

На правах рукописи

**СТОРЧАК Ирина Геннадьевна**

**ПРОГНОЗ УРОЖАЙНОСТИ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЕГЕТАЦИОННОГО ИНДЕКСА  
NDVI ДЛЯ УСЛОВИЙ СТАВРОПОЛЬСКОГО КРАЯ**

06.01.01 – общее земледелие, растениеводство

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени

кандидата сельскохозяйственных наук

Ставрополь – 2016

Работа выполнена в ФГБНУ  
«Ставропольский научно-исследовательский институт сельского хозяйства» в  
2011–2014 гг.

**Научный руководитель:**

**Ерошенко Федор Владимирович**,  
заведующий отдела физиологии расте-  
ний ФГБНУ «Ставропольского научно-  
исследовательского института сельско-  
го хозяйства», доктор биологических  
наук

**Официальные оппоненты:**

**Загорулько Александр Васильевич**,  
профессор кафедры растениеводства  
ФГБОУ ВО «Кубанский государствен-  
ный аграрный университет имени  
И.Т.Трубилина», доктор сельскохозяй-  
ственных наук, профессор, заслужен-  
ный работник сельского хозяйства Ку-  
бани, Почётный работник высшего  
профессионального образования РФ

**Авдеенко Алексей Петрович**,  
заведующий кафедрой земледелия и  
технологии хранения растениеводче-  
ской продукции ФГБОУ ВО «Донской  
государственный аграрный универси-  
тет», доктор сельскохозяйственных  
наук, профессор

**Ведущая организация:**

**Федеральное государственное бюд-  
жетное научное учреждение «Агрофи-  
зический научно-исследовательский  
институт»**

Защита диссертации состоится 27 декабря в 10.00 часов на заседании дис-  
сертационного совета Д 220.062.03 при ФГБОУ ВО «Ставропольский государ-  
ственный аграрный университет» по адресу: 355017, г. Ставрополь, пер. Зоо-  
технический, 12, аудитория № 3, тел/факс (8652) 34-58-70.

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

Автореферат разослан « \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2016 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
кандидат с.-х. наук, доцент

Фаизова Вера Ивановна

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Использование данных дистанционного зондирования Земли из космоса в сельском хозяйстве в основном связано с решением таких задач как инвентаризация сельхозугодий, выделение участков эрозии, заболачивания, засоленности, опустынивания и др. В последние годы большой интерес приобретают исследования, которые проводятся в различных регионах России, стран СНГ и мира, позволяющие давать прогноз урожайности сельскохозяйственных культур. К сожалению, в Ставропольском крае такие работы практически не ведутся. Кроме того, не до конца разработаны общие подходы и методология оценки продуктивности растений по данным ДЗЗ. Поэтому необходимы исследования, раскрывающие специфику взаимосвязи урожайности сельскохозяйственных культур с данными дистанционного зондирования Земли в различных почвенно-климатических условиях, которые позволят повысить точность прогнозов.

Для оценки степени развития, состояния и продуктивности посевов обычно используют их NDVI. Наряду с площадью ассимиляционной поверхности и содержанием хлорофилла в растениях, вегетационный индекс является оптико-биологической характеристикой. В связи с этим, встает необходимость исследований по выявлению механизмов и закономерностей взаимосвязи этих показателей, что позволит с большей объективностью и достоверностью получать информацию о физиологическом состоянии и продукционном процессе сельскохозяйственных культур, используя данные дистанционного зондирования Земли из космоса.

**Цель исследований:** установить взаимосвязь между продуктивностью посевов озимой пшеницы и их вегетационным индексом NDVI в условиях Ставропольского края.

### **Задачи исследований:**

1. Изучить особенности фотосинтетической продуктивности производственных посевов озимой пшеницы в условиях Ставропольского края.
2. Установить связь между площадью ассимиляционной поверхности, содержанием хлорофилла и азота в растениях озимой пшеницы с вегетационным индексом NDVI их посевов.
3. Выявить возможность использования данных дистанционного зондирования Земли из космоса для оценки продуктивности озимой пшеницы в Ставропольском крае.

**Научная новизна результатов исследований.** Впервые установлена связь размеров площади ассимиляционной поверхности посева и количества хлорофилла в растениях озимой пшеницы с вегетационным индексом NDVI. Предложен новый показатель на основе данных дистанционного зондирования Земли, который отражает величину и продолжительность функционирования фотосинтетического аппарата посева и характеризуется высокой корреляционной связью с урожаем зерна. Установлена связь содержания азота в растениях озимой пшеницы с NDVI. Для условий Ставропольского края построены ре-

грессионные модели урожайности озимой пшеницы с использованием данных дистанционного зондирования Земли из космоса.

**На защиту выносятся следующие положения:**

1. Существует взаимосвязь между площадью ассимиляционной поверхности, содержанием хлорофилла и азота с вегетационным индексом NDVI посевов озимой пшеницы, выращенных в условиях Ставропольского края.
2. Для характеристики продукционного процесса посевов озимой пшеницы можно использовать показатель, отражающий размеры и продолжительность работы ассимиляционного аппарата растений, рассчитанный по данным дистанционного зондирования Земли.
3. Для Ставропольского края взаимосвязь между урожаем зерна озимой пшеницы и средним NDVI за весенне-летний период существенно повышается, если проводить расчеты по данным почвенно-климатических зон. Использование максимального NDVI не только повышает точность прогнозов продуктивности этой культуры, но и позволяет их составлять в более ранние сроки.

**Теоретическая и практическая значимость.** Разработанный показатель (вегетационный фотосинтетический потенциал), отражающий размер и продолжительность функционирования фотосинтетического аппарата может быть использован для оценки продукционного процесса посевов сельскохозяйственных культур. Установленные закономерности дают возможность использования NDVI как одного из оперативных и объективных показателей при проведении почвенно-растительной диагностики минерального питания растений озимой пшеницы. Результаты исследований позволяют на основе данных дистанционного зондирования Земли прогнозировать урожайность озимой пшеницы в таких территориально-административных единицах как район, почвенно-климатическая зона и Ставропольский край в целом.

**Апробация работы.** Основные результаты исследований доложены и получили положительную оценку на заседаниях Ученого совета Ставропольского НИИСХ, Региональной научно-практической конференции «Научное обеспечение агропромышленного комплекса Юга России» (Майкоп, 2013), Двенадцатой Всероссийской открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» Институт Космических Исследований РАН (Москва, 2014).

**Публикации результатов исследований.** По материалам диссертации опубликовано 13 научных работ. Из них 5 в изданиях, рекомендованных ВАК.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, 5 глав, выводов, предложений по практическому использованию результатов исследований, списка использованной литературы и приложений. Работа изложена на 160 страницах печатного текста, включает 25 таблиц и 37 рисунков. Список использованной литературы состоит из 146 источников, в том числе 34 на иностранном языке.

**Личное участие автора** состоит в разработке программы и методики исследований, определении их цели и задач, проведении полевых и лабораторных анализов, обработке и обобщении полученных данных, что позволило сформулировать выводы диссертационной работы и предложения по практическому использованию её результатов.

Работа проводилась в соответствии с планом НИР ФГБНУ Ставропольский НИИСХ в составе задания Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук, Приложение 11, раздел II, пункт 4.

## **СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

### **1. ОЗИМАЯ ПШЕНИЦА. ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РОСТА, РАЗВИТИЯ И ФОРМИРОВАНИЯ УРОЖАЯ (обзор литературы)**

Обзор литературных источников по теме диссертационной работы показал, что озимая пшеница является основной зерновой культурой Ставропольского края. Её продуктивность определяется с одной стороны генотипом, а с другой – условиями выращивания, влияние которых на продукционный процесс существенно и происходит в течение всего периода роста и развития растений.

Ведущая роль в формировании урожая растений принадлежит фотосинтезу. Посев озимой пшеницы – структурно организованная система. Она определяется его архитектурой и позволяет создавать определенный радиационный режим, а, следовательно, обладает своими оптико-биологическими свойствами, которые можно использовать для оценки состояния растений.

Формирование урожая и его качества сельскохозяйственных культур в значительной мере определяется обеспеченностью растений элементами минерального питания, в частности азотом. Анализ литературных данных позволяет сделать вывод, что необходимость контроля потребности озимой пшеницы в азотном питании на протяжении всего периода роста и развития – важная задача, решение которой позволяет своевременно принимать решения по корректировке технологии выращивания.

Один из перспективных путей решения проблемы повышения устойчивости зернового производства – это построение автоматизированных систем, позволяющих принимать решения на основе объективной информации, в том числе, полученной с помощью спутников. К сожалению, таких работ крайне мало, а в Ставропольском крае они практически отсутствуют. Поэтому необходимы исследования, позволяющие разработать новые и усовершенствовать существующие способы мониторинга состояния растений и оценки их продуктивности с использованием данных дистанционного зондирования Земли, для предоставления производству более эффективных рекомендаций по уходным мероприятиям за посевами сельскохозяйственных культур.

### **2. УСЛОВИЯ, ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Диссертационная работа выполнена в ФГБНУ Ставропольский НИИ сельского хозяйства в период с 2011 по 2014 годы. Объектами исследований были посевы озимой пшеницы различных административно-территориальных

единиц Ставропольского края – район, почвенно-климатическая зона, край в целом. Анализ по таким данным проводили за период 2003-2014гг. При изучении взаимосвязи данных дистанционного зондирования Земли с фотосинтетической продуктивностью растений в качестве объектов исследований были взяты поля производственных посевов озимой пшеницы СНИИСХ.

Почвы полей СНИИСХ представлены черноземом обыкновенным, среднемоощным, малогумусным, тяжелосуглинистым, с обеспеченностью азотом 0,22-0,23 %, фосфором – 23-27 мг/кг почвы, обменным калием – 140-470 мг/кг. Содержание гумуса в пахотном горизонте низкое и составляет величину 3,17-3,77%.

2011-2012 сельскохозяйственный год характеризовался ранним прекращением осенней и поздним возобновлением весенней вегетации при повышенном температурном режиме и недоборе осадков в весенне-летний период. Особенностью 2012-2013 сельскохозяйственного года было: сильная засуха в сентябре и октябре, которая в значительной степени компенсировалась благоприятными условиями ноября и декабря, раннее возобновление весенней вегетации и своевременное выпадение осадков в репродуктивный период. 2013-2014 сельскохозяйственный год отличался благоприятными условиями температурного и водного режимов во все периоды роста и развития озимой пшеницы.

В исследованиях использовали статистические данные Ставропольского края. Вегетационный индекс NDVI получали с помощью сервиса «ВЕГА» ИКИ РАН (<http://pro-vega.ru/>) Площадь листьев и стеблей определяли весовым методом; поверхность колоса – по методике и формуле В.А.Кумакова; содержание хлорофилла – по методу Я.И.Милаевой и Н.П.Примака. Показатели продукционных процессов рассчитывали общепринятыми методами по величине поверхности фотосинтезирующих органов, а также по содержанию хлорофилла в растении. Химический состав органов растений озимой пшеницы определяли по методике В.Т.Куркаева с соавторами. Учет урожая проводили биологическим методом. Математическая и статистическая обработка данных проводилась на персональном компьютере. Программное обеспечение – AgStat, Statistica 6.0, MicrosoftOffice 2007, MapInfo и ArcGis.

### **3. ФОТОСИНТЕТИЧЕСКАЯ ПРОДУКТИВНОСТЬ ПОСЕВОВ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ**

**3.1. Состояние посевов озимой пшеницы и вегетационный индекс NDVI как их оптико-биологическая характеристика.** Для мониторинга посевов в сельском хозяйстве чаще всего используют космические снимки, полученные со сканеров Landsat и MODIS. Первые обладают пространственным разрешением 15м с периодичностью получения данных 16 дней. У вторых пространственное разрешение составляет 250 метров, а временное – 1-2 дня. Проведенный нами анализ позволил сделать вывод о том, что при большом временном интервале между снимками существенно изменяются характеристики динамики NDVI озимой пшеницы. Поэтому для описания биологических объектов предпочтительно использовать данные с наименьшим временным интервалом. Мы проанализировали значения вегетационных индексов полей, а так

же уменьшенных по периметру на 100 и 200 метров их частей (механическое увеличение пространственного разрешения спутниковых данных до 150 и 50 метров). Для эксперимента были выбраны визуально однородные поля с площадями порядка 60 и 30 гектар. Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что точность данных дистанционного зондирования Земли для отдельных полей с пространственным разрешением 250 метров практически не меняется с её увеличением до 150 и 50 м.

Динамики NDVI, выбранных нами полей озимой пшеницы представляют собой пикообразные кривые, особенно явно это свойство проявлялось в 2014 году, менее – в 2013 и практически незаметным оно было в 2012г. Такие неравномерности динамики вегетационного индекса совпадают с изменениями температуры воздуха. Следовательно, оптико-биологические свойства посевов определяются физиологическим состоянием растений и зависят от температурного режима. Кроме того, на рост и развитие сельскохозяйственных культур оказывает влияние водный режим и вентилируемость посевов, их обеспеченность минеральным питанием, а так же фитосанитарная обстановка и т.д., что, с нашей точки зрения, отражается на величине вегетационного индекса NDVI.

В связи с этим, возникает необходимость рассмотрения механизмов взаимосвязи вегетационного индекса, как объективной характеристики оптических свойств посева, с формированием его урожая. Так как фотосинтез является наиболее существенной частью продукционного процесса, то изучение влияния размеров и продолжительности функционирования ассимиляционного аппарата на NDVI растений является важным и актуальным направлением исследований в области использования данных дистанционного зондирования Земли в биологии и сельском хозяйстве.

**3.2. Площадь ассимиляционной поверхности растений озимой пшеницы и NDVI их посевов.** В формировании урожая озимой пшеницы важную роль играет размер и продолжительность работы фотосинтетического аппарата. Из литературных данных известно, что существует зависимость между площадью листьев и урожайностью сельскохозяйственных культур. Большое значение в процессах ассимиляции растений озимой пшеницы принадлежит нелистовым органам, которое особенно велико в репродуктивный период. Нами был проведен анализ изменений в онтогенезе площади фотосинтезирующей поверхности производственных посевов озимой пшеницы полей ФГБНУ Ставропольский НИИСХ. (таблица 1). Исследования показали, что максимальное значение этот показатель принимает в колошение. В наших опытах и в 2013, и в 2014 году, наибольшую фотосинтезирующую площадь посева формировали на предшественнике пар, а наименьшую – горох и соя. В 2014 году максимальная величина ассимиляционной поверхности отмечалась на бобовом предшественнике (поле №6). В 2012 году наибольшие значения этого показателя наблюдались на предшественниках после озимых культур. Следовательно, размеры фотосинтетического аппарата зависят от комплекса факторов, влияющих на рост, развитие и физиологическое состояние растений.

Проведенный анализ полученных результатов позволил сделать вывод о том, что существует взаимосвязь между площадью ассимиляционной поверхности и вегетационным индексом NDVI посевов озимой пшеницы, которая оценивается коэффициентом корреляции равным 0,65 (в среднем за годы исследований). С улучшением условий выращивания  $R_{corr}$  снижается.

Таблица 1 – Площадь ассимиляционной поверхности посевов озимой пшеницы ( $m^2/m^2$ ) и коэффициенты корреляции с NDVI

Год	№ поля	Сорт, предшественник	Дата отбора				$R_{corr}$ г.	
			09.04	30.04	21.05	04.06		
2012	1	Ксения, озимый рапс	1,30	2,86	4,57	4,26	<b>0,90</b>	
	2	Скарбница, пар	0,87	2,06	5,53	4,88	<b>0,72</b>	
	3	Украинка одесская, оз.пш.	1,12	3,16	4,16	5,3	<b>0,97</b>	
	4	Селянка одесская, горох	1,33	2,87	5,37	4,95	<b>0,86</b>	
	5	Багира, пар	1,27	2,24	4,71	4,91	<b>0,75</b>	
	6	Березит, озимый рапс	1,29	2,99	5,56	5,8	<b>0,79</b>	
	7	Украинка одесская,мн.травы	1,29	1,68	4,35	3,96	<b>0,52</b>	
	<b>Среднее</b>			<b>1,21</b>	<b>2,25</b>	<b>4,89</b>	<b>4,87</b>	<b>0,79</b>
	<b><math>R_{corr}</math></b>			<b>0,21</b>	<b>-0,87</b>	<b>0,04</b>	<b>-0,03</b>	
2013	1	Полевик, горох	2,37	3,39	4,39	3,51	<b>0,84</b>	
	2	Казачий атаман, горох	0,95	1,41	2,16	1,60	<b>0,92</b>	
	3	Багира, пар	5,93	6,06	8,23	7,33	<b>0,80</b>	
	4	Одесская 200, соя	1,66	2,71	3,48	2,47	<b>0,95</b>	
	5	Одесская 200, пар	4,39	4,57	6,97	5,08	<b>0,79</b>	
	6	Зустріч, пар	5,86	6,17	7,78	4,93	<b>0,21</b>	
	7	Писанка, соя	1,92	1,98	2,32	2,06	<b>0,53</b>	
	8	Скарбница, пар	4,73	5,66	5,49	3,66	<b>0,42</b>	
<b>Среднее</b>			<b>3,48</b>	<b>4,00</b>	<b>5,10</b>	<b>3,83</b>	<b>0,68</b>	
<b><math>R_{corr}</math></b>			<b>0,43</b>	<b>0,22</b>	<b>0,08</b>	<b>0,25</b>		
2014	1	Писанка, озимый рапс	1,41	3,28	6,80	5,73	<b>0,66</b>	
	2	Скарбница, пар	1,37	2,48	8,29	6,39	<b>0,73</b>	
	3	Одесская 200, горох	1,42	3,73	6,72	6,71	<b>0,73</b>	
	4	Одесская 200, горох	1,50	3,50	7,51	7,23	<b>0,56</b>	
	5	Одесская 200, горох	1,42	2,69	6,43	6,22	<b>0,27</b>	
	6	Одесская 200, горох	1,44	4,09	8,80	8,80	<b>0,30</b>	
	7	Одесская 200, мн. травы	1,40	1,99	6,31	4,64	<b>0,43</b>	
	8	Пилипенко, горох	0,80	1,39	3,37	3,20	<b>0,39</b>	
	9	Скарбница, пар	1,43	3,15	7,78	7,41	<b>0,63</b>	
	10	Скарбница, пар	0,77	1,24	5,48	4,88	<b>0,48</b>	
<b>Среднее</b>			<b>1,30</b>	<b>2,76</b>	<b>6,75</b>	<b>6,12</b>	<b>0,54</b>	
<b><math>R_{corr}</math></b>			<b>0,75</b>	<b>0,61</b>	<b>0,58</b>	<b>0,44</b>		
<b>Среднее за годы исследований</b>								
<b><math>R_{corr}</math></b>			<b>0,46</b>	<b>-0,01</b>	<b>0,23</b>	<b>0,22</b>	<b>0,65</b>	

Анализ связи вегетационного индекса посева с размерами его фотосинтетической поверхности на различных этапах роста и развития растений озимой



пшеницы показал, что при возобновлении весенней вегетации коэффициент корреляции между этими показателями в среднем за годы исследований составляет величину 0,59, а в фазу трубкования – 0,42. Дальнейшее развитие посевов озимой пшеницы сопровождалось снижением этого показателя: в колошение и в налив зерна коэффициент корреляции между площадью ассимиляционной поверхности и NDVI равен 0,33 и 0,35 соответственно.

Полученные данные объясняются тем, что на ранних этапах органогенеза озимой пшеницы сортовые и технологические особенности практически не влияют на физиологическое состояние посевов, а, следовательно, на их оптико-биологические свойства. Дальнейший рост и развитие растений сопровождается нарастанием проявлений таких особенностей (высота посева, его густота и биомасса, ориентация листьев, разновидность колоса (*lutescens*, *erythrospertum*) и другие).

При характеристике размеров фотосинтетического аппарата часто используют такой показатель как листовой индекс (ЛИ) – площадь листового аппарата 1 м<sup>2</sup> посева. Проведенные исследования позволили сделать вывод о том, что связь между NDVI и листовым индексом крайне нестабильна и сильно зависит от погодных условий. В благоприятном по водному и температурному режиму условиях (2014г.) она была довольно высока, коэффициент корреляции составил 0,72, а в стрессовом (2013г.), когда наблюдается дефицит осадков и высокие температуры в период вегетации – полностью отсутствовала, коэффициент корреляции был равен -0,54.

**3.3. Содержание хлорофилла в растениях озимой пшеницы и NDVI их посевов.** Считается, что содержание хлорофилла и фотосинтетические показатели, рассчитанные по их количеству в органах растений наиболее точно характеризуют продукционный процесс сельскохозяйственных культур. Нами была изучена динамика относительного содержания хлорофилла в растениях озимой пшеницы, выращенных в условиях производства на полях СНИИСХ (таблица 2). Этот показатель в среднем за 2014 год составил величины 4,84, 1,59, 2,67 и 1,24 мг/г в фазы весеннее кущение, трубкование, колошение и налив зерна, что в среднем за вегетацию на 15,6% больше, чем в 2013 году. В среднем за 2012 год содержание хлорофилла на IV, VI, VIII и X этапах органогенеза было равно 4,28, 1,52, 1,53 и 0,66 соответственно. Полученные результаты свидетельствуют о том, что большое влияние на синтез зеленых пигментов в растениях озимой пшеницы оказывают условия выращивания.

Существует несколько показателей, связанных с хлорофиллом, характеризующих фотосинтетический аппарат растений: относительное содержание зеленых пигментов в единице биомассы – мг/г, в единице площади ассимиляционной поверхности – мг/дм<sup>2</sup>, а так же валовое их количество на 1 квадратном метре посева – г/м<sup>2</sup>. Нами был проведен анализ корреляционной связи между этими показателями и NDVI посевов озимой пшеницы, выращенных в производственных условиях, который показал, что такая связь наблюдается только в случае с количеством зеленых пигментов в единице сухого вещества растений.

Таблица 2 – Содержание хлорофилла (a+b) в растениях озимой пшеницы (мг/г) и коэффициенты корреляции с NDVI

Год	№ поля	Сорт, предшественник	Дата отбора				R <sub>corr.</sub>	
			09.04	30.04	21.05	04.06		
2012	1	Ксения, озимый рапс	4,55	2,16	1,23	0,68	-0,86	
	2	Скарбница, пар	3,73	1,43	1,44	0,61	-0,92	
	3	Украинка одесская, оз.пш.	3,45	1,13	1,66	0,33	-0,93	
	4	Селянка одесская, горох	4,95	1,02	1,54	0,78	-0,85	
	5	Багира, пар	4,98	2,19	1,79	1,00	-0,84	
	6	Березит, озимый рапс	4,82	1,61	1,98	0,89	-0,96	
	7	Украинка одесская, мн.травы	3,45	1,10	1,05	0,34	-0,73	
	<b>Среднее</b>			<b>4,28</b>	<b>1,52</b>	<b>1,53</b>	<b>0,66</b>	<b>-0,87</b>
	<b>R<sub>corr.</sub></b>			<b>0,47</b>	<b>0,22</b>	<b>0,58</b>	<b>-0,73</b>	
2013	1	Полевик, горох	4,57	3,16	1,30	0,88	-0,93	
	2	Казачий атаман, горох	3,91	2,12	0,85	0,78	-0,91	
	3	Багира, пар	4,86	2,27	1,64	0,32	-0,52	
	4	Одесская 200, соя	5,26	2,62	2,35	0,64	-0,52	
	5	Одесская 200, пар	4,81	2,36	1,51	1,13	-0,90	
	6	Зустрич, пар	5,01	2,17	1,84	0,83	-0,96	
	7	Писанка, соя	3,58	1,63	0,99	0,26	-0,91	
	8	Скарбница, пар	4,79	1,84	1,21	0,41	-0,07	
<b>Среднее</b>			<b>3,72</b>	<b>4,60</b>	<b>2,27</b>	<b>1,46</b>	<b>-0,72</b>	
<b>R<sub>corr.</sub></b>			<b>0,14</b>	<b>-0,46</b>	<b>0,14</b>	<b>-0,03</b>		
1		Писанка, озимый рапс	5,61	2,97	1,86	1,65	-0,78	
2		Скарбница, пар	4,92	3,67	1,85	1,75	-0,50	
3		Одесская 200, горох	3,93	2,74	1,59	1,26	-0,82	
4		Одесская 200, горох	4,35	3,11	1,07	1,09	-0,88	
5		Одесская 200, горох	5,55	3,18	2,27	1,22	-0,65	
6		Одесская 200, горох	5,03	3,05	1,53	1,10	-0,74	
7		Одесская 200, мн. травы	5,40	2,01	1,33	1,33	-0,94	
8		Пилипенко, горох	3,58	1,22	1,48	0,48	-0,74	
9		Скарбница, пар	5,31	2,57	1,50	1,42	-0,92	
10		Скарбница, пар	4,76	2,15	1,43	1,05	-0,90	
<b>Среднее</b>			<b>4,84</b>	<b>1,59</b>	<b>2,67</b>	<b>1,24</b>	<b>-0,79</b>	
<b>R<sub>corr.</sub></b>			<b>0,47</b>	<b>0,10</b>	<b>0,49</b>	<b>0,83</b>		
<b>Среднее за годы исследований</b>								
<b>R<sub>corr.</sub></b>			<b>0,36</b>	<b>-0,13</b>	<b>0,21</b>	<b>0,03</b>	<b>-0,79</b>	

Коэффициенты корреляции между вегетационными индексами и относительным содержанием хлорофилла в мг/г в среднем по всем изученным полям составили -0,87, -0,72 и -0,79 в 2012, 2013 и 2014 годах соответственно. Это говорит о достаточно высокой степени сопряжения NDVI с количеством фотосинтетических пигментов в органах растений озимой пшеницы.

Отрицательные значения полученных нами коэффициентов корреляции объясняются тем, что максимальная концентрация хлорофилла в растениях озимой пшеницы отмечается в начальные периоды роста и развития, а далее наблюдается так называемое «ростовое разбавление», которое сопровождается уменьшением количества зеленых пигментов в единице биомассы, при этом NDVI посевов возрастает.

Анализ коэффициентов корреляции между хлорофилловыми показателями растений озимой пшеницы и вегетационными индексами их посевов по этапам органогенеза за годы исследования позволяет сделать вывод о том, что взаимосвязь между этими характеристиками если и проявляется, то в начальный период роста и развития, но в значительно меньшей степени, чем в случае с площадью ассимиляционной поверхностью и NDVI.

Таким образом, между относительным содержанием хлорофилла в единице биомассы растений озимой пшеницы и вегетационным индексом их посевов существует тесная и стабильная взаимосвязь, коэффициент корреляции составляет величину  $-0,79$ . С улучшением условий выращивания такая взаимосвязь снижается.

**3.4. Фотосинтетические потенциалы и продуктивность посевов озимой пшеницы.** Наиболее тесная взаимосвязь урожая сельскохозяйственных культур и показателями фотосинтетической продуктивности наблюдается в случае с хлорофилловым фотопотенциалом. Этот показатель отражает количество зеленых пигментов посева, которое рассчитывается как произведение относительного содержания хлорофилла в мг/г растения на биомассу, и время его функционирования. Так как в наших исследованиях между количеством хлорофилла в единице биомассы растений озимой пшеницы и NDVI их посевов была установлена тесная взаимосвязь, то по аналогии с хлорофилловым фотосинтетическим потенциалом мы рассчитали фотопотенциал с использованием вегетационного индекса. Но если NDVI умножить на массу, то размерность нового показателя будет содержать множитель  $г/м^2$ , что не вполне корректно. Поэтому нами предлагается использовать так называемый *коэффициент поверхностной плотности посева (coefficient of surface density of crops) –  $K_{sdc}$* , который рассчитывается как отношение биомассы посева к 5000. После анализа многолетних результатов исследований отдела физиологии растений ФГБНУ Ставропольский НИИСХ (отчеты НИР), где изучалась озимая пшеница с вариациями сортов, предшественников, минеральных удобрений, почвенного плодородия и влагообеспеченности, а так же почвенно-климатических зон выращивания, мы пришли к выводу, что эта культура не формирует посев биомассой, больше  $5000 г/м^2$ .

Новый показатель мы назвали **вегетационный фотосинтетический потенциал (ВФСП), или Vegetative Photosynthetic Potential (VPSP)**, который рассчитывается по формуле 1.

Таблица 3 – Урожайность, фотопотенциалы посевов озимой пшеницы и коэффициенты корреляции между ними

№ поля	Сорт	Предшественник	Урожай зерна, ц/га	ПФСП, (м <sup>2</sup> /м <sup>2</sup> )·сутки	ХФСП, (г/м <sup>2</sup> )·сутки	ВФСП, NDVI·сутки
<b>2012 год</b>						
1	Ксения	оз. рапс	29,41	2,14	28,97	8,87
2	Скарбница	пар	35,65	2,2	32,56	10,51
3	Украинка од.	оз.пшеница	35,47	2,21	31,32	10,34
4	Селянка од.	горох	37,02	2,39	45,52	10,01
5	Багира	пар	34,76	2,11	34,9	11,09
6	Березит	оз. рапс	39,14	2,54	51,32	11,58
7	Украинка од.	мн.травы	33,75	1,82	19,63	10,35
<b>Среднее</b>			<b>35,03</b>	<b>2,20</b>	<b>34,89</b>	<b>10,39</b>
<b>Коэффициент корреляции с урожаем зерна</b>				<b>0,64</b>	<b>0,72</b>	<b>0,81</b>
<b>2013 год</b>						
1	Полевик	горох	34,1	1,19	52,1	19,1
2	Казачий атаман	горох	25,1	0,86	19,5	8,6
3	Багира	пар	64,5	1,99	89,5	37,8
4	Одесская 200	соя	32,3	1,06	44,6	13,4
5	Одесская 200	пар	68,5	1,01	88,3	28,2
6	Зустріч	пар	49,1	1,13	90,0	32,0
7	Писанка	соя	28,4	0,40	20,9	10,2
8	Виктория од.	пар	53,0	1,53	65,3	28,5
<b>Среднее</b>			<b>43,6</b>	<b>1,15</b>	<b>58,8</b>	<b>22,3</b>
<b>Коэффициент корреляции с урожаем зерна</b>				<b>0,61</b>	<b>0,92</b>	<b>0,90</b>
<b>2014 год</b>						
1	Писанка	оз. рапс	48,8	2,87	68,8	17,7
2	Скарбница	пар	51,2	3,08	92,2	17,3
3	Одесская 200	горох	67,6	3,05	65,1	20,4
4	Одесская 200	горох	67,7	3,23	87,4	22,0
5	Одесская 200	горох	59,0	2,72	63,4	16,5
6	Одесская 200	горох	55,7	3,78	95,4	20,8
7	Одесская 200	мн.травы	39,2	2,38	47,5	15,5
8	Пилипенко	горох	36,0	1,42	16,5	6,6
9	Скарбница	пар	61,0	3,22	68,4	23,5
10	Украинка од.	оз.пшеница	50,1	2,00	41,3	14,4
<b>Среднее</b>			<b>53,6</b>	<b>2,77</b>	<b>64,6</b>	<b>17,5</b>
<b>Коэффициент корреляции с урожаем зерна</b>				<b>0,70</b>	<b>0,63</b>	<b>0,81</b>

НСР<sub>05</sub> для 2012г. – 2,6 ц/га, 2013г. – 2,7 ц/га, для 2014г. – 3,6 ц/га

$$VPSP = \sum_{i=1}^n \frac{(NDVI_i \cdot K_{sdc\ i} + NDVI_{i+1} \cdot K_{sdc\ i+1})}{2} \cdot (d_{i+1} - d_i), \quad (1)$$

где  $VPSP$  – вегетационный фотосинтетический потенциал;

$NDVI$  – вегетационный индекс NDVI посева;

$K_{sdc}$  – коэффициент поверхностной плотности посева;

$d$  – дата отбора;

$i$  – порядковый номер отбора.

Нами были рассчитаны поверхностные, хлорофилловые и вегетационные фотосинтетические потенциалы и проведен анализ их взаимосвязи с зерновой урожайностью (таблица 3).

Полученные результаты свидетельствуют о том, что в 2013 году сложилась классическая картина взаимосвязи поверхностного и хлорофиллового фотопотенциалов с урожайностью озимой пшеницы. Так если коэффициент корреляции зерновой продуктивности с ПФСП составлял величину 0,61, то с ХФСП – 0,92.

Следует отметить, что коэффициент корреляции между урожайностью озимой пшеницы и предложенным нами вегетационным фотосинтетическим потенциалом в 2013 году был равен 0,90. В 2012 и 2014 годах этот показатель был значительно больше, чем рассчитанный с поверхностным и хлорофилловым фотопотенциалами и составил одинаковые величины – 0,81.

На основании данных за все годы исследований нами была построена регрессионная зависимость урожайности посевов озимой пшеницы от вегетационного фотопотенциала. Полученные результаты свидетельствуют о достаточно высокой степени достоверности такой модели, коэффициент аппроксимации равен 0,66.

Таким образом, предложенный нами новый показатель фотосинтетической продуктивности растений, который рассчитывается с использованием данных дистанционного зондирования Земли, с высокой степенью достоверности характеризует формирование урожая. Так в среднем за годы исследований коэффициент корреляции между зерновой продуктивностью и вегетационным фотосинтетическим потенциалом посевов озимой пшеницы равен 0,84, а коэффициент аппроксимации для регрессионной модели взаимосвязи этих показателей составил величину 0,66.

**3.5. Содержание азота в растениях озимой пшеницы и NDVI их посевов.** Содержание азота – важный показатель физиологического состояния посевов озимой пшеницы. Существует взаимосвязь между содержанием азота и хлорофилла в растениях сельскохозяйственных культур.

В наших опытах получены аналогичные результаты. Так коэффициент корреляции в среднем за годы исследований между этими показателями был на уровне 0,93. Поэтому мы проанализировали взаимосвязь содержания азота в растениях озимой пшеницы с NDVI их посевов (таблица 4). За годы исследований нами получены довольно высокие коэффициенты корреляции между этими показателями. Использование NDVI с учетом коэффициента поверхностной плотности посева позволяет существенно увеличить взаимосвязь содержания азота в растениях с вегетационным индексом.

Таблица 4 – Динамика относительного содержания азота в растениях озимой пшеницы (%) и коэффициенты корреляции с NDVI

№ поля	Дата отбора				R <sub>corr.</sub>	
	09.04	30.04	21.05	04.06	NDVI	NDVI с учетом $K_{sdc}$
<b>2012 год</b>						
1	3,95	2,38	1,75	0,96	-0,90	-0,91
2	3,78	2,24	1,67	0,86	-0,88	-0,95
3	4,01	2,59	1,83	0,98	-0,97	-0,99
4	3,58	2,79	1,76	1,12	-0,83	-0,87
5	3,67	2,16	1,89	0,93	-0,85	-0,85
6	4,16	2,45	1,97	1,45	-0,92	-0,95
7	3,76	2,24	1,85	1,15	-0,91	-0,93
<b>Среднее</b>	<b>3,84</b>	<b>2,41</b>	<b>1,79</b>	<b>1,06</b>	<b>-0,89</b>	<b>-0,92</b>
<b>2013 год</b>						
1	2,77	2,46	0,92	0,82	-0,83	-0,88
2	3,00	2,24	0,71	0,93	-0,84	-0,99
3	2,88	2,33	1,02	0,49	-0,80	-0,94
4	3,89	2,71	1,57	1,14	-0,73	-0,91
5	3,32	2,36	1,20	1,06	-0,98	-0,94
6	3,15	2,29	1,07	0,90	-0,86	-0,91
7	2,67	2,06	0,72	0,77	-0,74	-0,99
8	2,96	2,95	0,86	0,92	0,18	-0,47
<b>Среднее</b>	<b>3,08</b>	<b>2,42</b>	<b>1,01</b>	<b>0,88</b>	<b>-0,82</b>	<b>-0,93</b>
<b>2014 год</b>						
1	3,78	1,95	1,48	0,92	-0,72	-0,90
2	3,98	1,91	1,80	0,99	-0,74	-0,73
3	3,47	1,45	1,34	0,86	-0,92	-0,84
4	4,40	1,53	1,52	0,99	-0,91	-0,85
5	3,69	2,03	1,53	0,97	-0,57	-0,88
6	4,01	1,86	1,45	0,70	-0,59	-0,91
7	4,05	1,74	1,37	0,65	-0,81	-0,82
8	3,69	1,41	0,90	0,46	-0,76	-0,88
9	3,99	1,59	1,21	1,00	-0,93	-0,85
10	3,56	1,60	1,07	0,68	-0,85	-0,83
<b>Среднее</b>	<b>3,86</b>	<b>1,71</b>	<b>1,37</b>	<b>0,82</b>	<b>-0,82</b>	<b>-0,86</b>

Таким образом, существует тесная взаимосвязь между содержанием азота в растениях озимой пшеницы и NDVI их посевов, которая оценивается коэффициентом корреляции  $-0,84$ . При использовании вегетационного индекса, учитывающего коэффициент поверхностной плотности посева такая взаимосвязь усиливается.

#### **4. ОЦЕНКА ПРОДУКТИВНОСТИ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ В СТАВРОПОЛЬСКОМ КРАЕ ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА**

**4.1. Использование NDVI для оценки продуктивности озимой пшеницы в Ставропольском крае.** В Институте космических исследований РАН специфичность динамики NDVI озимых культур была использована для разработки метода, позволяющего выделять площади, занимаемые ими, и получать усредненные значения вегетационного индекса для каждого района и края в целом. Мы использовали эти данные для характеристики вегетации озимой пшеницы в Ставропольском крае. Такой подход, с нашей точки зрения, вполне допустим по следующим соображениям. На Ставрополье среди озимых культур пшеница занимает 92,5% площадей, ячмень – 5,8%, а рапс, тритикале и рожь – 1,7%. Так как 98,3% анализируемой территории – посевы близких по биологическим особенностям растения (пшеница и ячмень), а коэффициент корреляции между их урожайностями по всем районам за 10 летний период составляет величину равную 0,80, следовательно, данные сервиса «Вега» по озимым культурам могут быть использованы для характеристики хода вегетации озимой пшеницы в Ставропольском крае.

При анализе взаимосвязи продуктивности сельскохозяйственных культур и данных ДЗЗ часто используют средний за вегетацию NDVI. Нами была построена регрессионная зависимость урожая зерна озимой пшеницы Ставропольского края от этого показателя. Полученная модель характеризуется низким значением коэффициента аппроксимации. Это может быть связано с тем, что в анализ включен осенне-зимний период. Во-первых, из-за действия отрицательных температур часть листового аппарата отмирает, а во-вторых, на величину NDVI оказывает влияние не только неравномерность снежного покрова, но и оттепели. Нами установлено, что использование в анализе данных вегетационного индекса только за весенне-летний период существенно повышает коэффициент корреляции между урожаем зерна и NDVI с 0,64 до 0,76. В связи с этим, была построена регрессия с таким вегетационным индексом по всем районам Ставропольского края, которая характеризуется более высоким значением коэффициента аппроксимации (рисунок 1).

Нами были рассчитаны регрессионные зависимости урожая зерна озимой пшеницы от NDVI среднего за вегетативно-генеративный период для каждого района Ставропольского края. Анализ результатов дает основание полагать, что полученные уравнения с достаточно высокой степенью достоверности дают зависимость урожайности от вегетационного индекса.

Следует отметить, что коэффициенты и свободные члены в полученных регрессиях по районам изменяются в довольно широких пределах. Полученные

результаты, с нашей точки зрения, обусловлены влиянием почвенно-климатических условий на характер взаимосвязи продуктивности и данных дистанционного зондирования Земли. Такие выводы согласуются с литературными данными.

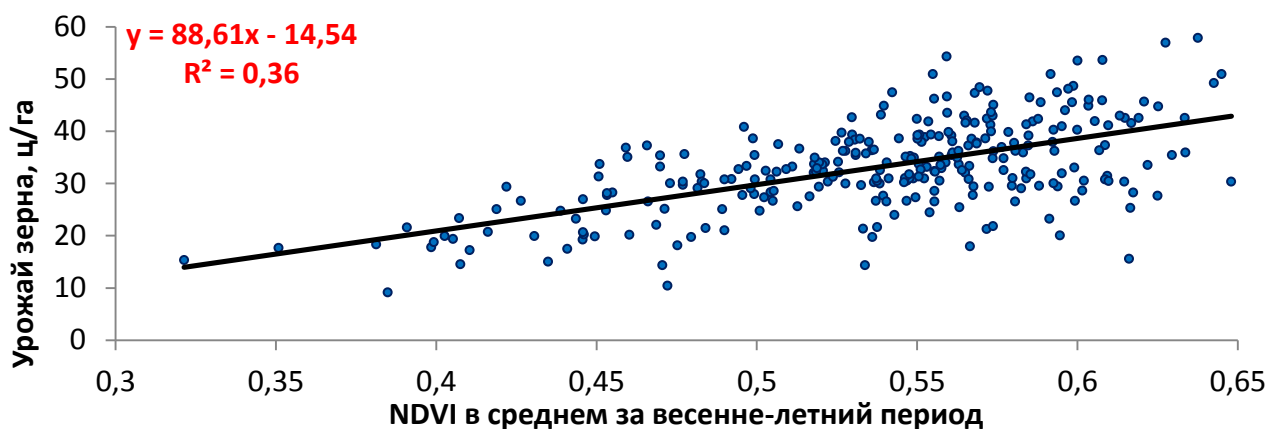


Рисунок 1 – Регрессионная модель зависимости урожая зерна озимой пшеницы от NDVI среднего за весенне-летний период (точки – все районы Ставропольского края с 2003 по 2014гг.)

Таким образом, для районов Ставропольского края существует тесная взаимосвязь между урожаем зерна озимой пшеницы и NDVI, которая оценивается средним коэффициентом корреляции равным 0,76. Большое влияние на такую взаимосвязь оказывают почвенно-климатические условия.

**4.2. Почвенно-климатические зоны Ставропольского края и регрессионные модели зависимости урожайности озимой пшеницы от NDVI.** В Ставропольском крае 4 почвенно-климатические зоны: крайне засушливая, засушливая, неустойчивого увлажнения и достаточного увлажнения. С учетом посевных площадей озимой пшеницы в каждом районе, нами были рассчитаны динамики значений NDVI по всем зонам края за период с 2003 по 2014гг.

Полученные результаты позволили сделать вывод о том, что онтогенетические изменения вегетационного индекса NDVI посевов озимой пшеницы каждой почвенно-климатической зоны специфичны и определяются условиями их выращивания. В связи с этим, нами были построены модели зависимости урожая зерна озимой пшеницы от NDVI среднего за вегетативно-генеративный период для каждой почвенно-климатической зоны Ставропольского края (рисунок 2). Полученные таким способом модели характеризуются хорошими показателями достоверности. Следует отметить, что корреляционная взаимосвязь урожайности озимой пшеницы с вегетационным индексом NDVI усиливается с улучшением условий выращивания. Это, возможно, связано с тем, что действие неблагоприятных факторов окружающей среды не позволяет в достаточной степени реализовать посевам потенциал продуктивности, связанный с сортовыми и технологическими особенностями в таких условиях.



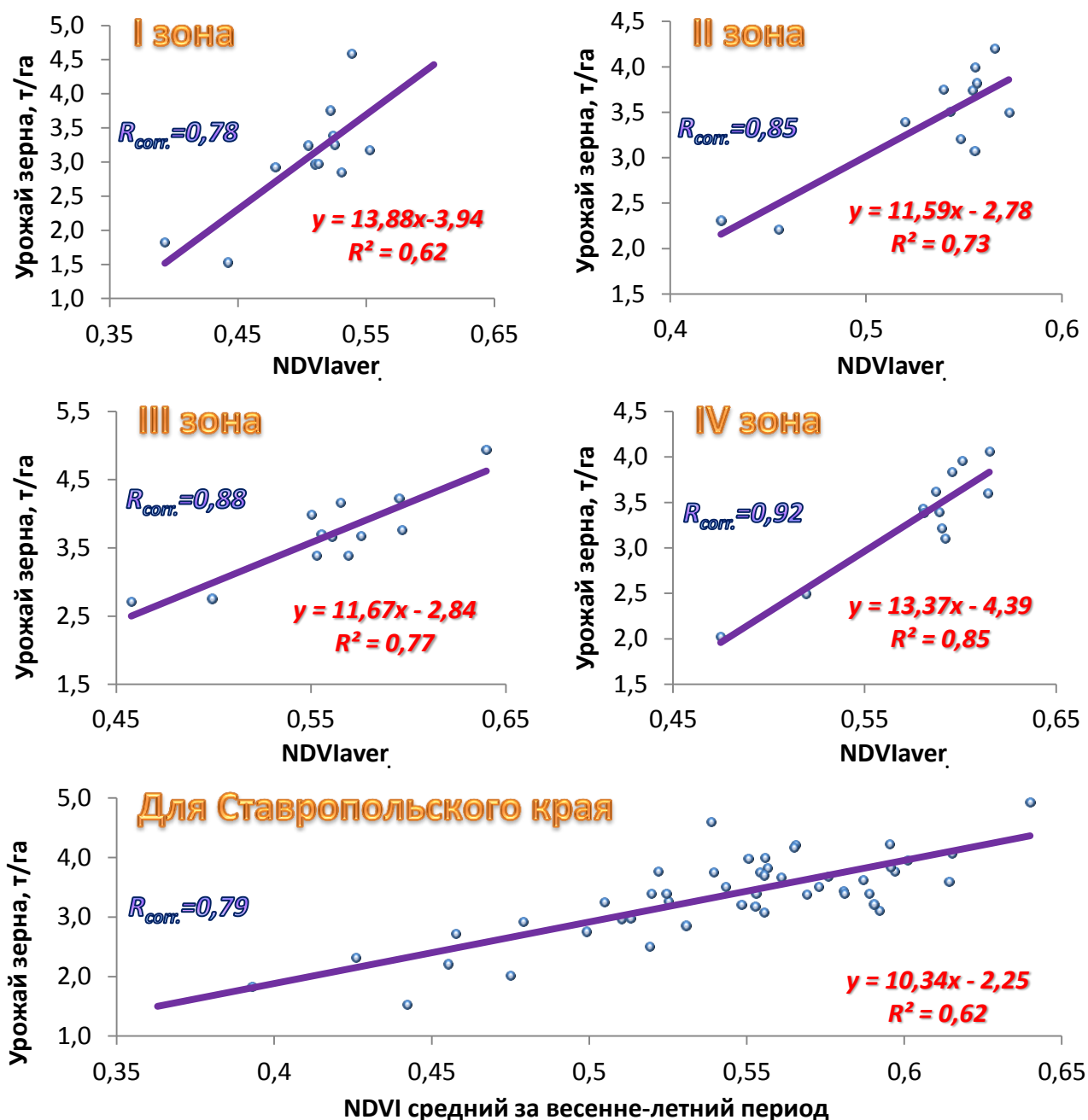


Рисунок 2 – Регрессионные модели зависимости урожая зерна от NDVI среднего за вегетативно-генеративный период по почвенно-климатическим зонам и для всего Ставропольского края (2003-2014гг.)

На основании полученных результатов, нами была построена регрессионная зависимость урожая зерна озимой пшеницы для всего Ставропольского края, рассчитанная по данным почвенно-климатических зон. Такая модель характеризуется значительно лучшей достоверностью, чем рассчитанная по NDVI посевов озимой пшеницы отдельных районов края.

**4.3. Использование различных характеристик динамики NDVI озимой пшеницы для оценки её продуктивности в Ставропольском крае.** Для характеристики онтогенетических изменений вегетационного индекса NDVI за время роста и развития растений можно использовать такие параметры как суммарный NDVI за период всходы – прекращение осенней вегетации ( $S_1$ );

суммарный NDVI за период возобновление весенней вегетации – колошение ( $S_2$ ); суммарный NDVI за период колошение – полная спелость ( $S_3$ ); максимальный NDVI за период возобновление весенней вегетации – полная спелость ( $NDVI_{max}$ ); средний NDVI за период возобновление весенней вегетации – полная спелость ( $NDVI_{aver.}$ ).

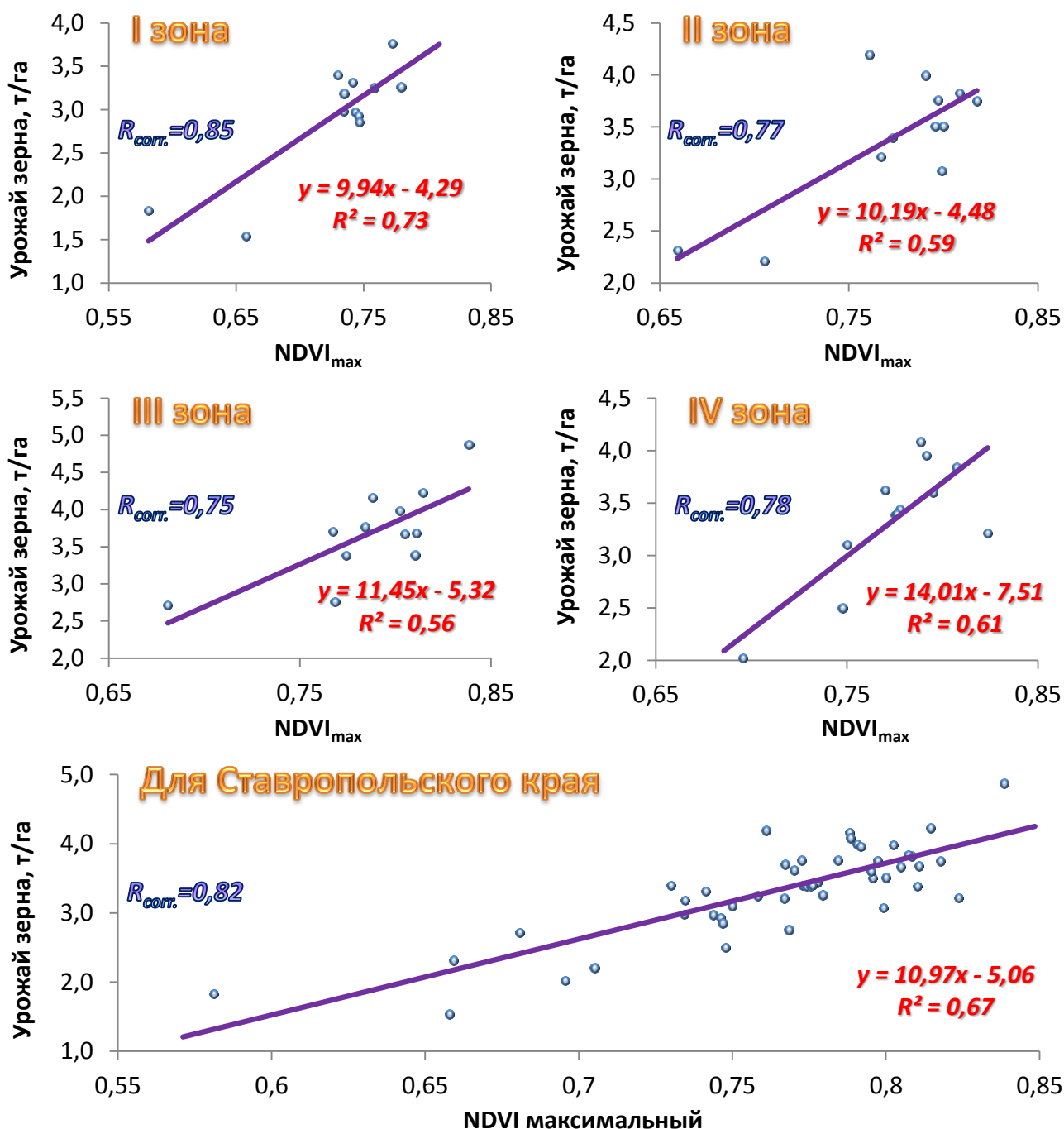


Рисунок 3 – Регрессионные модели зависимости урожая зерна от NDVI максимального за вегетативно-генеративный период по почвенно-климатическим зонам и для всего Ставропольского края (2003-2014гг.)

Нами были рассчитаны эти параметры для каждого района Ставропольского края за период с 2003 по 2014гг. и определены коэффициенты корреляции между ними и урожаем зерна озимой пшеницы. Анализ полученных данных показал, что наиболее тесная корреляционная связь наблюдается в случае с

максимальным значением NDVI в период от начала возобновления весенней вегетации до полной спелости ( $R_{\text{corr.}}=0,64$ ). Поэтому нами были построены регрессионные модели с использованием  $\text{NDVI}_{\text{max}}$  (рисунок 3).

Полученные результаты свидетельствуют о том, что для каждой почвенно-климатической зоны существует тесная взаимосвязь между урожаем зерна и максимальным значением NDVI озимой пшеницы. Коэффициенты аппроксимации у таких моделей составляют величины равные 0,73, 0,59, 0,56 и 0,61, а коэффициенты корреляции – 0,85, 0,77, 0,75 и 0,78 для I, II, III и IV почвенно-климатической зоны Ставропольского края соответственно.

Таким образом, для условий Ставропольского края связь урожайности озимой пшеницы с максимальным NDVI за весенне-летний период характеризуется более высокой степенью достоверности по сравнению со средним его значением, при этом появляется возможность более ранних прогнозов.

## **5. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОИЗВОДСТВА ЗЕРНА ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ**

Нами была рассчитана экономическая эффективность выращивания озимой пшеницы на производственных посевах Ставропольского НИИСХ. Исследования показали, что в среднем за годы исследований коэффициенты корреляции между поверхностным, хлорофилловым, вегетационным фотопотенциалами и рентабельностью составляют величины равные 0,67, 0,79 и 0,88, а с чистым доходом – 0,67, 0,78 и 0,87 соответственно. Следовательно, улучшение фотосинтетических характеристик посевов способствует повышению экономической эффективности производства зерна озимой пшеницы.

Данные ДЗЗ позволяют прогнозировать урожайность озимой пшеницы, что, несомненно, даёт положительный экономический эффект от оптимизации уборочных мероприятий и финансового планирования. Использование NDVI повышает качество диагностики минерального питания посевов озимой пшеницы и эффективность рекомендаций по дозам, срокам и формам азотных подкормок. Применение ранневесенних и поздних азотных подкормок позволяет повысить рентабельности производства зерна на 55,2 и 23,0%, и увеличить прибыль с 1 га на 33,5 и 25,7% соответственно, по сравнению с обычной технологией.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

1. Основные закономерности теории фотосинтетической продуктивности растений применимы к производственным посевам озимой пшеницы Ставропольского края. В среднем за годы исследований связь урожайности этой культуры с поверхностным и хлорофилловым фотосинтетическими потенциалами оценивается коэффициентами корреляции равными 0,65 и 0,76 соответственно.
2. Для озимой пшеницы характерна связь фотосинтетических потенциалов посевов с рентабельностью и чистым доходом. Улучшение фотосинтетических характеристик посевов способствует повышению экономической эффективности производства зерна озимой пшеницы.

3. Существует взаимосвязь между изменениями в онтогенезе размерами площади ассимиляционной поверхности и динамикой вегетационного индекса NDVI посевов озимой пшеницы (коэффициент корреляции в среднем за годы исследований составил 0,67). С улучшением условий выращивания  $R_{\text{corr}}$  снижается.
4. Наиболее тесная и стабильная взаимосвязь между хлорофилловыми показателями растений озимой пшеницы и вегетационным индексом их посевов наблюдается в случае с относительным содержанием зеленых пигментов в единице биомассы, коэффициент корреляции составляет величину -0,79. С улучшением условий выращивания такая взаимосвязь снижается.
5. Предложенный нами новый показатель фотосинтетической продуктивности растений, который рассчитывается на основе данных дистанционного зондирования Земли, с высокой степенью достоверности характеризует формирование урожая. В среднем за годы исследований коэффициент корреляции между зерновой продуктивностью и вегетационным фотосинтетическим потенциалом посевов озимой пшеницы был равен 0,84, а коэффициент аппроксимации для регрессионной модели взаимосвязи этих показателей составил величину 0,66.
6. Существует тесная взаимосвязь между содержанием азота в растениях озимой пшеницы и NDVI их посевов, которая оценивается коэффициентом корреляции равным -0,84. При использовании вегетационного индекса, учитывающего коэффициент поверхностной плотности посева, такая взаимосвязь усиливается.
7. Для Ставропольского края существует тесная взаимосвязь между урожаем зерна озимой пшеницы и вегетационным индексом NDVI, которая оценивается коэффициентом корреляции равным 0,76 (в среднем по всем районам). Большое влияние на такую взаимосвязь оказывают почвенно-климатические условия выращивания.
8. Точность регрессионной модели зависимости урожая зерна озимой пшеницы от вегетационного индекса NDVI для Ставропольского края повышается при использовании данных дистанционного зондирования Земли рассчитанных для почвенно-климатических зон ( $R_{\text{corr.}}=0,79$ ,  $R^2=0,62$ ).
9. Использование максимального значения вегетационного индекса ( $NDVI_{\text{max}}$ ) не только повышает точность прогноза урожайности озимой пшеницы для Ставропольского края ( $R_{\text{corr.}}=0,82$ ,  $R^2=0,67$ ), но и позволяет составлять его в более ранние сроки (в период колошения).

### **ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ПРАКТИЧЕСКОМУ ИСПОЛЬЗОВАНИЮ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ**

1. Для повышения объективности и оперативности оценки физиологического состояния посевов и контроля процесса формирования урожая растениями озимой пшеницы в производственных условиях необходимо использовать данные дистанционного зондирования Земли (вегетационный индекс NDVI). Перспективным в этом отношении является вегетационный фотосинтетический потенциал, который характеризует размер и про-

должительность функционирования ассимиляционного аппарата растений.

2. Для прогноза урожайности озимой пшеницы в Ставропольском крае необходимо использовать такие характеристики динамики вегетационного индекса NDVI как среднее или максимальное его значение за весенне-летний период. Максимальный NDVI является предпочтительней из-за более высокой точности прогноза и более раннего времени его составления (колошение).

## СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

### I. Статьи в рецензируемых журналах, рекомендуемых ВАК:

1. Ерошенко, А.А. Фотосинтетическая продуктивность посевов озимой пшеницы в условиях Северного Кавказа / А.А.Ерошенко, **И.Г.Чередниченко**, Ф.В.Ерошенко // Земледелие, №6, 2013. – С. 40-42.
2. Ерошенко Ф.В. Эффективность поздних некорневых азотных подкормок озимой пшеницы / Ф.В.Ерошенко, А.А.Ерошенко, **И.Г.Сторчак** // Достижения науки и техники АПК. – №8. – 2014. – С. 32-35.
3. **Сторчак И.Г.** Использование NDVI для оценки продуктивности озимой пшеницы в Ставропольском крае / И.Г.Сторчак, Ф.В. Ерошенко // Земледелие. №7. – 2014. – С. 12-15.
4. Ерошенко Ф.В. Площадь ассимиляционной поверхности и NDVI посевов озимой пшеницы / Ф.В.Ерошенко, **И.Г.Сторчак**, Е.О.Шестакова // Земледелие. №7. – 2015. – С. 37-39.
5. Ерошенко Ф.В. Возможности дистанционной оценки урожайности озимой пшеницы на основе вегетационного индекса фотосинтетического потенциала / Ф.В.Ерошенко, С.А. Барталев, **И.Г.Сторчак**, Д.Е. Плотников // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса 2016г. – Т.13. - №4. – С. 99-112. (**Scopus, Web of Science**).

### II. Публикации в других изданиях:

6. Ф.В.Ерошенко Особенности продукционного процесса озимой пшеницы в различных почвенно-климатических зонах юга России / Ф.В.Ерошенко, А.А.Ерошенко, **И.Г.Чередниченко** // Бюллетень СНИИСХ - №5. 2013. – С.47-58
7. Ерошенко Ф.В. Регрессионные модели оценки урожайности озимой пшеницы в Ставропольском крае с использованием NDVI / Ерошенко Ф.В., **Чередниченко И.Г.** // Бюллетень СНИИСХ - №5. 2013. – С.58-64
8. Ерошенко, А.А. Особенности формирования урожая и качества зерна озимой пшеницы в различных зонах Северного Кавказа / А.А.Ерошенко, **И.Г.Чередниченко**, Ф.В.Ерошенко // Сборник докладов Региональной научно-практической конференции «Научное обеспечение агропромышленного комплекса Юга России» 22 мая 2013 года. I часть. – Майкоп: изд-во «Магарин О.Г.», 2013. – С. 62-67.
9. Ерошенко Ф.В. NDVI и оптико-биологические свойства посевов озимой пшеницы / Ф.В.Ерошенко, **И.Г.Сторчак** // Двенадцатая Всероссийская открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирова-

- ния Земли из космоса» Институт Космических Исследований РАН, Москва 10-14 ноября 2014г. – С. 357.
10. Ерошенко Ф.В Влияние элементов технологии возделывания озимой пшеницы на NDVI её посевов / Ф.В.Ерошенко, **И.Г.Сторчак** // Двенадцатая Всероссийская открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» Институт Космических Исследований РАН, Москва 10-14 ноября 2014г. – С. 356.
  11. **Сторчак И.Г.** Оценка урожайности озимой пшеницы в Ставропольском крае с использованием NDVI / И.Г.Сторчак, Ф.В.Ерошенко // Двенадцатая Всероссийская открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» Институт Космических Исследований РАН, Москва 10-14 ноября 2014г. – С. 387.
  12. **Сторчак И.Г.** Использование NDVI в регрессионных моделях оценки урожайности озимой пшеницы в Ставропольском крае / И.Г.Сторчак, Ф.В.Ерошенко // *Stredoevropsky Vestnik pro Vedu a Vyzkum*. 2015. Т. 62. – С.6.
  13. Ерошенко Ф.В. Состояние посевов озимой пшеницы и NDVI как их оптико-биологическая характеристика / Ф.В.Ерошенко, **И.Г.Сторчак**, Е.О.Шестакова // Бюллетень Ставропольского научно-исследовательского института сельского хозяйства. №7. – 2015. – С. 102-110.

Подписано в печать 20.10.2016. Формат 60x84  $\frac{1}{16}$ .  
Гарнитура «Таймс». Бумага офсетная. Усл. печ.л.1,0.  
Тираж 120. Заказ №297.

Отпечатано в типографии издательско-полиграфического комплекса СтГАУ «АГРУС»,  
г. Ставрополь, ул. Пушкина, 15.