). – С. 13-15.

64. Кононенко, Л. А. Сортовая специфика функционирования фотосинтетического аппарата пшеницы в условиях склонового земледелия / Л. А. Кононенко // Зерновое хозяйство. – 2008. – №1. – С. 35-36.

65. Кононов, А. С. Влияние форм азотных удобрений на содержание хлорофилла в одновидовых и смешанных бобово-злаковых агроценозах / А. С. Кононов, О. Н. Шкотова // Вестник Брянского государственного университета. – 2012. – Т. 4. – № 4. – С. 103-106.

66. Кравцова, Н. Е. Влияние комплексных удобрений на минеральное питание озимой пшеницы / Н. Е. Кравцова, Д. В. Божков // Сборник научных трудов Sworld. – 2013. – Т. 51. – № 4. – С. 101-103

67. Кудряшов, И. Н. Управление хозяйственными признаками озимой пшеницы с помощью норм высева / И. Н. Кудряшов, Л. А. Беспалова, В. И. Кулик, А. В. Неженец // Труды Кубанского государственного университета. – 2006. – №1. – С. 183-192.

68. Кулинцев, В. В. Система земледелия нового поколения Ставропольского края / В. В. Кулинцев, Е. И. Годунова, Л.И. Желнакова, и др. – Ставрополь, 2013. – 520 с.

69. Кулинцев, В. В. Сорты и гибриды сельскохозяйственных культур селекции ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ»: каталог / В. В. Кулинцев, В. В. Чумакова, В. В. Кравцов и др. – 9-е изд., доп. – Ставрополь, 2019. – 165 с.

70. Кумаков, В. А. Фотосинтетическая деятельность растений в аспекте селекции / В. А. Кумаков // Физиология фотосинтеза. – М.: Наука, 1982. – С. 283-293.

71. Куперман, Ф. М. Морфофизиология растений / Ф. М. Куперман. – М.: Колос, 1980. – 158 с.

72. Куприченков, М. Т. Почвы Ставрополя / М. Т. Куприченков. – Ставрополь: Ставропольская краевая типография, 2005. – 424 с.

73. Куссуль, Н.Н. Регрессионные модели оценки урожайности сельскохозяйственных культур по данным MODIS / Н. Н. Куссуль, А. Н. Кравченко, С. В. Скакун, Т. И. Адаменко, А. Ю. Шелестов, А. В. Колотий, Ю. А. Грипич // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса – 2012. – Т. 9. – № 1. – С.95-107.

74. Лопатин, В. Н. Математический анализ влияния солнечной радиации на структуру и продуктивность растительности / В. Н. Лопатин, И. И. Судницын, Б. Д. Абатуров // Успехи современной биологии. – 2006. – Т. 126. – №6. – С. 550-557.

75. Лыфенко, С. Ф. Первые результаты по селекции низкорослых и полукарликовых форм озимой мягкой пшеницы / С. Ю. Лыфенко // Труды Всесоюзного селекционно-генетического института. – 1975. – №12. – С. 18-22.

76. Майорова, В.И. Контроль состояния сельскохозяйственных полей на основе прогнозирования динамики индекса NDVI по данным космической мультиспектральной и гиперспектральной съемки / В. И. Майорова, А. М. Банников, Д. А. Гришко, И. С. Жаренов, В. В. Леонов, А. Г. Топорков, А. А. Харлан // Наука и образование: электронное научно-техническое издание. – 2013. – № 7. – С. 199-228.

77. Малкандуев, Х. А. Влияние минеральных удобрений на урожайность и качество зерна сортов озимой пшеницы в условиях Кабардино-Балкарии / Х. А. Малкандуев, А. М. Ашхотов, А. Х. Малкандуева, Р. И. Шамурзаев // Аграрная Россия. – 2014. – №6. – С. 15-17.

78. Мамедов М. Г. Почва под озимые культуры / М. Г. Мамедов // Агрохимия. – 2004. – №11. – С.27-33.

79. Мартиросян, Ю. Ц. Динамика фотосинтетических процессов в условиях переменного спектрального облучения растений / Ю. Ц. Мартиросян, Л. Ю. Мартиросян, А. А. Кособрюхов // Сельскохозяйственная биология. – 2019. – Т. 54. – №1. – С. 130-139. – doi: 10.15389/agrobiology.2019.1.130rus

80. Мельник, А. Ф. Влияние предшественников на урожайность и качество зерна озимой пшеницы / А. Ф. Мельник, Б. С. Кондрашин, Н. И. Митюшкин // Вестник Орловского ГАУ. – 2009. – №4 – С. 27-30.

81. Михайленко, И. М. Дистанционное зондирование земли в сельском хозяйстве / И. М. Михайленко, В. П. Якушев // Вестник российской сельскохозяйственной науки. – 2016. – № 6. – С. 12-16.

82. Моисеева, А. А. Фотосинтез листьев и продуктивность озимой пшеницы / А. А. Моисеева, А. А. Кармацких, К. В. Моисеева // Симбиоз-Россия 2019: материалы XI Всерос. конгресса молодых ученых-биологов с междунар. участием. – Пермь: Пермский ГНИУ, 2019. – С. 222-223.

83. Музыкантов, П. С. Пути воспроизводства плодородия почв / П. С. Музыкантов // Главный Агроном. – 2006. – №6. – С.28-31.

84. Муратова, Н. Р. Опыт пятилетнего оперативного мониторинга сельскохозяйственных угодий Северного Казахстана с помощью спутниковых данных / Н. Р. Муратова, А. Г. Терехов // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2007. – Т. 4 № 2. – С. 277-283.

85. Нешин, И. В. Фотосинтетическая деятельность сельскохозяйственных культур в зависимости от условий возделывания / И. В. Нешин, В. И. Ковтун, С. С. Мясоедова, В. И. Жолобов, О. И. Нешиш. – Ставрополь: Ставропольбланкиздат, 2008. – 316 с.

86. Ничипорович, А. А. Фотосинтез и теория получения высоких урожаев / А. А.Ничипорович // XV Тимирязевские чтения. – М.: АН СССР. – 1956. – 94 с.

87. Ничипорович, А. А. Фотосинтетическая деятельность растений и пути повышения их продуктивности / А. А. Ничипорович // Теоретические основы фотосинтетической продуктивности. – М.: Наука, 1972. – С. 511-527.

88. Ничипорович, З. А. Опыт использования NDVI-индекса для мониторинга сельскохозяйственных земель полевья по данным спектральной космосъемки IKONOS / З. А. Ничипорович, Е. А. Радевич // Журнал прикладной спектроскопии. – 2012. – Т. 79. – № 4. – С. 681-684.

89. Новохатин, В. В. ГИС-технологии в оценке и прогнозировании урожайности сельскохозяйственных культур / В. В. Новохатин, И. С. Чубарева // Вестник Тюменского государственного университета. – 2013. – № 4. – С. 168-176.

90. Ожередова А. Ю. Влияние минеральных удобрений на содержание элементов питания в растениях и урожайность зерна озимой пшеницы / А. Ю. Ожередова, А. Н. Есаулко // Плодородие. – 2019. – № 4 (109). – С. 6-8. – doi: 10.25680/S19948603.2019.109.02

91. Орлова, И. Г. Оценка состояния озимых культур в процессе их вегетации и уход за посевом (с основами биологии развития озимой пшеницы) / И. Г. Орлова. – Ставрополь: СГУ, 2002. – 20 с.

92. Пакуль, В. Н. Чистая продуктивность фотосинтеза ярового ячменя / В. Н. Пакуль // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2009. – № 2. – С. 34-40.

93. Панеш, А. Х. Прогнозирование урожайности озимой пшеницы на основе сервисов геоинформационных систем / А. Х. Панеш, Г. В. Цалов // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 4: Естественно-математические и технические науки. – 2017. – № 4 (211). – С. 175-180.

94. Парахин, Н. В. Биологическая интенсификация и повышение устойчивости растениеводства / Н. В. Парахин // Роль современных сортов и технологий в сельскохозяйственном производстве: материалы Всерос. науч.-практич. конф. / под общ. ред. В.Т. Лобкова. – Орел: Ореловский ГАУ, 2005. – С. 51-58.

95. Петров, Н.Ю. Фотосинтетическая деятельность и продуктивность сортов озимой пшеницы в зависимости от применяемых биопрепаратов / Н. Ю. Петров, Н. С. Онищенко // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2012. – № 10 (96). – С. 23-25.

96. Петрова, Л. Н. Производство сильного зерна пшеницы в Ставропольском крае и пути его увеличения / Л. Н. Петрова, А. Я. Чернов, Е. А. Прокудин // Пути повышения качества зерна сельскохозяйственных культур.: Сб. науч. тр. – Ставрополь. – 1999. – С. 5-10.

97. Петрова, Л. Н. Этапы органогенеза и уход за посевами озимой пшеницы / Л. Н. Петрова, И. В. Нешин, Е. А. Прокудин и др. // Справочно-консультационный бюллетень СИПКиА. – Вып. 7 (76). – Ставрополь. – 2004. – С. 43-47.

98. Петрова, Л. Н. Сорты озимой пшеницы и особенности их фотосинтетической деятельности / Л. Н. Петрова, Ф. В. Ерошенко, А. А. Ерошенко // Проблемы экологии и защиты растений в сельском хозяйстве: материалы 73-й науч.-практич. конф. – Ставрополь: Параграф, 2009. – С. 157-164.

99. Повх, В. И. Космический мониторинг сельскохозяйственных угодий Ростовской области / В. И. Повх, Г. П. Гарбузов, Л. А. Шляхова // Исследование Земли из космоса. – 2006. – №3. – С. 89-96.

100. Подлесных, Н. В. Чистая продуктивность фотосинтеза озимой твердой, тургидной и мягкой пшеницы в условиях Воронежской области / Н. В. Подлесных // Приоритетные векторы развития промышленности и сельского хозяйства: материалы Междунар. науч.-практич. конф. – Макеевка: ГОУ ВПО «Донбасская аграрная академия», 2018. – С. 146-150.

101. Подлесных, Н. В. Зависимость между фотосинтетическим потенциалом и чистой продуктивностью фотосинтеза видов озимой пшеницы / Н. В. Подлесных // Знания молодых: наука, практика и инновации: материалы XVII Междунар. науч.-практич. конф. аспирантов и молодых ученых / под ред. В. Г. Мохнаткина. – Киров: Вятска ГСА, 2018. – С. 61-67. – doi: 10.17238/issn2071-2243.2016.2.19

102. Подушин, Ю. В. Влияние факторов агротехники на индекс листовой поверхности и содержание хлорофилла в листьях озимой пшеницы / Ю. В. Подушин, М. Ю. Ольховский, Ю. П. Федулов // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского ГАУ. – 2009. – № 51. – С. 319-326.

103. Полоус, Г. П. Влияние основного удобрения и подкормок на урожайность зерна озимой пшеницы / Г. П. Полоус, А. И. Войковой, Н. А. Есаулко, В. И. Жабина // Ежеквартальный научно-практический журнал: Вестник АПК Ставрополя. – 2013. – №2 – С. 36-40.

104. Прядкина, Г. А. Пигменты, эффективность фотосинтеза и продуктивность пшеницы / Г. А. Прядкина // Plant Varieties Studying and Protection. – 2018. – Т.14. – №1. – С. 97-108. – doi: 10.21498/2518-1017.14.1.2018.126524

105. Прядкина, Г. А. Связь между величиной хлорофилльного фотосинтетического потенциала и урожайностью озимой пшеницы (*triticum aestivum* L.) при повышенных температурах / Г. А. Прядкина, О. О. Стасик, Л. Н. Михальская, В. В. Швартау // Сельскохозяйственная биология. – 2014. – Т. 49. – № 5. – С. 88-95.

106. Пташник, М. М. Использование фотосинтетической активной радиации посевами ржи озимой в зависимости от видов, норм и сроков внесения удобрений / М. М. Пташник // Вестник Прикаспия. – 2014. – №1 (4). – С. 28-32.

107. Пушкарев, С. Е. Влияние сорта на урожайность зерна озимой пшеницы в условиях Наровлянского района / С. Е. Пушкарев, А. А. Пугач // Технологические аспекты возделывания сельскохозяйственных культур: материалы XI Междунар. науч.-практич. конф. / под ред. А.С. Мастерова. – Горки: Белорусская ГСА, 2018. – С. 217-220.

108. Ракоца, Э. Ю. Специфика формирования ассимиляционного аппарата растений в поливидных агрофитоценозах / Э. Ю.Ракоца, Т. Г.Кудрявцева, А. А.Мартемьянова // Сельскохозяйственные и прикладные

науки в развитии сельского и лесного хозяйства: актуальные вопросы, практика и обмен опытом: материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Иркутск, 2006. – С. 125-128.

109. Рахимов, М. М. Формирование листовой поверхности посевов озимой пшеницы местных и интродуцированных сортов в разных природно-экологических регионах / М. М. Рахимов, М. Б. Ниязмухамедова // Известия Академии наук Республики Таджикистан. – 2011. – № 2. – С. 51-61.

110. Рублева, Е. С. Солнечная энергия и спектр солнечного излучения / Е. С. Рублева, Т. В. Гоненко // Современные научные исследования: актуальные проблемы и тенденции: материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Омск: Омский институт водного транспорта, 2019. – С. 220-225.

111. Рябцева, Н. А. Эффективность технологий возделывания полевых культур на черноземе обыкновенном Ростовской области / Н. А. Рябцева // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2019. – №4 (76). – С. 59-65.

112. Савин, И. Ю. Оперативный спутниковый мониторинг состояния посевов сельскохозяйственных культур в России / И. Ю. Савин, Е. А. Лупян, С. А. Барталев // Геоматика. – 2011. – №2. – С.69-76.

113. Сандухадзе, Б. И. Особенности селекционного улучшения озимой пшеницы в центре Нечерноземья / Б. И. Сандухадзе, В. Г. Кочетыгов, М. И. Рыбакова и др. // Зернобобовые и крупяные культуры. – 2013. – №2 (6). – С. 19-23.

114. Сидько, А. Ф. Оценка содержания хлорофилла и урожайности зерновых культур по хлорофилльному потенциалу / А. Ф. Сидько, И. Ю. Ботвич, Т. И. Письман, А. П. Шевырногов // Биофизика. – 2017. – Т. 62. – № 3. – С. 565-569.

115. Сизова, Т. М. Статистика: учебное пособие / Т. М. Сизова. – СПб.: СПб НИУ ИТМО, – 2013. – 176 с.

116. Симатин, Т. В. Эффективность комплексных физиологически активных веществ на посевах озимой пшеницы в зоне неустойчивого увлажнения

ния Ставропольского края / Т. В. Симатин, Ф. В. Ерошенко // Аграрный вестник Урала. – 2018. – № 9 (176). – С. 7.

117. Соловьёв, С. В. Приемы ухода за посевами и показатели чистой продуктивности фотосинтеза / С. В. Соловьёв // Альманах современной науки и образования. – 2012. – № 3. – С. 134-136.

118. Сторчак, И. Г. Использование NDVI для оценки продуктивности озимой пшеницы в Ставропольском крае / И. Г. Сторчак, Ф. В. Ерошенко // Земледелие. – 2014. – № 7. – С. 12-15.

119. Сторчак, И. Г. Прогноз урожайности озимой пшеницы с использованием вегетационного индекса NDVI для условий Ставропольского края: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. / Сторчак Ирина Геннадьевна. – Ставрополь, 2016. – 22 с.

120. 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 наук: материалы III Междунар. науч. конф. / под ред. В.С. Паштецкого. – Ялта: Ариал, 2018. – С. 185-186.

121. Сторчак, И. Г. Особенности роста и развития растений озимой пшеницы в различных почвенно-климатических зонах / И. Г. Сторчак, А. А. Ерошенко // Известия Горского государственного аграрного университета. – 2019. – Т.56. – №2. – С. 26-31.

122. 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.

123. Сулейманов, Г. И. Солнце – основной источник энергии флоры и фауны в сельском хозяйстве / Г. И. Сулейманов, А. А. Назаров // Экологические и социально-экономические основы развития аридных экосистем: мате-

риалы Междунар. науч.-практич. конф. / под ред. В.П. Зволинского. – Солонное Займище: Прикаспийский НИИ аридного земледелия, 2015. – С. 22-24.

124. Тарчевский, И. А. Основы фотосинтеза / И. А. Тарчевский. – М.: Высшая школа, 1977. – 246 с.

125. Терехин, Э. А. Анализ сезонной динамики вегетационного индекса NDVI и отражательных свойств посевов кукурузы на территории Белгородской области / Э. А. Терехин // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2014. – Т.11. – №4. – С. 244-253.

126. Титов, О. С. Влияние предшественника и сорта на урожайность озимой пшеницы в зоне каштановых почв волгоградской области / О. С. Титов, В. М. Иванов // В сборнике: Современное экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты рационального природопользования. – 2018. – С. 278-281.

127. Толпин, В. А. Спутниковый сервис «ВЕГА» / В. А. Толпин, И. В. Балашов, Е. А. Лупян, И. Ю. Савин // Земля из космоса. Наиболее эффективные решения. – 2011. – №9. – С. 32-37.

128. Тооминг, Х. Г. Солнечная радиация и формирование урожая / Х. Г. Тооминг. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – С. 8.

129. Туранов, С.Б. Способы оценки фотосинтетически активной радиации / С.Б. Туранов, И.Н. Козырева, А.Н. Яковлев // Современные техника и технологии: материалы XX Междунар. науч.-практич. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. – Томск: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2014. – С. 149-150.

130. Фадеева, И. Д. Влияние сроков посева и норм высева на урожайность новых сортов озимой пшеницы / И. Д. Фадеева, М. Ш. Тагиров, И. Н. Газизов // Земледелие. – 2019. – № 3. – С. 21-24. – doi: 10.24411/0044-3913-2019-10305

131. Федулов, Ю. П. Влияние предшественника на характер зависимости накопления хлорофилла от агротехнических факторов у озимой пшеницы / Ю. П. Федулов, В. Р. Урумян, Ю. В. Подушин // Научное обеспечение агро-

промышленного комплекса: материалы Всерос. национал. конф. / под ред. А. Г. Кощаева. – Краснодар: Кубанский ГАУ имени И.Т. Трубилина, 2019. – С. 89-90.

132. Филин, В. И. Программирование урожая: от идеи к теории и технологиям возделывания сельскохозяйственных культур / В. И. Филин // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. – 2014. – № 3 (35). – С. 1-11.

133. Халилов, М. Б. Влияние различных приемов обработки на динамику содержания питательных элементов в почве / М. Б. Халилов // Научная жизнь. – 2018. – № 4. – С. 57-68.

134. Хашагульгова, М. А. Фотосинтетическая и биохимическая оценка продуктивности новых сортов озимой пшеницы / М. А. Хашагульгова, У. А. Хашагульгов, Л. Х. Слонов // Труды Кубанского ГАУ. – 2016. – № 62. – С. 121-126.

135. Хотулев, В. Я. Связь содержания хлорофилла с фотосинтетической продуктивностью короткостебельных и длинностебельных сортов озимой пшеницы автореф. дис... канд. биол. наук / Хотулев Владимир Яковлевич – Казань, 1985. – 24 с.

136. Чернов, А. Я. Биология, технология, урожай озимой пшеницы в Ставропольском крае: Монография / А. Я. Чернов, Н. А. Квасов. – Ставрополь, 2005. – 128 с.

137. Чечура, М. Влияние азотной подкормки на урожайность и качество зерна озимой пшеницы сорта Гром / М. Чечура, А. Шувалов, Т. В. Князева // Вестник научно-технического творчества молодежи Кубанского ГАУ: материалы конф. / под ред. А. Г. Кощаева. – Краснодар: Кубанский ГАУ им. И. Т. Трубилина, 2016. – С. 76-79.

138. Чиков, В. И. Эволюция представлений о связи фотосинтеза с продуктивностью растений / В. И. Чиков // Физиология растений. – 2008. – № 1. – Т. 55. – С. 140-154.

139. Шеин, Е. В. Агрофизика. / Е. В. Шеин, В. М. Гончаров // Ростов-на-Дону: Феникс, 2006. – С. 67.

140. 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: матер. VII Междунар. дистанц. науч.-практич. конф. молодых ученых. – Краснодар: Северо-Кавказский ФНЦ садоводства, виноградарства, виноделия, 2017. – С. 176-183.

141. Шестакова, Е. О. Влияние технологических приемов выращивания на радиационный режим посевов озимой пшеницы / Е. О. Шестакова, Ф. В. Ерошенко, И. Г. Сторчак // Бюллетень СНИИСХ. – 2017-1. – № 9. – С. 259-263.

142. 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.

143. 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 наук: материалы III Междунар. науч. конф. / под ред. В.С. Паштецкого. – Ялта: Ариал, 2018-1. – С. 218-219.

144. 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», 2018-2. – С. 185-189.

145. 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.

146. 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. – 2019-1. – № 10 (189). – С.23-32.

147. 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.

148. Шульгин, И. А. Солнечная радиация в оценках максимальной урожайности яровых культур / И. А. Шульгин, Р. М. Вильфанд, А. И. Страшная, О. В. Береза // Биосфера. – 2015. – Т. 7. – № 4. – С. 371-383.

149. Щедрин, В. А. Чистая продуктивность фотосинтеза (ЧПФ) и продуктивность озимой пшеницы / В. А. Щедрин // Проблемы развития аграрного сектора региона: материалы Всерос. науч.-практич. конф. – Курск: Курская ГСА им. И. И. Иванова, 2006. – С. 103-105.

150. Якушев, В. П. Опыт применения и перспективы развития технологий дистанционного зондирования земли для сельского хозяйства / В. П. Якушев, Н. Н. Дубенок, Е. А. Лупян // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2019. – Т.16. – №3. – С. 11-23. – doi: 10.21046/2070-7401-2019-16-3-11-23.

151. Barwicki, Ja. Solar energy utilization in Poland and some new developments for the future use / Ja. Barwicki // Vestnik of the Mari State University. – 2013. – №12. – P. 26-32.

152. Becker-Reshef I. A generalized regression-based model for forecasting winter wheat yields in Kansas and Ukraine using MODIS data / I. Becker-

Reshef, E. Vermote, M. Lindeman, C. Justice // *Remote Sensing of Environment*. – 2010. – 114 (6). – P. 1312-1323.

153. Boori, M.S. Crop growth monitoring through sentinel and landsat data based NDVI time-series / M.S. Boori, K. Choudhary, A.V. Kupriyanov // *Computer Optics*. – 2020. – V.44. – №3. – P. 409-419.

154. Chand, R. Regional Variations in Agricultural Productivity a District Level Study / R. Chand, S. Garg, L. Pandey. – New Delhi. – ICAR. – 2009. – 126 p.

155. Hasan, U. Inversion of leaf area index of winter wheat based on GF-1/2 image / U. Hasan, M. Sawut, S.-S. Chen, D. Li // *Acta Agronomica Sinica (China)*. – 2020. – V.46. – №5. – P. 787-797.

156. Hashemi, S.A. Investigation of NDVI in relation to the growth phases of beech leaves in forest / S.A. Hashemi, M.M. Fallah Chai // *Arabian Journal of Geosciences*. – 2013. – V. 6. – №9. – P. 3341-3347.

157. Horak, Ja. Measured and modeled (DNDC) nitrous oxide emissions (N₂o) under different crop management practices in the Nitra region, Slovakia / Ja. Horak, I.M. Mukhina // *Acta horticulturae et regioteecturae*. – 2016. – V. 19. – № 2. – P. 54-57.

158. Jiang, P. Genetic analysis of plant height and its components for wheat (*triticum aestivum* L.) cultivars Ningmai 9 and Yangmai 158 / P. Jiang, Y. He, X. Zhang, L. Wu, P.-P. Zhang, H.-X. Ma // *Acta Agronomica Sinica (China)*. – 2020. – V. 46. – №6. – P. 858-868. – doi: 10.18699/VJ19.563

159. Khalili, M. Protein pattern analysis in tolerant and susceptible wheat cultivars under salinity stress conditions / M. Khalili, M. R. Naghavi, S. Yousefzadeh // *Acta Agriculturae Slovenica*. – 2018. – V. 111. – № 3. – P. 545-558.

160. Mbarki, S. Strategies to mitigate the salt stress effects on photosynthetic apparatus and productivity of crop plants / S. Mbarki, O. Sytar, M. Zivcak, M. Brestic, A. Cerda, A. Rastogi, X. He, A. Zoghلامي, C. Abdelly // В книге: Sa-

linity Responses and Tolerance in Plants, V. 1: Targeting Sensory, Transport and Signaling Mechanisms. – 2018. – P. 85-136.

161. Pisman, T. I. Spatial distribution of NDVI seeds of cereal crops with different levels of weediness according to Planetscope satellite data / T. I. Pisman, M. G. Erunova, I. Yu. Botvich, A. P. Shevyrnogov // *Journal of Siberian Federal University. Engineering and Technologies*. – 2020. – V. 13. – №5. – P. 578-585. – doi: 10.17516/1999-494X-0247

162. Richardson, K. Constraining the distribution of photosynthetic parameters in the global ocean / K. Richardson, E. A. Mousing, J. Bendtsen, T. Kragh // *Frontiers in Marine Science*. – 2016. – T. 3. – C. 269-271.

163. Sariyeva, G. Photosynthesis performance of non-rolling and flag leaf rolling wheat genotypes during temperature stress / G. Sariyeva, S. Kenjebaeva, H.K. Lichtenthaler // *Acta Botanica Hungarica*. – 2009. – V. 51. – № 1-2. – P. 185-194.

164. Vass, I. Photoinhibition of photosynthetic electron transport / I. Vass, E. Aro // *Primary processes in photosynthesis, basic principles and apparatus*. Ed. by G. Renger. Cambridge: The Royal Society of Chemistry. – 2007. – P. 393-425.

165. Verhulst, N. The normalized difference vegetation index (NDVI) GreenSeeker TM handheld sensor: Toward the integrated evaluation of crop management / N. Verhulst, B. Govaerts // *Concepts and case studies (Mexico)*. – 2010. – 14 p.

166. Wu, X.-L. Canopy architecture, physiological characteristics and assimilate partitioning in wheat cultivars with 9000 kg ha⁻¹ yield potential in Sichuan basin / X.-L. Wu, C.-S. Li, Y.-L. Tang, Li J., X.-L. Ma, S.-Z. Li, M.-B. Huang // *Acta Agronomica Sinica (China)*. – 2017. – V. 43. – №7. – P. 1043-1056. – doi: 10.1088/issn.1755-1315

167. Xhulaj, D. Interrelationships among traits and morphological diversity of wheat (*triticum aestivum* L.) accessions in base collection of plant genetic resources institute, Albania / D. Xhulaj, F. Elezi, V. Hobdari // *Acta Agriculturae Slovenica*. – 2019. – V. 113. – №1. – P. 163-179.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1 – Площадь ассимиляционной поверхности посевов озимой
пшеницы в зависимости от элементов технологии возделывания
в 2016 г., м²/м²

Сорт	Предшественник/Фон				Сроки сева			Нормы высева		
	Озимая пшеница		Пар							
	конт- роль	удоб- рен- ный	конт- роль	удоб- рен- ный	ран- ний	опти- маль- ный	позд- ний	4 млн	5 млн	6 млн
Лист										
Зустріч	1,68	3,02	2,23	4,00	2,20	3,02	2,35	1,64	3,02	1,99
Арсенал	1,80	2,91	2,01	3,32	2,38	2,91	2,28	2,88	2,91	2,31
Ставка	1,73	6,29	2,32	4,70	2,20	6,29	2,53	2,14	6,29	3,32
Стать	1,72	4,27	3,03	4,88	2,75	4,27	2,55	2,49	4,27	2,12
НСР ₀₅	0,156				0,149			0,147		
Стебель										
Зустріч	1,11	1,71	1,47	2,33	1,56	1,71	1,40	1,18	1,71	1,29
Арсенал	1,11	1,48	1,24	1,63	1,44	1,48	1,30	1,41	1,48	1,42
Ставка	1,24	2,87	1,69	2,78	1,61	2,87	1,72	1,42	2,87	1,74
Стать	1,21	2,03	1,85	2,74	1,70	2,03	1,64	1,42	2,03	1,49
НСР ₀₅	0,089				0,085			0,081		
Колос										
Зустріч	0,85	1,38	0,91	1,71	1,25	1,38	1,13	0,93	1,38	1,09
Арсенал	0,87	1,18	0,90	1,33	1,23	1,18	1,07	1,22	1,18	1,14
Ставка	0,79	2,15	0,84	1,28	1,07	2,15	1,04	0,95	2,15	1,09
Стать	0,78	1,45	0,92	1,31	1,12	1,45	1,14	1,00	1,45	0,99
НСР ₀₅	0,058				0,063			0,061		

Приложение 2 – Площадь ассимиляционной поверхности посевов озимой
пшеницы в зависимости от элементов технологии возделывания
в 2017 г., м²/м²

Сорт	Предшественник/Фон				Сроки сева			Нормы высева		
	Озимая пшеница		Пар							
	конт- роль	удоб- рен- ный	конт- роль	удоб- рен- ный	ран- ний	опти- маль- ный	позд- ний	4 млн	5 млн	6 млн
Лист										
Зустріч	1,80	3,11	2,37	3,16	1,99	3,11	2,52	2,22	3,11	2,33
Арсенал	2,13	2,44	2,06	4,02	2,43	2,44	2,65	3,38	2,44	2,97
Ставка	2,45	2,78	3,05	3,60	3,08	2,78	2,94	4,85	2,78	2,76
Стать	2,67	3,67	3,24	4,39	2,66	3,67	2,32	3,76	3,67	2,73
НСР ₀₅	0,147				0,136			0,154		
Стебель										
Зустріч	1,13	1,70	1,77	1,89	1,30	1,70	1,28	1,44	1,70	1,55
Арсенал	1,35	1,60	1,32	1,59	1,62	1,60	1,56	1,82	1,60	1,82
Ставка	1,63	2,29	2,09	2,17	1,38	2,29	1,79	1,39	2,29	1,90
Стать	1,62	2,24	1,96	2,52	1,78	2,24	1,42	2,04	2,24	1,78
НСР ₀₅	0,090				0,083			0,090		
Колос										
Зустріч	0,92	1,27	1,21	1,36	1,02	1,27	1,33	1,16	1,27	1,18
Арсенал	0,96	1,03	0,91	1,48	1,02	1,03	1,06	1,15	1,03	1,15
Ставка	0,88	1,22	0,99	1,01	1,34	1,22	1,00	2,30	1,22	1,01
Стать	0,98	1,12	1,02	1,34	1,09	1,12	1,04	1,27	1,12	1,06
НСР ₀₅	0,055				0,056			0,062		

Приложение 3 – Площадь ассимиляционной поверхности посевов озимой
пшеницы в зависимости от элементов технологии возделывания
в 2018 г., м²/м²

Сорт	Предшественник/Фон				Сроки сева			Нормы высева		
	Озимая пшеница		Пар							
	конт- роль	удоб- рен- ный	конт- роль	удоб- рен- ный	ран- ний	опти- маль- ный	позд- ний	4 млн	5 млн	6 млн
Лист										
Зустріч	1,58	3,63	2,36	3,95	1,89	3,63	2,01	2,28	3,63	2,00
Арсенал	1,47	3,38	1,95	2,61	2,33	3,38	1,91	2,38	3,38	1,64
Ставка	1,93	3,08	2,54	4,16	1,70	3,08	2,18	2,68	3,08	2,19
Стать	1,67	3,24	2,60	3,40	1,92	3,24	2,59	2,69	3,24	2,57
НСР ₀₅	0,136				0,124			0,132		
Стебель										
Зустріч	0,92	1,52	1,31	1,88	0,98	1,52	1,09	0,91	1,52	1,08
Арсенал	0,87	1,36	1,15	1,66	1,26	1,36	1,03	1,00	1,36	1,02
Ставка	1,15	1,48	1,47	1,86	0,96	1,48	1,13	1,23	1,48	0,97
Стать	1,01	1,45	1,48	1,80	0,87	1,45	1,22	1,12	1,45	1,29
НСР ₀₅	0,070				0,060			0,060		
Колос										
Зустріч	0,89	1,60	1,11	1,55	1,24	1,60	1,15	1,16	1,60	1,15
Арсенал	0,78	1,32	0,89	1,19	1,43	1,32	1,09	1,30	1,32	1,13
Ставка	1,06	1,15	0,99	1,28	0,98	1,15	1,19	1,27	1,15	1,26
Стать	0,84	1,17	1,09	1,16	1,14	1,17	1,26	1,15	1,17	1,38
НСР ₀₅	0,056				0,061			0,063		

Приложение 4 – Относительное содержание хлорофилла (a+b) в органах растений озимой пшеницы в зависимости от элементов технологии возделывания в 2016 г., мг/г

Сорт	Предшественник/Фон				Сроки сева			Нормы высева		
	Озимая пшеница		Пар							
	конт-роль	удоб-ренный	конт-роль	удоб-ренный	ран-ний	опти-мальный	позд-ний	4 млн	5 млн	6 млн
Лист										
Зустріч	2,98	3,54	3,55	4,53	3,77	3,54	3,98	3,90	3,54	3,42
Арсенал	3,47	4,36	4,13	4,73	4,26	4,36	3,97	4,59	4,36	3,91
Ставка	2,86	3,85	3,27	5,57	3,51	3,85	4,42	4,28	3,85	4,47
Стать	3,36	4,20	3,23	4,73	3,75	4,20	4,80	4,16	4,20	3,82
НСР ₀₅	0,195				0,202			0,202		
Стебель										
Зустріч	0,56	0,81	0,46	0,85	0,79	0,81	0,79	0,74	0,81	0,80
Арсенал	0,67	0,68	0,72	0,91	0,79	0,68	0,79	0,66	0,68	0,59
Ставка	0,52	0,65	0,38	0,67	0,72	0,65	0,85	0,67	0,65	0,64
Стать	0,76	1,08	0,68	1,04	1,00	1,08	0,89	0,87	1,08	0,78
НСР ₀₅	0,036				0,041			0,037		
Колос										
Зустріч	0,63	0,73	0,69	0,89	0,63	0,73	0,73	0,65	0,73	0,68
Арсенал	0,66	0,64	0,80	0,86	0,63	0,64	0,76	0,56	0,64	0,61
Ставка	0,43	0,65	0,52	0,67	0,45	0,65	0,58	0,41	0,65	0,55
Стать	0,63	0,77	0,58	0,91	0,73	0,77	0,67	0,65	0,77	0,51
НСР ₀₅	0,035				0,033			0,031		

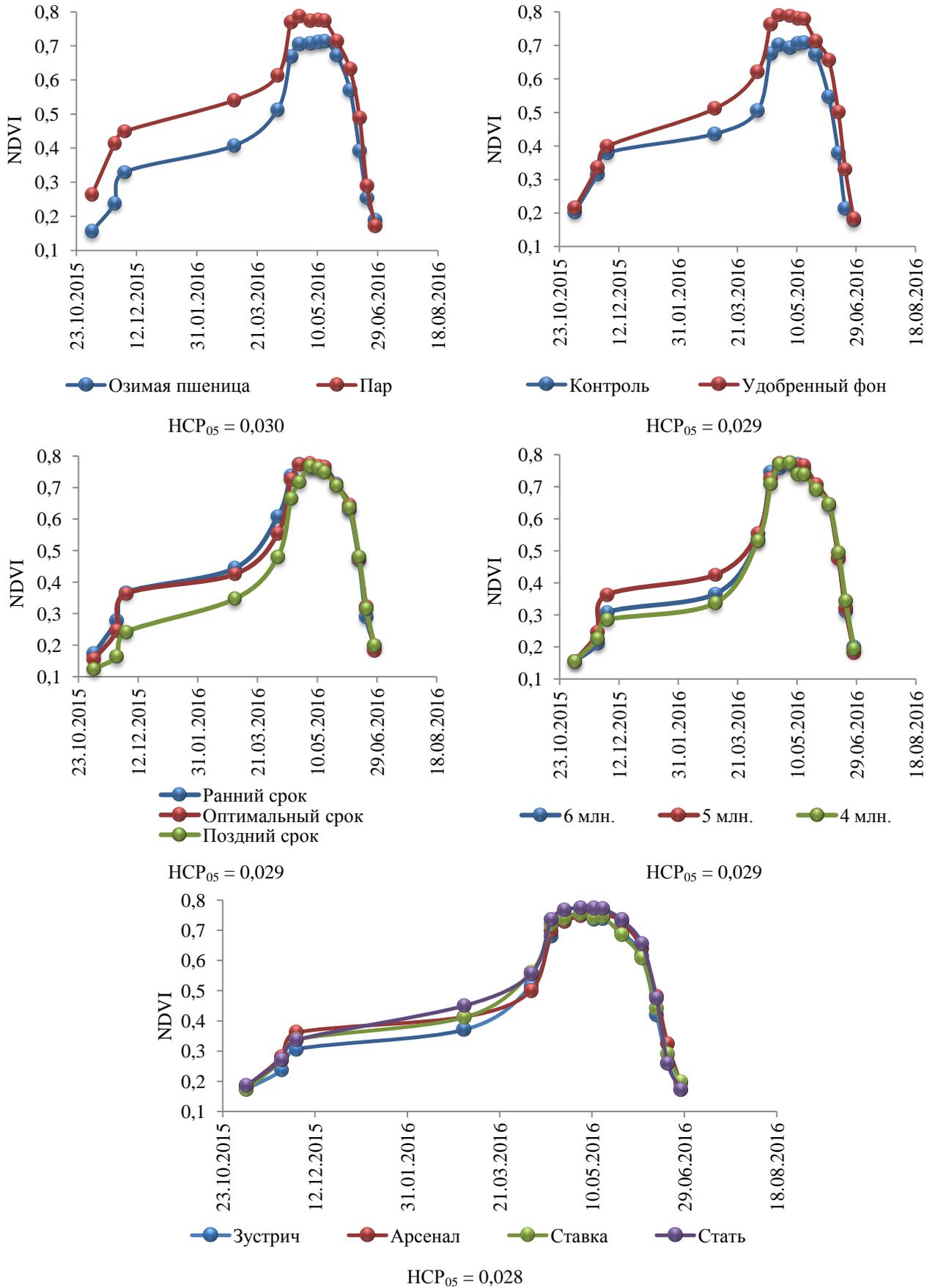
Приложение 5 – Относительное содержание хлорофилла (a+b) в органах растений озимой пшеницы в зависимости от элементов технологии возделывания в 2017 г., мг/г

Сорт	Предшественник/Фон				Сроки сева			Нормы высева		
	Озимая пшеница		Пар							
	конт-роль	удоб-ренный	конт-роль	удоб-ренный	ран-ний	опти-маль-ный	позд-ний	4 млн	5 млн	6 млн
Лист										
Зустріч	3,55	4,03	4,06	4,82	2,78	4,03	4,16	4,62	4,03	5,00
Арсенал	3,97	4,25	3,80	5,00	3,31	4,25	4,01	4,78	4,25	4,96
Ставка	3,51	3,24	4,16	4,96	3,37	3,24	5,35	3,89	3,24	3,96
Стать	4,67	4,39	4,15	5,20	2,97	4,39	4,21	4,96	4,39	4,16
НСР ₀₅	0,212				0,192			0,218		
Стебель										
Зустріч	0,50	0,83	0,56	0,89	0,49	0,83	1,07	0,74	0,83	0,75
Арсенал	0,75	0,62	0,63	0,92	0,55	0,62	0,77	0,83	0,62	0,73
Ставка	0,80	0,49	0,68	0,95	0,60	0,49	0,92	0,74	0,49	0,65
Стать	0,78	0,93	0,47	1,01	0,74	0,93	1,01	1,01	0,93	0,79
НСР ₀₅	0,037				0,038			0,038		
Колос										
Зустріч	0,89	0,99	0,82	0,97	0,67	0,99	0,99	0,90	0,99	0,91
Арсенал	0,72	0,68	0,77	0,79	0,57	0,68	0,79	0,76	0,68	0,87
Ставка	0,63	0,59	0,63	0,89	0,64	0,59	0,85	0,81	0,59	0,49
Стать	0,90	0,87	0,99	0,96	0,73	0,87	0,94	0,84	0,87	0,78
НСР ₀₅	0,041				0,039			0,040		

Приложение 6 – Относительное содержание хлорофилла (a+b) в органах растений озимой пшеницы в зависимости от элементов технологии возделывания в 2018 г., мг/г

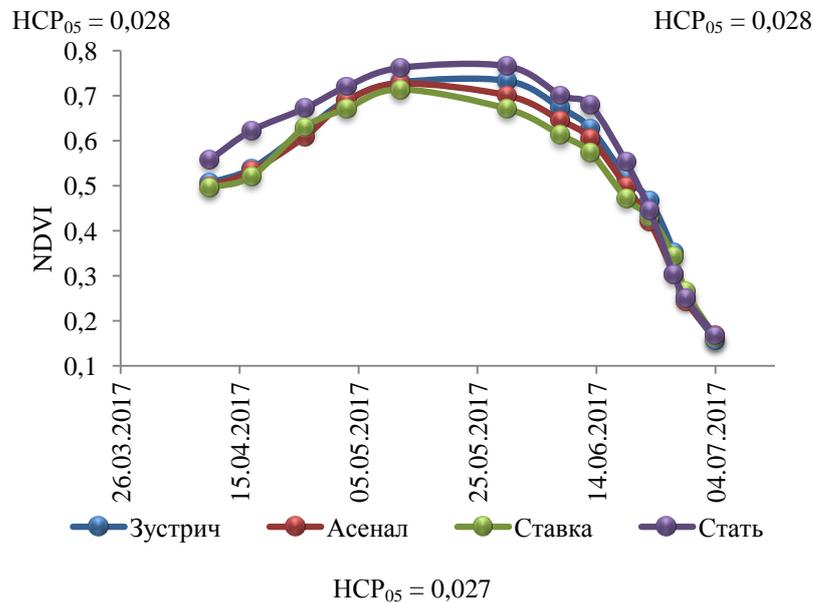
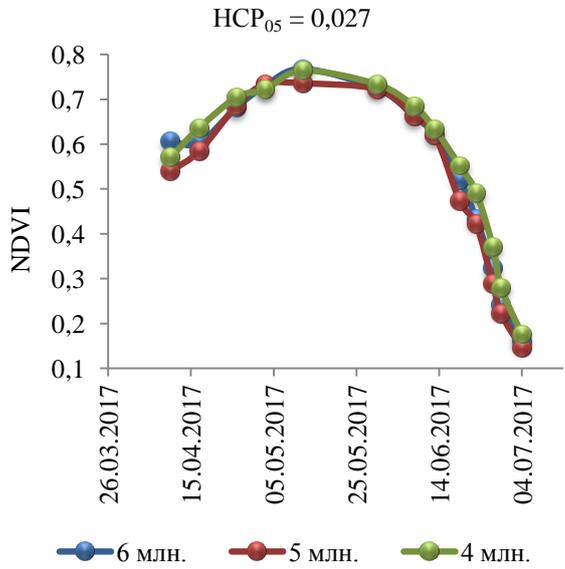
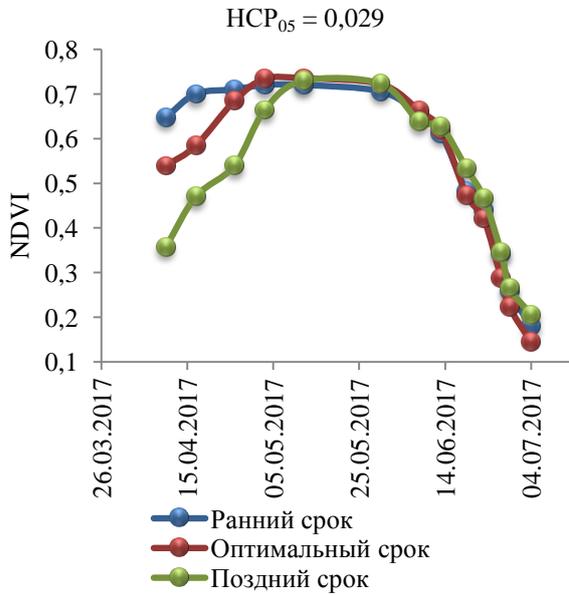
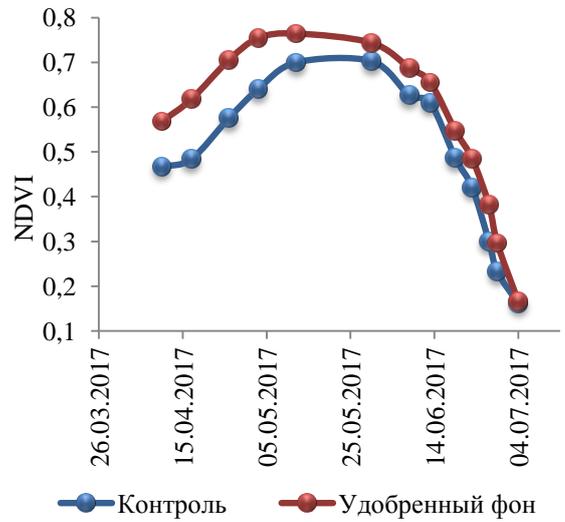
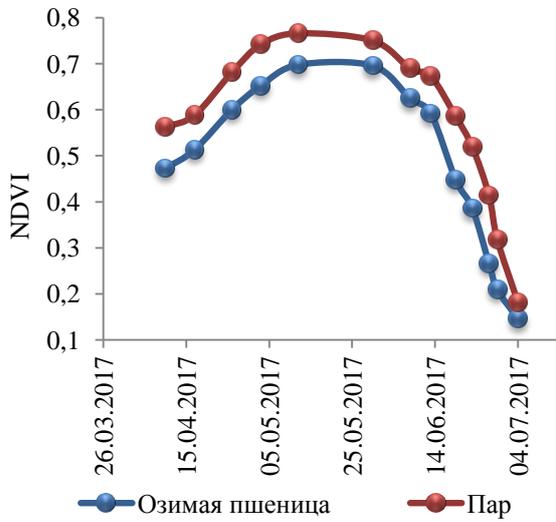
Сорт	Предшественник/Фон				Сроки сева			Нормы высева		
	Озимая пшеница		Пар							
	конт-роль	удоб-ренный	конт-роль	удоб-ренный	ран-ний	опти-мальный	позд-ний	4 млн	5 млн	6 млн
Лист										
Зустріч	2,94	3,87	5,25	5,44	5,07	3,87	3,52	3,50	3,87	1,52
Арсенал	2,97	4,46	4,46	4,46	5,20	4,46	3,92	4,41	4,46	2,86
Ставка	3,43	4,14	5,26	4,68	4,68	4,14	4,10	3,74	4,14	3,04
Стать	2,84	4,09	5,24	6,36	3,64	4,09	3,93	4,21	4,09	4,10
НСР ₀₅	0,218				0,211			0,183		
Стебель										
Зустріч	0,64	0,49	0,96	0,95	1,08	0,49	0,82	0,22	0,49	0,22
Арсенал	0,60	0,75	0,81	0,89	1,03	0,75	0,82	0,49	0,75	0,46
Ставка	0,64	0,72	1,06	1,27	0,87	0,72	0,97	0,67	0,72	0,55
Стать	0,66	0,96	1,15	1,56	0,59	0,96	0,59	0,52	0,96	0,54
НСР ₀₅	0,044				0,040			0,028		
Колос										
Зустріч	0,73	0,67	1,14	0,94	0,80	0,67	0,73	0,30	0,67	0,32
Арсенал	0,60	0,60	0,82	0,93	0,69	0,60	0,74	0,35	0,60	0,34
Ставка	0,64	0,54	0,86	0,85	0,70	0,54	0,63	0,53	0,54	0,24
Стать	0,71	0,81	1,07	1,10	0,75	0,81	0,47	0,46	0,81	0,65
НСР ₀₅	0,041				0,034			0,024		

Приложение 7– NDVI посевов озимой пшеницы в зависимости от элементов технологии возделывания в 2016 г.

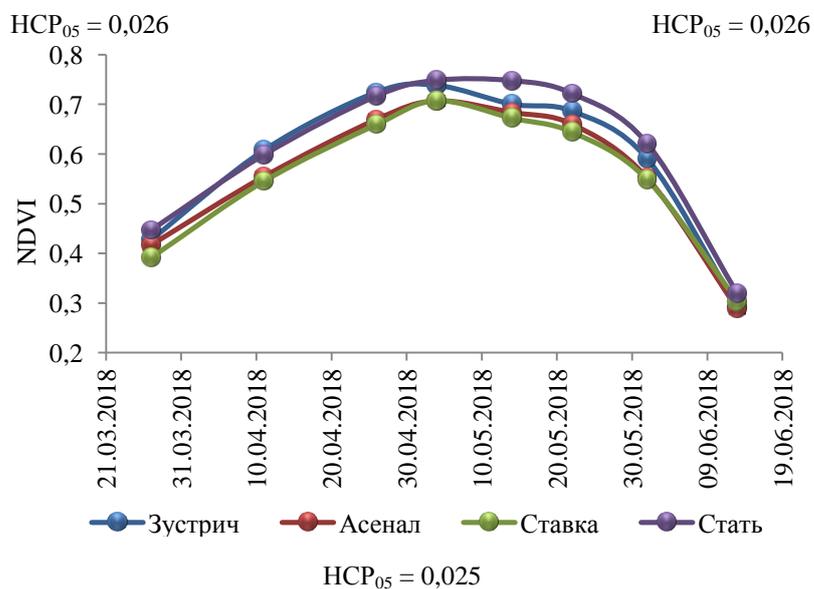
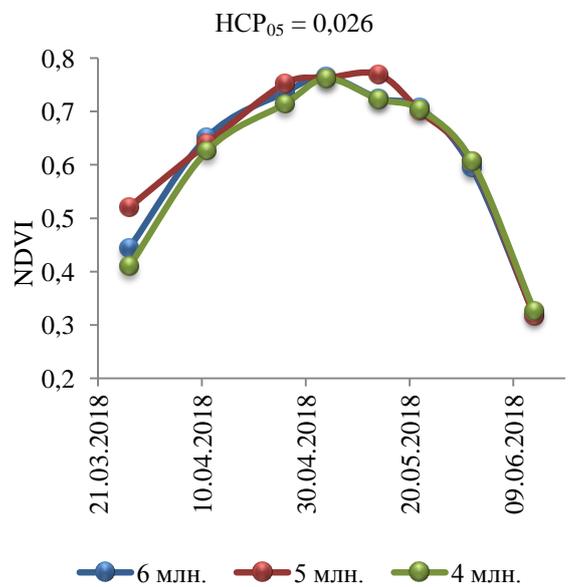
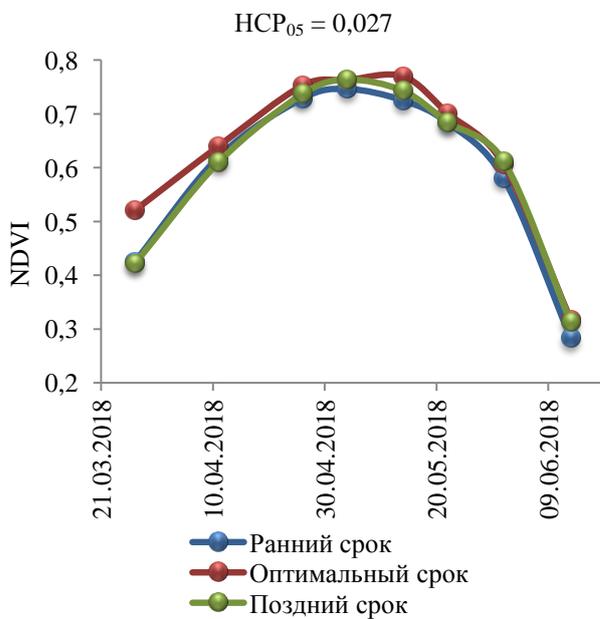
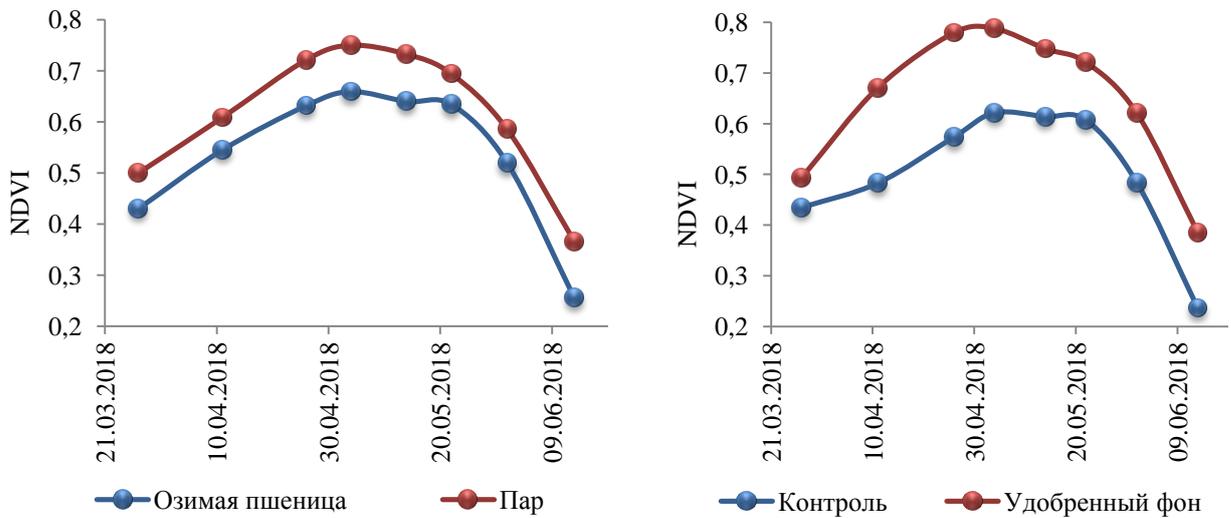


Приложение 8 – NDVI посевов озимой пшеницы в зависимости от элементов

технологии возделывания в 2017 г.



Приложение 9 – NDVI посевов озимой пшеницы в зависимости от элементов технологии возделывания в 2018 г.



Приложение 10 – Урожайность озимой пшеницы в зависимости от элементов технологии возделывания в 2016 г., т/га

Вариант	Сорт			
	Зустріч	Арсенал	Ставка	Стать
Предшественник/Фон				
Озимая пшеница/ контроль	3,9	3,3	3,5	3,4
Озимая пшеница/ удобренный	4,4	5,3	5,1	4,7
Пар/контроль	4,7	5,3	5,4	4,2
Пар/удобренный	6,5	7,1	7,6	5,7
НСР ₀₅	0,249			
Срок сева				
Ранний	4,5	5,3	5,0	4,7
Оптимальный	4,4	5,3	5,1	4,7
Поздний	4,3	4,9	5,4	4,6
НСР ₀₅	0,225			
Норма высева				
4 млн	4,5	5,7	4,6	4,8
5 млн	4,4	5,3	5,1	4,7
6 млн	4,4	5,3	4,9	3,9
НСР ₀₅	0,223			

Приложение 11 – Урожайность озимой пшеницы в зависимости от элементов технологии возделывания в 2017 г., т/га

Вариант	Сорт			
	Зустріч	Арсенал	Ставка	Стать
Предшественник/Фон				
Озимая пшеница/ контроль	3,3	3,6	3,3	3,1
Озимая пшеница/ удобренный	4,2	4,3	4,6	3,9
Пар/контроль	4,8	5,0	5,4	5,4
Пар/удобренный	6,1	5,8	6,8	7,1
НСР ₀₅	0,235			
Срок сева				
Ранний	4,0	4,1	3,7	3,6
Оптимальный	4,2	4,3	4,6	3,9
Поздний	3,3	3,8	3,6	3,8
НСР ₀₅	0,205			
Норма высева				
4 млн	4,1	4,3	4,9	3,5
5 млн	4,2	4,3	4,6	3,9
6 млн	4,1	4,1	4,3	4,0
НСР ₀₅	0,208			

Приложение 12 – Урожайность озимой пшеницы в зависимости от элементов технологии возделывания в 2018 г., т/га

Вариант	Сорт			
	Зустріч	Арсенал	Ставка	Стать
Предшественник/Фон				
Озимая пшеница/ контроль	2,9	3,1	2,8	2,9
Озимая пшеница/ удобренный	6,2	6,3	6,0	5,8
Пар/контроль	4,7	5,5	4,4	4,4
Пар/удобренный	8,0	8,4	8,2	8,1
НСР ₀₅	0,284			
Срок сева				
Ранний	4,7	6,4	5,6	6,1
Оптимальный	6,2	6,3	6,0	5,8
Поздний	4,8	6,1	5,6	5,4
НСР ₀₅	0,285			
Норма высева				
4 млн	5,4	7,0	6,1	5,8
5 млн	6,2	6,3	6,0	5,8
6 млн	5,4	6,5	6,2	6,6
НСР ₀₅	0,317			

Приложение 13 – Количество сырой клейковины в зависимости от элементов технологии возделывания в 2016 г., %

Вариант	Сорт			
	Зустріч	Арсенал	Ставка	Стать
Предшественник/Фон				
Озимая пшеница/ контроль	14,1	16,6	12,0	24,0
Озимая пшеница/ удобренный	22,6	22,0	21,4	28,0
Пар/контроль	17,6	21,6	18,0	23,4
Пар/удобренный	22,8	25,8	23,2	30,3
НСР ₀₅	1,029			
Срок сева				
Ранний	25,2	20,4	25,0	27,4
Оптимальный	22,6	22,0	21,4	28,0
Поздний	24,0	24,4	27,8	28,0
НСР ₀₅	1,267			
Норма высева				
4 млн	24,8	24,2	22,6	29,8
5 млн	22,6	22,0	21,4	28,0
6 млн	24,6	24,2	22,2	26,6
НСР ₀₅	1,163			

Приложение 14 – Количество сырой клейковины в зависимости от элементов
технологии возделывания в 2017 г., %

Вариант	Сорт			
	Зустріч	Арсенал	Ставка	Стать
Предшественник/Фон				
Озимая пшеница/ контроль	14,4	16,6	18,0	20,6
Озимая пшеница/ удобренный	20,0	22,0	20,0	24,0
Пар/контроль	10,0	21,6	19,8	22,6
Пар/удобренный	25,0	25,8	25,4	26,8
НСР ₀₅	0,992			
Срок сева				
Ранний	12,0	20,4	18,4	23,6
Оптимальный	20,0	22,0	20,0	24,0
Поздний	22,8	24,4	22,4	26,8
НСР ₀₅	0,972			
Норма высева				
4 млн	24,6	24,2	27,2	29,6
5 млн	20,0	22,0	20,0	24,0
6 млн	22,6	24,2	23,0	24,4
НСР ₀₅	1,167			

Приложение 15 – Количество сырой клейковины в зависимости от элементов
технологии возделывания в 2018 г., %

Вариант	Сорт			
	Зустріч	Арсенал	Ставка	Стать
Предшественник/Фон				
Озимая пшеница/ контроль	10,0	16,6	12,8	12,4
Озимая пшеница/ удобренный	18,0	14,0	17,4	18,0
Пар/контроль	15,0	12,8	18,8	23,2
Пар/удобренный	21,6	17,0	24,6	26,8
НСР ₀₅	0,907			
Срок сева				
Ранний	16,2	13,7	16,4	19,8
Оптимальный	18,0	14,0	17,4	18,0
Поздний	14,0	16,0	12,4	19,8
НСР ₀₅	0,758			
Норма высева				
4 млн	16,0	14,4	21,6	23,4
5 млн	18,0	14,0	17,4	18,0
6 млн	14,2	12,2	14,0	18,3
НСР ₀₅	0,910			

Приложение 16 – Результаты математической обработки урожайных данных озимой пшеницы за 2016 г. (программное обеспечение – AgStat)

Фактор А – предшественник, фактор В – уровень минерального питания, фактор С – сорт

Результаты анализа						
Источ.вариации	Сумма кв.	ст.свободы	Дисперсия	Fфакт	Fта6095.	Влияние %
Общее	60,67466736	47				100
Повторений	0,000109359	2				0,0001802
Вариантов	59,97126389	15	3,998084307	170,544144	2	98,840698
Случайное	0,703293145	30	0,023443105			1,1591216
	Ош.ср.=	0,08839892	Точ.опыта%=	1,81619108	Ош. разности=	0,1246425
	Кр.Стьюдента=	2	HCP=	0,24928495		
В опыте выявлены СУЩЕСТВЕННЫЕ различия вариантов!						
Результаты ТрехФакторного Дисперсионного Анализа						
Источ.вариации	Сумма кв.	ст.свободы	Дисперсия	Fфакт	Fта6095.	Влияние %
Фактор А	27,5	1,0	27,5	1172,5	4,1	45,3
Фактор В	20,4	1,0	20,4	869,2	4,1	33,6
Фактор С	5,6	3,0	1,9	79,6	2,9	9,2
Вз.д.АВ	0,8	1,0	0,8	34,9	4,1	1,3
Вз.д.АС	2,6	3,0	0,9	36,8	2,9	4,3
Вз.д.ВС	2,3	3,0	0,8	32,6	2,9	3,8
Вз.д.АВС	0,8	3,0	0,3	11,5	2,9	1,3

Фактор А – срок сева, фактор В – сорт

Результаты анализа						
Источ.вариации	Сумма кв.	ст.свободы	Дисперсия	Fфакт	Fта6095.	Влияние %
Общее	7,144861698	35				100
Повторений	0,164781466	2				2,30629349
Вариантов	6,600401878	11	0,600036561	34,7684212	2,299999952	92,3797073
Случайное	0,379677981	22	0,017258091			5,31400061
	Ош.ср.=	0,07584653	Точ.опыта%=	1,65445113	Ош. разности=	0,10694361
	Кр.Стьюдента=	2,09999999	HCP=	0,22458157		
В опыте выявлены СУЩЕСТВЕННЫЕ различия вариантов!						
Результаты ДвухФакторного Дисперсионного Анализа						
Источ.вариации	Сумма кв.	ст.свободы	Дисперсия	Fфакт	Fта6095.	Влияние %
Фактор А	0,068603516	2	0,034301758	1,98757541	3,400000095	0,96017975
Фактор В	5,837890625	3	1,945963502	112,756592	3	81,7075348
Взаимодействие АВ	0,693907738	6	0,115651287	6,70127916	2,599999905	9,71198273

Фактор А – норма высева, фактор В – сорт

Результаты анализа						
Источ.вариации	Сумма кв.	ст.свободы	Дисперсия	Fфакт	Fта6095.	Влияние %
Общее	4,175876141	35				100
Повторений	0,045624983	2				1,09258473
Вариантов	3,755481243	11	0,341407388	20,0415459	2,299999952	89,9327774
Случайное	0,374769628	22	0,017034983			8,97463512
	Ош.ср.=	0,07535468	Точ.опыта%=	1,66838753	Ош. разности=	0,1062501
	Кр.Стьюдента=	2,099999905	HCP=	0,2231252		
В опыте выявлены СУЩЕСТВЕННЫЕ различия вариантов!						
Результаты ДвухФакторного Дисперсионного Анализа						
Источ.вариации	Сумма кв.	ст.свободы	Дисперсия	Fфакт	Fта6095.	Влияние %
Фактор А	0,515197754	2	0,257598877	15,1217566	3,400000095	12,3374767
Фактор В	1,857320189	3	0,61910671	36,3432541	3	44,4773788
Взаимодействие АВ	1,3829633	6	0,230493888	13,5306206	2,599999905	33,1179199

Приложение 17 – Результаты математической обработки урожайных данных
озимой пшеницы за 2017 г.

Фактор А – предшественник, фактор В – уровень минерального питания, фактор С – сорт

Результаты анализа						
Источ.вариации	Сумма кв.	ст.свободы	Дисперсия	Fфакт	Fтаб095.	Влияние %
Общее	71,26383209	47				100
Повторений	0,005866252	2				0,00823174
Вариантов	70,63520813	15	4,709013939	226,848969	2	99,1179047
Случайное	0,622750998	30	0,020758366			0,87386686
	Ош.ср.=	0,08318327	Точ.опыта%=	1,7408185	Ош. разности=	0,1172884
	Кр.Стьюдента=	2	НСР=	0,23457681		
В опыте выявлены СУЩЕСТВЕННЫЕ различия вариантов!						
Результаты ТрехФакторного Дисперсионного Анализа						
Источ.вариации	Сумма кв.	ст.свободы	Дисперсия	Fфакт	Fтаб095.	Влияние %
Фактор А	50,0	1,0	50,0	2407,4	4,1	70,1
Фактор В	14,9	1,0	14,9	719,8	4,1	21,0
Фактор С	1,2	3,0	0,4	19,4	2,9	1,7
Вз.д.АВ	0,4	1,0	0,4	18,2	4,1	0,5
Вз.д.АС	3,0	3,0	1,0	47,7	2,9	4,2
Вз.д.ВС	0,7	3,0	0,2	11,5	2,9	1,0
Вз.д.АВС	0,5	3,0	0,2	7,2	2,9	0,6

Фактор А – срок сева, фактор В – сорт

Результаты анализа						
Источ.вариации	Сумма кв.	ст.свободы	Дисперсия	Fфакт	Fтаб095.	Влияние %
Общее	4,394855499	35				100
Повторений	0,125047877	2				2,84532404
Вариантов	3,953132391	11	0,359375685	24,9664898	2,299999952	89,9490891
Случайное	0,316675067	22	0,014394321			7,20558548
	Ош.ср.=	0,0692684	Точ.опыта%=	1,7742523	Ош. разности=	0,0976684
	Кр.Стьюдента=	2,0999999	НСР=	0,20510364		
В опыте выявлены СУЩЕСТВЕННЫЕ различия вариантов!						
Результаты ДвухФакторного Дисперсионного Анализа						
Источ.вариации	Сумма кв.	ст.свободы	Дисперсия	Fфакт	Fтаб095.	Влияние %
Фактор А	2,161376953	2	1,080688477	75,0774155	3,400000095	49,1797028
Фактор В	0,516818583	3	0,172272861	11,9681129	3	11,7596264
Взаимодействие	1,274936914	6	0,212489486	14,7620354	2,599999905	29,009758

Фактор А – норма высева, фактор В – сорт

Результаты анализа						
Источ.вариации	Сумма кв.	ст.свободы	Дисперсия	Fфакт	Fтаб095.	Влияние %
Общее	4,436931133	35				100
Повторений	0,004425822	2				0,09974962
Вариантов	4,105271339	11	0,373206496	25,0907	2,299999952	92,5250244
Случайное	0,327233851	22	0,014874266			7,37522984
	Ош.ср.=	0,0704137	Точ.опыта%=	1,68363	Ош. разности=	0,09928332
	Кр.Стьюдента=	2,0999999	НСР=	0,20849		
В опыте выявлены СУЩЕСТВЕННЫЕ различия вариантов!						
Результаты ДвухФакторного Дисперсионного Анализа						
Источ.вариации	Сумма кв.	ст.свободы	Дисперсия	Fфакт	Fтаб095.	Влияние %
Фактор А	0,054972332	2	0,027486166	1,8479	3,400000095	1,23897195
Фактор В	3,052476645	3	1,017492175	68,4062	3	68,7970276
Взаимодействие	0,997822344	6	0,166303724	11,1806	2,599999905	22,4890194

Приложение 18 – Результаты математической обработки урожайных данных
озимой пшеницы за 2018 г.

Фактор А – предшественник, фактор В – уровень минерального питания, фактор С – сорт

Результаты анализа						
Источ.вариации	Сумма кв.	ст.свободы	Дисперсия	Ффакт	Фта6095.	Влияние %
Общее	178,2534485	47				100
Повторений	0,025351109	2				0,01422195
Вариантов	177,3153992	15	11,8210268	388,555115	2	99,4737625
Случайное	0,912691116	30	0,030423038			0,5120188
	Ош.ср.=	0,1007026	Точ.опыта%=	1,83611012	Ош. разности=	0,14199066
	Кр.Стьюдента=	2	НСР=	0,28398132		
В опыте выявлены СУЩЕСТВЕННЫЕ различия вариантов!						
Результаты ТрехФакторного Дисперсионного Анализа						
Источ.вариации	Сумма кв.	ст.свободы	Дисперсия	Ффакт	Фта6095.	Влияние %
Фактор А	46,2	1,0	46,2	1518,9	4,1	25,9
Фактор В	127,9	1,0	127,9	4203,5	4,1	71,7
Фактор С	2,0	3,0	0,7	21,5	2,9	1,1
Вз.д.АВ	0,2	1,0	0,2	7,3	4,1	0,1
Вз.д.АС	0,3	3,0	0,1	3,3	2,9	0,2
Вз.д.ВС	0,3	3,0	0,1	3,6	2,9	0,2
Вз.д.АВС	0,4	3,0	0,1	4,5	2,9	0,2

Фактор А – срок сева, фактор В – сорт

Результаты анализа						
Источ.вариации	Сумма кв.	ст.свободы	Дисперсия	Ффакт	Фта6095.	Влияние %
Общее	10,99115944	35				100
Повторений	0,00187917	2				0,01709711
Вариантов	10,37713814	11	0,943376184	33,9043541	2,299999952	94,4134979
Случайное	0,612141907	22	0,027824633			5,56940269
	Ош.ср.=	0,0963062	Точ.опыта%=	1,67851007	Ош. разности=	0,13579169
	Кр.Стьюдента=	2,0999999	НСР=	0,28516254		
В опыте выявлены СУЩЕСТВЕННЫЕ различия вариантов!						
Результаты ДвухФакторного Дисперсионного Анализа						
Источ.вариации	Сумма кв.	ст.свободы	Дисперсия	Ффакт	Фта6095.	Влияние %
Фактор А	2,24214673	2	1,121073365	40,2906799	3,400000095	20,3995476
Фактор В	4,84807682	3	1,616025567	58,0789528	3	44,1088753
Взаимодействие АВ	3,286914587	6	0,547819078	19,6882763	2,599999905	29,905077

Фактор А – норма высева, фактор В – сорт

Результаты анализа						
Источ.вариации	Сумма кв.	ст.свободы	Дисперсия	Ффакт	Фта6095.	Влияние %
Общее	8,228855133	35				100
Повторений	0,006454808	2				0,07844114
Вариантов	7,468029976	11	0,678911805	19,7993736	2,299999952	90,7541809
Случайное	0,754370332	22	0,034289561			9,16737938
	Ош.ср.=	0,1069105	Точ.опыта%=	1,75107718	Ош. разности=	0,1507438
	Кр.Стьюдента=	2,0999999	НСР=	0,31656197		
В опыте выявлены СУЩЕСТВЕННЫЕ различия вариантов!						
Результаты ДвухФакторного Дисперсионного Анализа						
Источ.вариации	Сумма кв.	ст.свободы	Дисперсия	Ффакт	Фта6095.	Влияние %
Фактор А	0,120117188	2	0,060058594	1,75151241	3,400000095	1,45970714
Фактор В	4,028862953	3	1,342954278	39,1651039	3	48,9601898
Взаимодействие АВ	3,319049835	6	0,553174973	16,1324596	2,599999905	40,3342857