

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РФ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«БРЯНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

С.М. Пакшина, Г.П. Малявко, И.Н. Белоус, А.Е. Колыхалина

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ
ВОЗДЕЛЫВАНИЯ ОЗИМОЙ РЖИ
В БРЯНСКОЙ ОБЛАСТИ**

Монография

Брянская область,
2017

УДК 631.5:633.14 (470.333)

ББК 42.112

П 13

Пакшина С.М. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ ОЗИМОЙ РЖИ В БРЯНСКОЙ ОБЛАСТИ. / С.М. Пакшина, Г.П. Малявко, И.Н. Белоус, А.Е. Колыхалина. – Брянск: Издательство Брянского ГАУ, 2017. - 97 с.

ISBN 978-5-88517-285-1

В научном издании «Теоретические и практические аспекты возделывания озимой ржи в Брянском регионе» показано, что основным механизмом формирования урожайности является процесс транспирации, обусловленный радиационным балансом и фотосинтетически активной радиацией (ФАР).

Доказана линейная зависимость урожайности озимой ржи от транспирации, непрерывность которой прерывается при достатке элементов питания и почвенной влаги.

Установлено, что без внесения минеральных удобрений резко снижается биодоступность воды посевам озимой ржи даже при достатке почвенной влаги.

Обнаружена линейная зависимость между коэффициентом использования ФАР и относительной транспирацией посевов озимой ржи.

Рассмотрена взаимная связь между поглощением солнечной радиации, водным и питательными режимами почвы.

Расчеты оптимальной относительной транспирации и соответствующего ей максимального значения коэффициента использования ФАР позволяют использовать эти данные на производстве при расчете доз внесения минеральных удобрений.

Научное издание предназначено для научных сотрудников и преподавателей аграрных вузов.

Авторы: С.М. Пакшина – Введение, Заключение, главы 1-3, 5-9; Г.П. Малявко, И.Н. Белоус – главы 4, 10. Суточные значения радиации за период 2006-2014 г.г. рассчитаны А.Е. Колыхалиной.

Рецензенты: А.С. Кононов – д. с.-х. н., профессор Брянского государственного университета им. академика И.П. Петровского; О.А. Шиловцева – к.г.н., заведующая Метеорологической обсерваторией географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова.

Редактор: С.М. Пакшина, д-р биол. наук, проф.

Рекомендовано к изданию методической комиссией института экономики и агробизнеса, протокол №5 от 26.05.2017 года.

ISBN 978-5-88517-285-1

© Брянский ГАУ, 2017

© Пакшина С.М., 2017

© Малявко Г.П., 2017

© Белоус И.Н., 2017

© Колыхалина А.Е., 2017

Содержание

Введение.....	4
Перечень сокращений и условных обозначений	6
1. Почвенно-климатические и гидрологические условия возделывания озимой ржи	7
2. Физико-химические и агрохимические свойства почв стационарного опыта	12
3. Водный и питательный режимы почвы стационарного опыта.....	17
4. Биологические особенности роста и развития озимой ржи. Районированные сорта ржи.....	33
5. Фитоклиматические условия возделывания озимой ржи в 2006-2014 гг.....	43
6. Транспирация посевов озимой ржи	54
7. Зависимости количественных характеристик транспирации от фитоклиматических показателей.....	62
8. Эвапотранспирация посевов озимой ржи.....	67
9. Влияние транспирации на удельную активность радиоцезия в зерне озимой ржи.....	71
10. Фотосинтетические факторы продукционного процесса посевов озимой ржи.....	79
Заключение	89
Список литературы	94

**И засевай такую рожь,
Чтоб кровь играла в человеке!**
Н.И. Тряпкин

ВВЕДЕНИЕ

В работе Л. А. Разумовой (1972) была установлена линейная зависимость урожайности зерна яровой пшеницы и кукурузы от суммарных расходов влаги за период вегетации на полях с высокой агротехникой и глубоким стоянием грунтовых вод. При построении графика зависимости урожая зерна от водопотребления (эвапотранспирации) использовались данные, полученные на территориях, далеко расположенных друг от друга (Оренбургские степи, Поволжье, Северный Кавказ) [41].

Водопотребление культур включает в себя физическое испарение влаги из почвы под пологом растительного покрова и транспирацию. Физическое испарение влаги из почвы, изменяя водный режим, не принимает непосредственного участия в формировании урожая культур. Биосинтез органического вещества создается в процессе транспирации. Поэтому возникла настоятельная потребность в расчете транспирации посевов культур в течение вегетации.

Транспирация-сложное биофизическое явление, в котором участвуют процессы, протекающие как в растении, так и во всем растительном покрове. Известны три модели транспирации растением [4,5,36]. В модели, представленной в работе З. Н. Бихеле [4], транспирация рассматривается как физический процесс испарения, протекающий в эпидерме листа растения. В модели, представленной в работе А. И. Будаговского [5], транспирация рассматривается как процесс испарения с листовой поверхности растительного покрова, зависящий от условий в деятельном слое (слое, равном 2 м, от поверхности почвы).

В модели, представленной в работе Х. Пенман [36], транспирация рассматривается как процесс, зависящий от солнечной радиации и коэффициента использования фотосинтетически активной радиации (ФАР) растением для биосинтеза органического вещества. В модели принимается за аксиому факт, подтвержденный многочисленными полевыми опытами, что 40% радиационного баланса расходуется растением на транспирацию. Для учета различий между посевами разных культур или одной культуры, выращиваемой в разных условиях, вводится коэффициент использования ФАР.

Формула Х. Пенмана (1972) не нашла применения в исследованиях из-за отсутствия данных радиационного баланса и фотосинтетически активной радиации непосредственно на опытном поле.

В 2004 году по инициативе ректора БГАУ, профессора Н. М. Белоуса открыта метеостанция, на которой проводятся метеорологические и актинометрические наблюдения. Первым заведующим метеостанцией был (2004-2011 гг.) профессор кафедры агрохимии, почвоведения и экологии М. Е. Васильев, который приложил много сил для организации метеостанции. Станция расположена на границе с полевыми опытами. Используя данные метеостанции, были проведены расчеты количественных показателей транспирации за период 2006-2014 гг.

Результаты расчетов позволили сформулировать фитоклиматическую концепцию урожайности культур, согласно которой основным механизмом формирования урожайности является транспирация, возникающая под действием радиационного баланса и фотосинтетически активной радиации.

В соответствии с концепцией исследованы зависимости урожайности озимой ржи от транспирации, коэффициента использования ФАР от относительной транспирации, коэффициента транспирации от дозы вносимых удобрений.

В монографии большое внимание уделено климатическим и почвенным условиям региона исследования, биологическим особенностям озимой ржи.

Авторы надеются, что данная работа приведет к появлению новых исследований, направленных на раскрытие теоретического понятия урожайность и устойчивость сельскохозяйственных культур к стрессовым факторам среды.

Авторы выражают глубокую признательность В. П. Железной за подготовку рукописи к изданию.

ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ И СОКРАЩЕНИЙ

$\sum vH$ – сумма осадков за период вегетации;

$\sum vBc$ – сумма суточных значений радиационного баланса за период вегетации;

$\sum vQф$ – сумма суточных значений фотосинтетически активной радиации (ФАР) за период вегетации;

$\sum vBк$ – сумма суточных значений поглощенной радиации (положительной части радиационного баланса) за период вегетации;

$\sum vEc$ – эвапотранспирация за период вегетации;

$\sum vEo$ – испаряемость (испарение воды с увлажненной поверхности почвы в данных условиях) за период вегетации;

$KУ$ – коэффициент увлажнения ($\sum vH/\sum vEo$);

α – коэффициент влагообеспеченности ($\sum vEc/\sum vEo$);

$Kфар$ – коэффициент использования ФАР, %;

$\sum vEt$ – транспирационные потери влаги за период вегетации (суммарная транспирация), мм;

$Kт = \sum vEt/U$ – коэффициент транспирации;

$1/Kт$ – продуктивность транспирации;

$У$ – урожайность абсолютно - сухого зерна, т/га;

$\sum vEt/\sum vEo$ – относительная транспирация;

S' – прямая радиация;

D – рассеянная радиация;

$Qи$ – суммарная (интегральная) радиация;

Rk – отраженная радиация;

A – альбедо;

L – удельная теплота парообразования;

$Eэф$ – эффективное излучение;

Ea – излучение атмосферы;

$Eз$ – собственное излучение земной поверхности;

$Bк$ – радиационный баланс коротковолновой радиации;

$Bд$ – радиационный баланс длинноволновой радиации;

$Kф$ – коэффициент фильтрации;

$ВРК$ – влажность разрыва капиллярной связи;

$ППВ$ – предельная полевая влагоемкость;

$ВЗ$ – влажность завядания;

$Kэт$ – коэффициент эвапотранспирации;

$БГАУ$ – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Брянский государственный аграрный университет».

1 ПОЧВЕННО-КЛИМАТИЧЕСКИЕ И ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ ОЗИМОЙ РЖИ

Исследования проводили в Выгоничском районе Брянской области, на территории опытного поля Брянского государственного аграрного университета в 2006-2014 годы.

Климат Выгоничского района, как и всей Брянской области, умеренно-континентальный с достаточным увлажнением, теплым летом и умеренно холодной зимой.

По сумме активных температур воздуха выше 10°C ($\sum t > 10^{\circ}\text{C}$) Выгоничский район находится в северной части полосы культур средней спелости. Все основные выращиваемые культуры хорошо обеспечены теплом, лишь кукуруза не всегда высеивает до молочной спелости, не всегда полностью созревают томаты и поздние сорта люпина [40].

По данным Метеостанции БГАУ величина $\sum t > 10^{\circ}\text{C}$ в период вегетации озимых культур (апрель – 1 декада августа) составила в 2006, 2007, 2008, 2009 гг. соответственно: 1664; 1734; 1786; 1832 $^{\circ}\text{C}$ [21].

Была выполнена оценка теплообеспеченности серых лесных легкосуглинистых почв опытного поля БГАУ. Для этого рассчитывалась сумма активных температур ($>10^{\circ}\text{C}$) почвы на глубине 0,2 м, $^{\circ}\text{C}$.

Сумма активных температур почвы на глубине 0,2 м в 2008, 2009, 2010 гг. составила соответственно: 2548, 2865, 3126 $^{\circ}\text{C}$.

Согласно классификации Димо В.Н (1972) в 2009-2010 годы теплообеспеченность была хорошей, а в 2008 году – выше средней [9].

В таблице 1 представлены метеорологические условия опытных полей по данным Метеостанции БГАУ в гидрологические годы: 2005/06, 2006/07, 2007/08, 2008/09, 2009/10, 2010/11, 2011/12, 2012/13, 2013/14. Гидрологический год начинается с 1 октября и совпадает по времени с осенним периодом кущения озимой ржи.

Расчет испаряемости (Е) проводился по формуле:

$$E = 0,0018 (t + 25)^2 (100 - P), \text{ мм/месяц} \quad (1)$$

где t , P – среднемесячные значения температуры ($^{\circ}\text{C}$) и относительной влажности воздуха (%) [11].

В 2006/07, 2007/08, 2009/10, 2013/14 годы коэффициент увлажнения (КУ) изменялся в интервале значений 0,78-1,14, то - есть был приблизительно равен 1, что характерно для лесостепной зоны. Такие значения КУ характеризуют периодически промывной режим почв.

В 2005/06, 2008/09, 2010/11, 2011/12, 2012/13 годы значение КУ изменялось в интервале 1,45-1,90. Такие значения КУ имеют место в южной подзоне таежно-лесной зоны и характеризуют промывной тип водного режима почв.

Таблица 1 - Метеорологические условия в период проведения исследований по данным метеостанции БГАУ

Годы	Величина	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Сумма, мм		Среднее	КУ	
		осадки, мм	испаряемость, мм	t ⁰ , C	P, %	осадки, мм	испаряемость, мм	t ⁰ , C	P, %	осадки, мм	испаряемость, мм	осадки	испаряемость					
2006/2007	осадки, мм	61,8	32,5	20	58,9	57,6	30,3	25,2	42,7	48,5	69,4	100,9	71,4	619,2			0,98	
	испаряемость, мм	26,8	6,1	11,7	6,3	8,9	45	71	102,7	107,6	88,9	106,5	50,7	632,2				
	t ⁰ , C	7,6	1,0	0,9	-0,8	-9,7	4,9	6,4	16,2	18,7	19,1	20,4	12,8			7,5		
	P, %	86	95	90,3	58,9	57,6	72	60	66,4	68,7	74,6	71,3	80,3			73,4		
2007/2008	осадки, мм	68,5	74,6	25,2	40,1	40,7	55,2	70	54,8	55,5	60,3	60,3	34,9	640,1			1,05	
	испаряемость, мм	22,7	13,6	10,5	12,5	25,9	26,6	70,4	83,1	101,1	87,8	102,8	53,4	610,4				
	t ⁰ , C	5,8	0,9	-2,0	-5,7	-3,5	2,2	8,1	12,8	16,9	19,8	19,6	11,9			6,4		
	P, %	86,5	88,7	89	81,3	82,3	80	64,3	67,7	68	75,7	71,3	78,2			77,7		
2008/2009	осадки, мм	31,6	66,5	66,2	58	38,1	42,7	4,4	78,3	146	92,2	78,1	38,8	740,9			1,38	
	испаряемость, мм	27,2	11,7	7,2	7,1	8,1	17,4	90,1	90,2	72,3	74,1	76,6	52,8	534,8				
	t ⁰ , C	9,1	1,4	-2,7	-2,4	-4,1	-0,2	8,1	13,8	18,3	19,6	16,5	14,6			6,9		
	P, %	87	90,7	92	92,3	89,7	84,3	54,3	66,7	77,7	79,3	73,3	81,3			80,7		

Продолжение таблицы 1

Годы	Величина	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Сумма, мм		Средняя	КУ
														осадки	испаряемость		
2009/2010	осадки, мм	53,1	71,7	49,7	35,4	75,7	13,7	56,4	52,1	41,8	97,8	77,2	87,2	711,8	642,8		1,11
	испаряемость, мм	12,6	7,6	-	-	-	-	65,6	101,6	128,4	140,6	131,5	54,9				
	t ⁰ , C	6,6	3,2	-3,2	-13,9	-5,6	-1,7	8,9	17,2	20,8	24,4	23,0	13,1			7,7	
	P, %	93	94,7	92	89,3	91,3	77,3	68,3	68,3	78,3	66,0	68,0	79			79,9	
2010/2011	осадки, мм	33,4	40,0	128	56,6	29	10,7	27,4	61,5	78,3	70,0	120,2	71,4	664,1	397,4		1,67
	испаряемость, мм	30,0	-	-	-	-	-	52,7	92,7	81,2	66,7	49,1	25,6				
	t ⁰ , C	4,6	4,9	-6,1	-6,4	-10,6	-2,6	5,4	15,3	19,3	22,1	18,1	11,4			5,5	
	P, %	81	95	95	89,3	91	77,3	68,2	68,3	77	83,3	85,3	88,7			76,2	
2011/2012	осадки, мм	64,3	20	118,3	53,1	31,2	16,9	85,7	95,3	109,4	72,6	73,8	37,2	777,8	481,6		1,61
	испаряемость, мм	17,3	11,7	3,0	-	-	-	52,1	92,6	73,7	100,0	88,3	57,4				
	t ⁰ , C	6,0	0,5	0,3	-5,5	-11,4	-3,9	9,5	16,4	17,2	21,3	18,7	13,7			6,9	
	P, %	91	98,2	99	88	84,7	76,7	75,7	70,0	77	74	74,3	78,7			82,3	

Продолжение таблицы 1

Годы	Величина	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Сумма, мм		Средняя	КУ
														осадки	испаряемость		
2012/2013	осадки, мм	63,	56,4	28,4	50,3	34,9	70,4	30,8	70,9	68,7	82,6	51,6	160,1	740,1	394,1		1,90
	испаряемость, мм	21,2	8,5	-	-	-	-	62,0	78,8	81,6	56,0	72,2	13,8				
	t ⁰ , C	7,7	2,3	-0,4	-8,0	-3,6	-4,5	7,8	19,3	19,7	19,1	18,7	10,7			7,4	
	P, %	89	93,7	95	94,7	89,7	77,7	68	77,7	77,3	84	79	94			85	
2013/2014	осадки, мм	31,2	21,6	44,7	53,7	18,4	18,4	35,4	83,9	25,1	61,6	28,2	13,4	435,6	561,0		0,78
	испаряемость, мм	13,4	0,5	2,9	-	-	36,4	73,6	87,1	70,4	85,3	128,2	63,2				
	t ⁰ , C	7,2	6,7	0,4	-7,9	-2,4	3,4	8,2	16,8	16,5	21,0	23,8	16,6			9,2	
	P, %	92,8	99,7	97,5	96	89,9	74,9	64,9	72,3	77,3	73,6	70,1	79,7			76	
2005/2006	осадки, мм	69,2	70,5	81,5	16,3	43,6	51,7	37,1	65,5	58,7	52,2	139,4	54,4	740,1			1,54
	испаряемость, мм	48,6	34,5	-	-	-	-	50,2	88,7	97,5	77,7	45,2	39,4		481,8		
	t ⁰ , C	4,6	0,5	-2,4	-9,5	10,9	-3,7	6,4	12,8	18,0	18,7	17,8	13,2			5,46	
	P, %	81,3	89,5	87,9	78,2	82,9	80,7	71,7	63,3	70,7	77,4	86,3	85			79,6	

В годы с промывным типом водного режима среднегодовая температура воздуха, относительная влажность воздуха, суммарное количество осадков и суммарная испаряемость изменялись в интервалах значений: 5,5-7,4 °С; 75-85%; 664-778 мм; 397-512 мм.

В годы с периодически промывным водным режимом среднегодовая температура воздуха, относительная влажность воздуха, суммарное количество осадков, испаряемость изменялись в интервалах значений: 7,5-9,2 °С; 73-80%; 435-712 мм; 512-643 мм. В годы с периодически промывным водным режимом по сравнению с годами с промывным водным режимом почв характеризуются более высокой среднегодовой температурой воздуха, меньшей относительной влажностью воздуха, меньшей величиной осадков, но значительно большей испаряемостью.

Влагой все культуры обеспечены неплохо: зерновые на 85-100%, картофель на 70-80% от оптимального уровня. Но для зерновых после колошения в 10-30% лет запасы воды в почве недостаточны, а в 30-40% лет превышают оптимальный уровень, что способствует полеганию хлебов, развитию вредителей и болезней [40].

По данным наших исследований запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы в фазы выход в трубку – цветение составили в 2007, 2008, 2009 гг. соответственно: 55; 140; 100 мм. Известно, что максимальные урожаи зерновых культур создаются при запасе продуктивной влаги в метровом слое почвы, равном 100-125 мм, в фазы выход в трубку – цветение [9].

При снежном покрове выше 10 см температура почвы на глубине узла кущения почти никогда не поднимается до критических значений (-16...-18 °С) для сортов озимой пшеницы, (-22...-25 °С) для ржи [11]. Лишь при температуре воздуха ниже - 26 °С и снежном покрове менее 15 см озимые могут вымерзнуть, но такие условия бывают редко (5-10 лет). Повреждение озимых от вымокания незначительно [40].

По данным метеостанции БГАУ в годы исследования температура почвы на глубине узла кущения озимой ржи намного превышала критические значения, при которых начинается вымерзание культуры.

Суховеи имеют среднюю интенсивность. Интенсивные суховеи, приводящие к увяданию растений и захвату зерна, наблюдаются раз в 15-20 лет.

По данным Метеостанции БГАУ в 2006-2009 гг. относительная влажность воздуха в течение вегетации в среднем равнялась 59-77%.

Территория опытных полей Брянской ГАУ расположена на юго-восточном склоне возвышенного Деснинско-Судостского междуречья и в пойме реки Десны. Основной земельный массив представляет собой полого-волнистую равнину, заметно расчлененную овражно-балочной сетью.

Рельеф территории опытных полей БГАУ позволяет нарезать крупные поля севооборотов и высокопроизводительно использовать сельскохозяйственную технику. Западинность снижает производительность техники, и продуктивность отдельных полей.

Из материнских пород наибольшее распространение на территории опытных полей БГАУ получили лёссовидные суглинки. Лёссовидные суглин-

ки представляют собой однородную слабоуплотненную палево-бурую породу легкосуглинистого гранулометрического состава. Из механических фракций преобладает крупная пыль. Легкосуглинистым гранулометрическим составом обусловлено слабоуплотненное сложение, хорошая водопроницаемость, средняя влагоёмкость и ёмкость поглощения лёссовидных суглинков. Однако, эти породы очень податливы просадке и размыву.

Важнейшее химическое свойство лёссовидных суглинков, способствующее формированию плодородных почв серого лесного типа – слабощелочная реакция и богатство карбонатами кальция и магния, которые вымыты до глубины 120-200 см и более.

Грунтовые воды на водоразделах залегают на глубине 5-10 м и существенного влияния на почвы и растительность не оказывают. Водоупором для грунтовых вод почти на всей территории водоразделов служат плотные породы: опока, известковистый трепел, мергель.

Основным типом почв опытных полей БГАУ являются агросерые лесные почвы. Агросерые лесные почвы залегают крупными, почти сплошными массивами на водоразделах и пологих склонах в центральной и юго-восточной части землепользования.

Отрицательным свойством некоторых пахотных агросерых лесных почв является неравномерная мощность гумусового горизонта на разных элементах микрорельефа. При вспашке они подвергаются механической эрозии, на микроповышениях мощность гумусового горизонта намного уменьшена, пахотный слой часто имеет буроватый оттенок. Это приводит к неравномерному распределению питательных веществ и влаги, снижает общую продуктивность полей. В наибольшей степени водной эрозии подвержены почвы на лёссовидных суглинках, которые легко дают просадку, образуя микрозападины.

2 ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ И АГРОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВ СТАЦИОНАРНОГО ОПЫТА

Почва опытных участков представлена агросерой лесной легкосуглинистой на лёссовидном суглинке и имеет следующее строение профиля: $A_{\text{пах}}$ (0-20), A_1A_2 (20-40), A_2B_1 (40-50), B_1 (50-70), B_2 (70-90), C (>90 см) [10]. Горизонт A_1 имеет серый цвет, A_1A_2 – осветлен из-за наличия аморфного кремнезема, A_2B_1 включает белёсые пятна аморфного кремнезёма и имеет серо-бурую окраску. Горизонты B_1 и B_2 имеют бурую окраску. С глубины 90 см начинается материнская порода, лёссовидный суглинок, буровато-палевого цвета. Вскипание с глубины 180 см.

Поле, на котором заложен стационарный опыт, имеет хорошо выраженный микрорельеф или незначительные изменения поверхности, составляющие несколько десятков квадратных метров. Одной из причин микрорельефа являются просадочные явления в лёссовидных суглинках, которые обусловлены растворением и вымыванием карбонатов инфильтрующейся влагой. Просадочные явления приводят к образованию микрозападин. Кроме микро-

западин на территории опытного поля встречаются повышенные участки поверхности почвы (микрорытания).

Данные гранулометрического состава почвы на микрорытании и в микрозападине представлены в таблице 2. Почва от поверхности до материнской породы характеризуется как легкосуглинистая крупнопылеватая. Содержание физической глины (<0,01 мм) колеблется в интервале 21÷29%. В составе фракций преобладает крупная пыль (0,05-0,01 мм).

До глубины почвы, равной 50 см, не наблюдается изменений в содержании илистой фракции (<0,001мм), тогда как глубже имеет место постепенное повышение. С этой глубины увеличивается удельная поверхность почвы и уменьшается общая пористость.

Содержание илстых частиц в метровом слое почвы увеличивается в микрозападине (13,4%) и уменьшается на микрорытании (11%), средняя удельная поверхность почвы в метровом слое в микрозападине составила 44,9 м²/г, тогда как на микрорытании 39 м²/г.

Следовательно, в условиях периодически промывного и промывного режимов имеет место не только вынос илстых частиц из верхних горизонтов в нижние, но и поверхностный перенос частиц с микрорытаний в микрозападины.

Таблица 2 – Гранулометрический состав почвы (в % на абсолютно-сухую почву) и удельная поверхность ($S_{уд}$, м²/г) почвы опытного участка

Глубина взятия образца, см	Размер частиц, мм							$S_{уд}$, м ² /г
	1-0,25	0,25-0,05	0,05-0,01	0,01- 0,005	0,005- 0,001	<0,001	<0,01	
Микрозападина								
0-10	1,22	14,35	59,32	6,45	6,28	12,38	25,11	42,0
10-20	1,05	14,32	60,67	4,72	7,26	11,98	23,96	40,8
20-30	0,83	14,71	60,62	4,53	6,68	12,63	23,84	42,7
30-40	0,80	15,32	61,05	4,67	5,56	12,60	22,83	42,4
40-50	0,64	15,16	61,48	5,40	4,81	12,51	22,72	42,1
50-60	0,69	14,74	62,81	4,14	4,51	13,11	21,76	43,8
60-70	0,69	9,05	67,43	4,79	4,02	14,02	22,83	46,5
70-80	0,51	10,45	67,21	4,55	3,01	14,27	21,83	47,1
80-90	0,46	10,19	67,07	3,46	2,94	15,88	22,28	51,8
90-100	0,50	8,26	70,05	2,95	3,10	15,14	21,19	49,6
Ровная поверхность почвы								
10-20	1,16	7,51	66,68	5,79	8,96	9,9	24,65	35,09
20-30	1,11	7,15	66,64	4,59	8,47	12,04	25,1	41,29
30-40	0,9	7,87	65,27	5,18	7,64	13,14	25,96	44,45
40-50	1,72	7,85	65,54	4,56	7,5	13,83	25,89	46,45
50-60	0,6	9,8	61,51	7,36	8,55	12,18	28,09	41,84
60-70	0,66	10,25	59,73	6,58	9,46	13,32	29,36	45,37
70-80	0,68	10,17	61,33	3,63	9,55	14,64	27,82	49,03

Продолжение таблицы 2

Микрорытание

0-10	0,82	14,28	59,73	6,86	7,47	10,84	25,17	37,61
10-20	1,36	14,54	58,62	7,67	7,47	10,34	25,48	36,15
20-30	1,24	14,09	60,27	7,78	6,41	10,21	24,4	35,64
30-40	1,06	13,11	61,53	7,36	5,64	11,3	24,3	38,76
40-50	0,87	13,6	62,15	5,34	7,71	10,33	23,38	36,06
50-60	0,71	14,86	62,79	4,31	6,46	10,87	21,64	37,42
60-70	0,69	14,33	62,56	4,44	6,9	11,08	22,42	38,03
70-80	0,67	14,27	62,94	4,93	5,65	11,54	22,12	39,33
80-90	0,68	14,24	63,01	4,96	5,24	11,87	22,07	40,25
90-100	0,61	14,32	62,09	5,07	5,97	11,94	22,98	41,64
	песок крупный и сред- ний	песок мелкий	пыль крупная	пыль средняя	пыль мелкая	ил		

В таблице 3 представлены агрохимические показатели образцов почвы опытного поля, отобранных на разных формах микрорельефа.

Установлено, что содержание гумуса в профиле почвы зависит от формы микрорельефа. Наибольшее содержание гумуса в метровом слое почвы наблюдается в микрозападине (4,08%), наименьшее – на микроповышении (1,49%), площадки с ровной поверхностью имеют промежуточные значения (2,47%, 3,39%), содержание гумуса в слое почвы, равном 0-30 см, в микрозападине и на микроповышении составило соответственно 5,39% и 2,94%.

Следовательно, вместе с илистыми и коллоидными частицами со стоковыми и тальными водами с микроповышений в микрозападины переносятся гумусовые соединения.

Значения суммы поглощенных оснований (S) и гидролитической кислотности (Нг) изменяются как по профилю почвы, так и в пространстве в зависимости от формы микрорельефа. На ровных площадках имеет место более высокая степень насыщенности основаниями (95,4%; 94,3%), чем на микроповышении и в микрозападине (88,4% и 93,1%).

Гидролитическая кислотность в слое почвы, равном один метр, на микроповышении и в микрозападине составило соответственно 1,76 и 1,0 мг-экв/100 г.

Потоки дождевой и талой воды смывают илистые и коллоидные частицы с поверхности микроповышений, которые вмываются с нисходящими потоками влаги в глубь почвы на микрозападинах. В результате на небольшой площади, в пределах одного участка (950 м²) имеет место чередование агросерых лесных несмытых, смытых и намытых почв (в микрозападинах).

Примем за эталон вариационно-статистические показатели мощности гумусового слоя серых лесных почв Брянской области, приведенные в работе Г. Т. Воробьева [6]. Тогда, в соответствии с этими эталонами почвы опытного участка на микроповышении можно охарактеризовать как агросерые лесные маломощные, агросерые лесные среднемощные, агросерые лесные мощные почвы.

Таблица 3 – Агрохимические показатели лесной легкосуглинистой почвы на лёссовидных суглинках опытного поля. 1- микроповышение, 2 и 3-ровная поверхность, 4-микроразпадина. Нг – гидrolитическая кислотность, S – сумма поглощенных оснований, V – степень насыщенности основаниями

Глубина почвы, см	Гумус, %				рНКС1				рН Н ₂ O				Нг				S				V, %															
													мг-экв 100 г																							
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4												
0-10	3,39	4,93	3,99	5,71	4,34	4,20	4,20	4,35	5,29	5,20	5,13	5,45	2,4	1,0	2,7	0,7	14,6	14,2	16,6	15,4	86	93	86	96												
10-20	3,28	5,85	4,51	6,79	4,34	4,22	4,24	4,45	5,36	5,22	5,35	5,43	2,5	0,9	2,6	0,7	14,6	16,4	17,6	17,2	85	95	87	96												
20-30	2,16	4,93	4,62	5,71	4,40	4,18	4,25	4,41	5,40	5,26	5,20	5,34	2,5	0,9	0,9	1,0	15,2	15,2	15,8	16,2	86	94	95	94												
30-40	1,23	2,77	4,51	3,21	4,43	4,28	4,32	4,28	5,43	5,28	5,25	5,35	2,7	0,9	1,0	0,9	15,4	17,2	15,2	17,4	85	95	94	95												
40-50	1,03	1,85	4,31	2,14	4,47	4,43	4,38	4,45	5,45	5,36	5,33	5,41	2,0	1,0	1,0	0,7	14,0	19,6	16,2	19,0	88	95	94	96												
50-60	0,92	1,30	3,28	1,07	4,45	4,45	4,46	4,48	5,39	5,26	5,38	5,58	2,4	1,2	0,7	0,5	12,6	20,6	24,8	13,8	84	95	97	97												
60-70	0,80	0,92	2,77	1,07	4,36	4,49	4,55	4,50	5,38	5,32	5,36	5,59	0,7	1,2	1,0	1,6	10,8	18,4	25,0	12,2	94	94	96	88												
70-80	0,72	0,92	2,26	1,07	4,27	4,54	4,60	4,43	5,54	5,45	5,50	5,45	1,1	0,5	0,3	2,0	11,2	14,2	21,6	12,8	91	97	99	86												
80-90	0,72	0,62	1,95	0,7	4,26	4,54	4,59	4,38	5,68	5,61	5,67	5,65	0,7	0,2	0,3	1,0	12,0	11,8	15,2	10,6	94	98	98	91												
90-100	0,62	0,62	1,74	0,7	4,26	4,38	4,48	4,22	5,69	5,56	5,60	5,58	0,6	0,2	0,3	1,1	10,4	11,8	9,8	12,6	91	98	97	92												
Сред- нее (0-100)	1,49	2,47	3,39	2,82	4,36	4,37	4,41	4,39	5,46	5,35	5,38	5,48	1,16				15,4				89				95				94				93			
ЕКО – 16,6																																				

В почвах микрозападин горизонт A_2B_1 отсутствует. Эти почвы можно отнести к агроземам.

Для оценки интенсивности проявления водной эрозии на разных элементах микрорельефа было определено сопротивление (R) почвы пахотного слоя размыву в Ньютонах (R, H) и рассчитаны массы смываемой почвы за год (M , т/га).

Сопротивление почв размыву определялось на приборе Г. В. Бастрасова в лабораторных условиях [2]. Для расчета склонового смыва почвы использовали следующую формулу:

$$M=0,15/P_x 1,75, \quad (2)$$

где M – среднегодовой смыв почвы, т/га;

P_x – средняя эрозионная устойчивость склона, определяемая формулой:

$$P_x = P_i B / 10 G h_x, \quad (3)$$

где B – коэффициент, зависящий от крутизны поверхности;

G – коэффициент, зависящий от сопротивления размыву (R, H) и крутизны поверхности (α);

h_x – среднегодовой слой поверхностного стока, зависящий от климатического района и категории впитывания почв; значения величин P_i, B, G, h_x находили из таблиц, расчет среднегодового смыва проводили для α , равного 1,40 [2].

В таблице 4 представлены числовые значения R, H и физико-химические величины, от которых зависит сопротивление почв размыву.

Из приведенных в табл. 4 данных следует, что максимальным сопротивлением размыву обладает почва на ровной поверхности, что объясняется более высокой плотностью поверхностных зарядов почвы ($\sigma = EKO/S_{уд}$) [32].

Таблица 4 – Некоторые физико-химические свойства почв пахотного слоя на разных формах микрорельефа

Формы микрорельефа	Сумма поглощенных оснований, S , мг-экв/100 г	Удельная поверхность почвы, $S_{уд}$, м ² /г	Поверхностная плотность зарядов, σ , Кл/м ²	Сопротивление почв размыву, R, H^*	Среднегодовой смыв почвы, т/га
1. Микроповышение	14,6	41,5	0,41	15	0,80
2. Ровная поверхность	15,3	37,8	0,43	17	0,79
3. Ровная поверхность	17,1	35,1	0,52	19	0,77
4. Микрозападина	16,3	36,9	0,46	18	0,78

Примечание: * - сопротивление почв размыву определено Демиховым В.Т.

По интенсивности поверхностной водной эрозии среднегодовой смыв почвы на разных формах микрорельефа характеризуется как слабый (0,5-1,0 т/га в год) [7]. Но длительное, в течение многих лет разрушительное действие поверхностного стока вызвало существенные изменения в почвенном покрове опытных полей.

3 ВОДНЫЙ И ПИТАТЕЛЬНЫЙ РЕЖИМЫ ПОЧВЫ СТАЦИОНАРНОГО ОПЫТА

Озимая рожь особенно требовательна к достатку почвенной влаги в осенний и весенний периоды кушения, а также фазы выход в трубку, колошение.

В таблицах 5 и 6 представлены гидрометеорологические показатели в осенне-зимний и весенне-летний периоды исследований.

Таблица 5 – Гидрометеорологические показатели в осенне-зимний период (по данным метеостанции БГАУ)

Год	Осенняя вегетация				Период с $t < +5^{\circ}\text{C}$		
	всходы ÷ $t < +5^{\circ}\text{C}$				осадки, мм		
	$\sum H$	$\sum E_0$	KУ	$\sum H - \sum E_0$	жидкие	твердые	сумма
2005/06	6,1	63,4	0,1	-57,3	139,7	274	413,7
2006/07	75,4	69,0	1,1	+6,4	34,7	225	259,7
2007/08	62,1	39,7	1,6	+22,4	37,4	230	267,4
2008/09	63,2	70,8	0,9	-7,6	113,8	196	309,8
2009/10	137,2	60,2	2,3	+77,0	75,8	242	317,8
2010/11	138,0	59,2	2,3	+78,8	0	427	427,0
2011/12	89,2	25,9	3,4	+63,6	27,8	213	240,8
2012/13	121,5	46,0	2,6	+75,5	14,7	161	175,7
2013/14	116,4	26,8	4,3	+89,6	5,6	171	176,6

Примечание: $\sum H$ – сумма осадков, мм; $\sum E_0$ – суммарная испаряемость, мм; $\sum H - \sum E_0$ – дефицит почвенной влаги. Испаряемость рассчитана по формуле Н.Н. Иванова (1954).

Таблица 6 - Гидрометеорологические условия в период весенне-летней вегетации озимой ржи

Год	Весенне-летняя вегетация							
	$t > +5^{\circ}\text{C}$ ÷ восковая спелость							
	$\sum H$	$\sum E_0$	$\sum H - \sum E_0$	$\sum_{\text{в}} \text{Вс}$	$\sum_{\text{в}} \text{Qф}$	t, °C	L, $\frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$	KУ
2005/06	183,3	542,7	-359,4	1338,4	936,4	14,7	2,466	0,34
2006/07	152,2	496,8	-344,6	1227,6	779,1	14,7	2,466	0,30
2007/08	238,9	399	-160,1	984,0	602,5	14,9	2,466	0,60
2008/09	273,9	307,3	-33,4	756,4	541,0	14,9	2,466	0,89
2009/10	242,3	352,2	-109,9	864,3	563,4	21,0	2,450	0,69
2010/11	237,2	364,0	-126,8	898,6	547,6	16,6	2,468	0,65
2011/12	326,2	352,4	-26,2	869,7	565,5	16,8	2,468	0,92
2012/13	239,8	387,7	-147,9	952,8	652,1	17,9	2,458	0,62
2013/14	172,9	359,7	-186,8	884,6	550,8	15,3	2,466	0,48

Примечание: $\sum H$ – сумма осадков, мм; $\sum E_0$ – суммарная испаряемость, мм; $\sum_{\text{в}} \text{Вс}$ – сумма суточных значений радиационного баланса за период, $\text{МДж}/\text{м}^2$; $\sum_{\text{в}} \text{Qф}$ – сумма суточных значений фотосинтетически активной радиации, $\text{МДж}/\text{м}^2$; t, °C – температура воздуха; L - удельная теплота парообразования при данной температуре, $\text{МДж}/\text{кг}$; KУ – коэффициент увлажнения, рассчитан по формуле М.И. Будыко (1955), равен отношению суммы осадков к испаряемости.

Особенно неблагоприятный период для прохождения фазы кушения сложился в 2005 году. В сентябре (вторая декада) выпало лишь 6,1 мм осад-

ков. Средняя температура воздуха в сентябре составляла 14,2 °С. В первую декаду октября осадки не выпадали, температура воздуха составляла 10,4 °С. Во вторую декаду октября температура воздуха снизилась до 0,5 °С, выпало 38,2 мм осадков. В третью декаду октября выпало 31,0 мм осадков, температура воздуха составила 3 °С. В первую декаду ноября температура снизилась до 0,4 °С, во вторую и третью декады не поднималась и сменилась отрицательными значениями в декабре. В зимний период выпало большое количество твердых осадков (274 мм).

Осенний период кущения озимой ржи в 2006-2013 гг. проходил в условиях достатка почвенной влаги. В годы, характеризующиеся промывным типом водного режима (2005/06; 2008/09; 2010/11; 2011/12; 2012/13), в осенне-зимний период выпало большое количество жидких и твердых осадков.

Из таблицы 6 следует, что в годы исследований КУ изменялся в интервале значений 0,3-0,92, рост и развитие посевов озимой ржи протекали в условиях разного дефицита влаги. Осенне-зимние осадки восполняли весенне-летний дефицит влаги.

В таблице 7 приведены размеры восполнения весенне-летнего дефицита осенне-зимними осадками.

Таблица 7 - Размеры восполнения весенне-летнего дефицита влаги в почве осенне-зимними осадками (мм)

Разность между осенне-зимними осадками и весенне-летним дефицитом, мм	Годы исследований								
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
	+54	-87	+100	+276	+208	+300	+215	+28	-10

Наибольшие размеры восполнения весенне-летнего дефицита осенне-зимними осадками имели место в годы, характеризующиеся промывным типом водного режима (2006; 2009; 2011; 2012; 2013 гг.). В годы, характеризующиеся периодически промывным типом водного режима почв, имело место неполное восполнение весенне-летнего дефицита осенне-зимними осадками (2007; 2014 гг.).

Запасы влаги при предельной полевой влагоемкости (ППВ), влажности разрыва капиллярной связи (ВРК) и влажности завядания (ВЗ) в метровом слое почвы составляют соответственно 290, 190 и 80 мм. Накопление влаги в метровой толще почвы до величины ППВ и выше наблюдается только в осенне-зимне-весенний период.

На рисунках 1-3 приведено распределение запасов влаги по профилю метрового слоя почвы в период весенне-летней вегетации на разных формах микрорельефа в годы с промывным типом водного режима (2012; 2013 гг.) и периодически промывным типом водного режима (2014 г.).

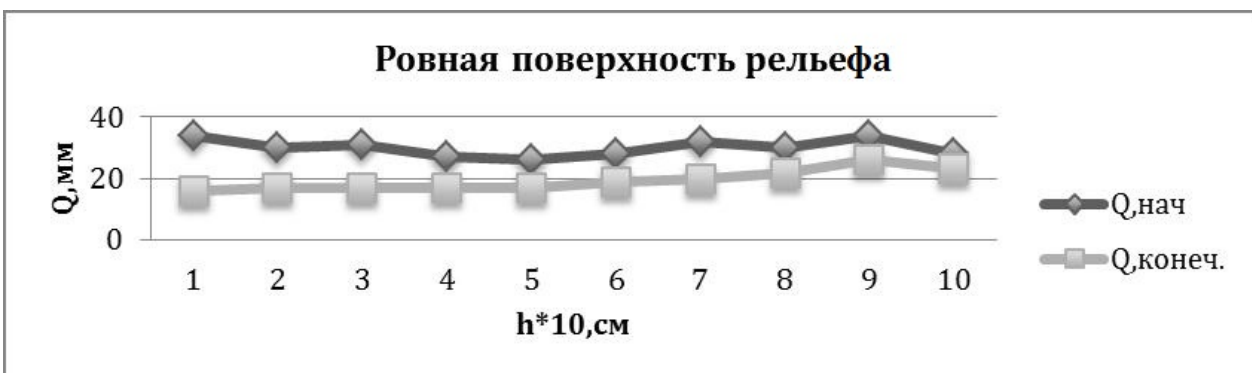
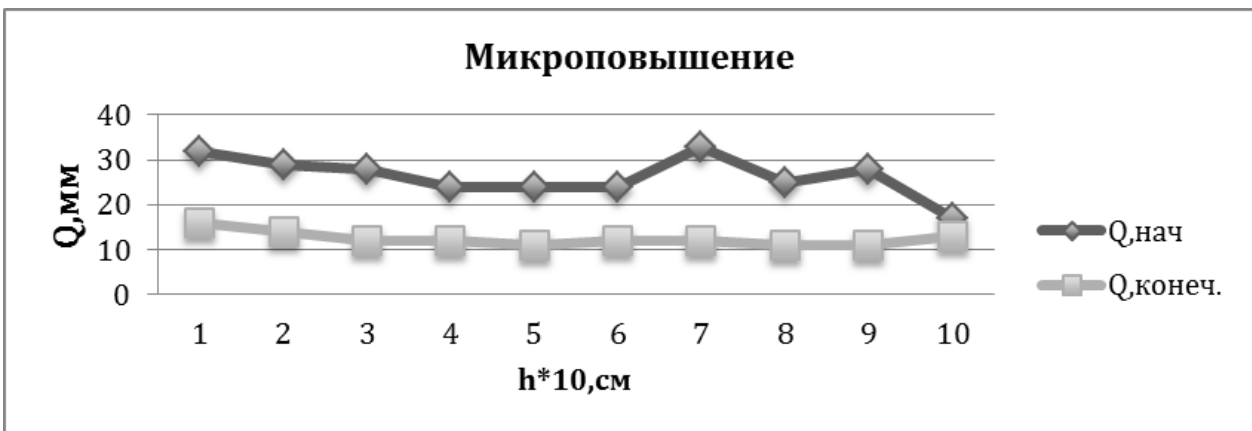
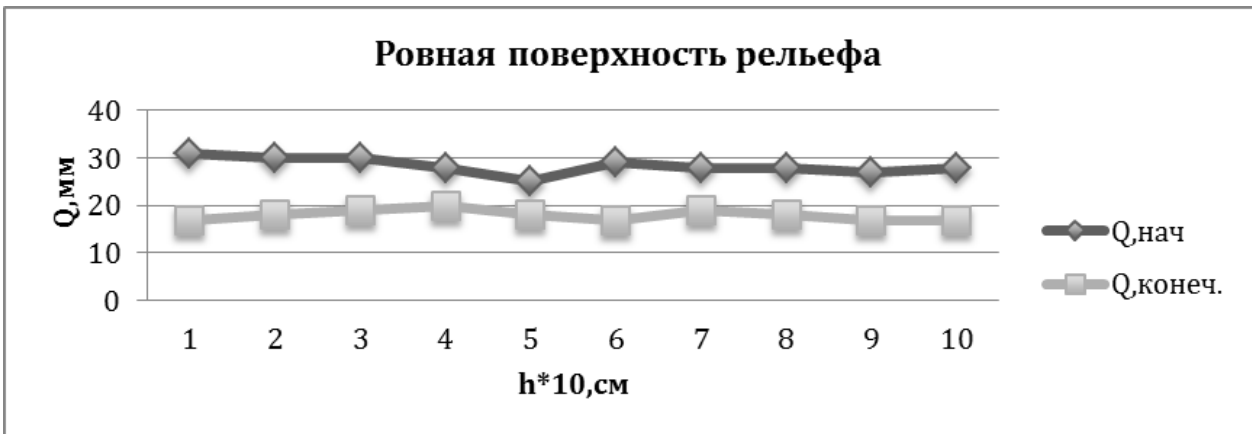
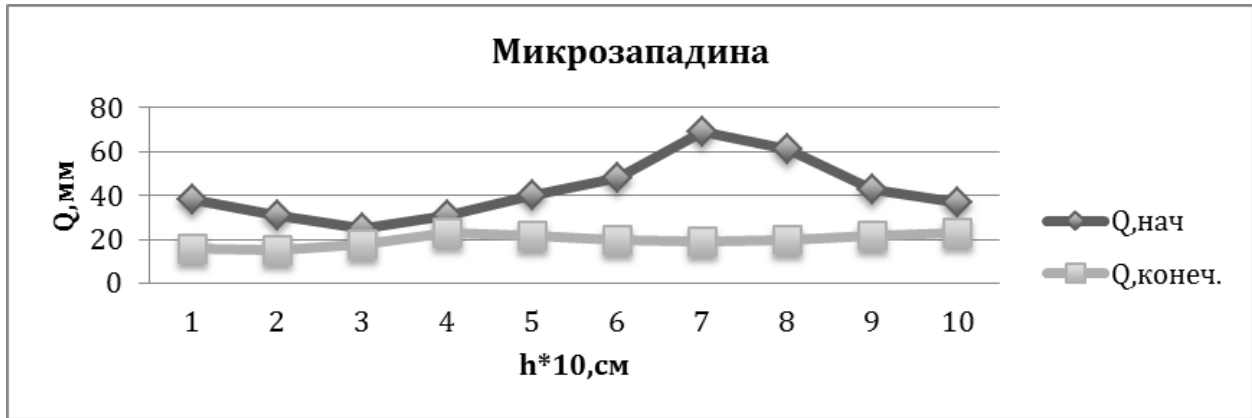
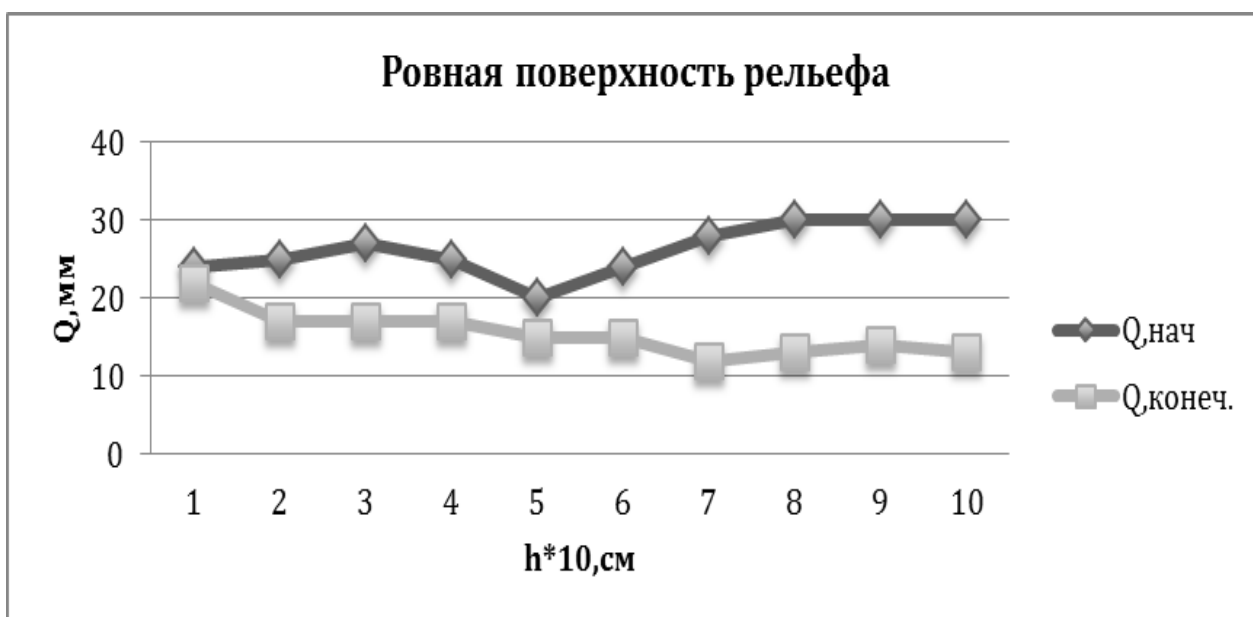
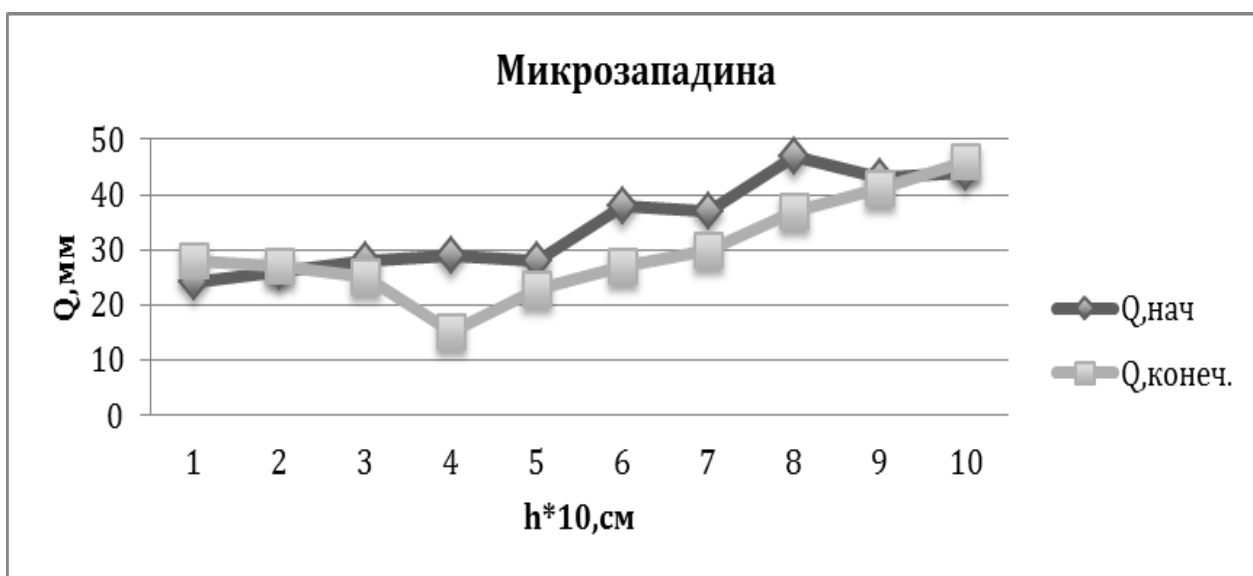


Рисунок 1 – Распределение запасов влаги (Q , мм) по профилю метрового слоя почвы в период весенне-летней вегетации озимой ржи в 2012 году ($KУ=1,61$)

В 2012 году ($KУ=1,61$) в микрозападине начальные (апрель) запасы влаги в метровом слое почвы превышали ППВ (423 мм), на ровной поверхности рельефа совпадали с запасами влаги при ППВ (300; 284 мм), тогда как на микроповышении были ниже ППВ (264 мм).

После уборки урожая озимой ржи конечные запасы влаги в микрозападине и на ровной поверхности рельефа совпадали с ВРК (198; 194; 180 мм). На микроповышении конечные запасы влаги в метровом слое были ниже ВРК (124 мм), но больше ВЗ. В 2012 году, как следует из таблицы 7, весенне-летний дефицит влаги был восполнен осенне-зимними осадками.

На рисунке 2 приведено начальное и конечное распределение запасов влаги в метровом слое почвы в 2013 году ($KУ=1,90$).



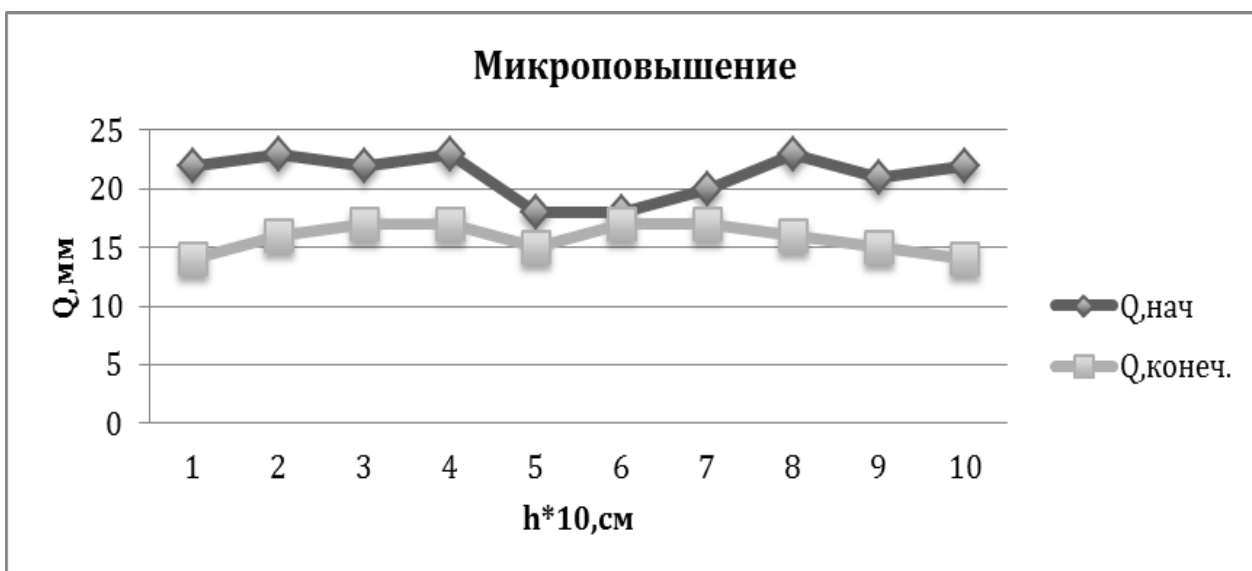
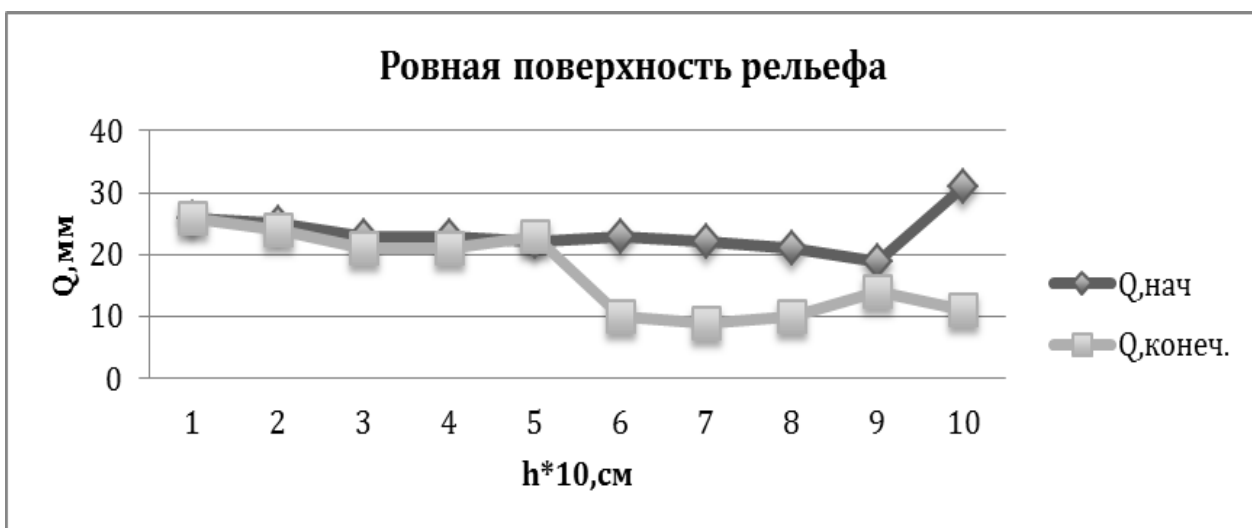


Рисунок 2 - Распределение запасов влаги (Q , мм) по профилю метрового слоя почвы в начале и конце весенне-летней вегетации озимой ржи в 2013 году ($KY=1,90$)

Начальные запасы влаги в метровом слое почвы только в микрозападине превышали запасы влаги при ППВ (345 мм), на ровной поверхности рельефа и на микроповышении были ниже запасов влаги при ППВ (263; 233; 212 мм).

Конечные запасы влаги в микрозападине были равны ППВ (299 мм). На ровной поверхности рельефа и на микроповышении были меньше запасов влаги при ВРК (155; 169; 158 мм), но больше запасов влаги при ВЗ. Как следует из таблицы 7, в 2013 году весенне-летний дефицит влаги был равен осенне-зимним осадкам.

На рисунке 3 приведено начальное и конечное распределение запасов влаги в метровом слое почвы в 2014 году ($KY=0,78$).

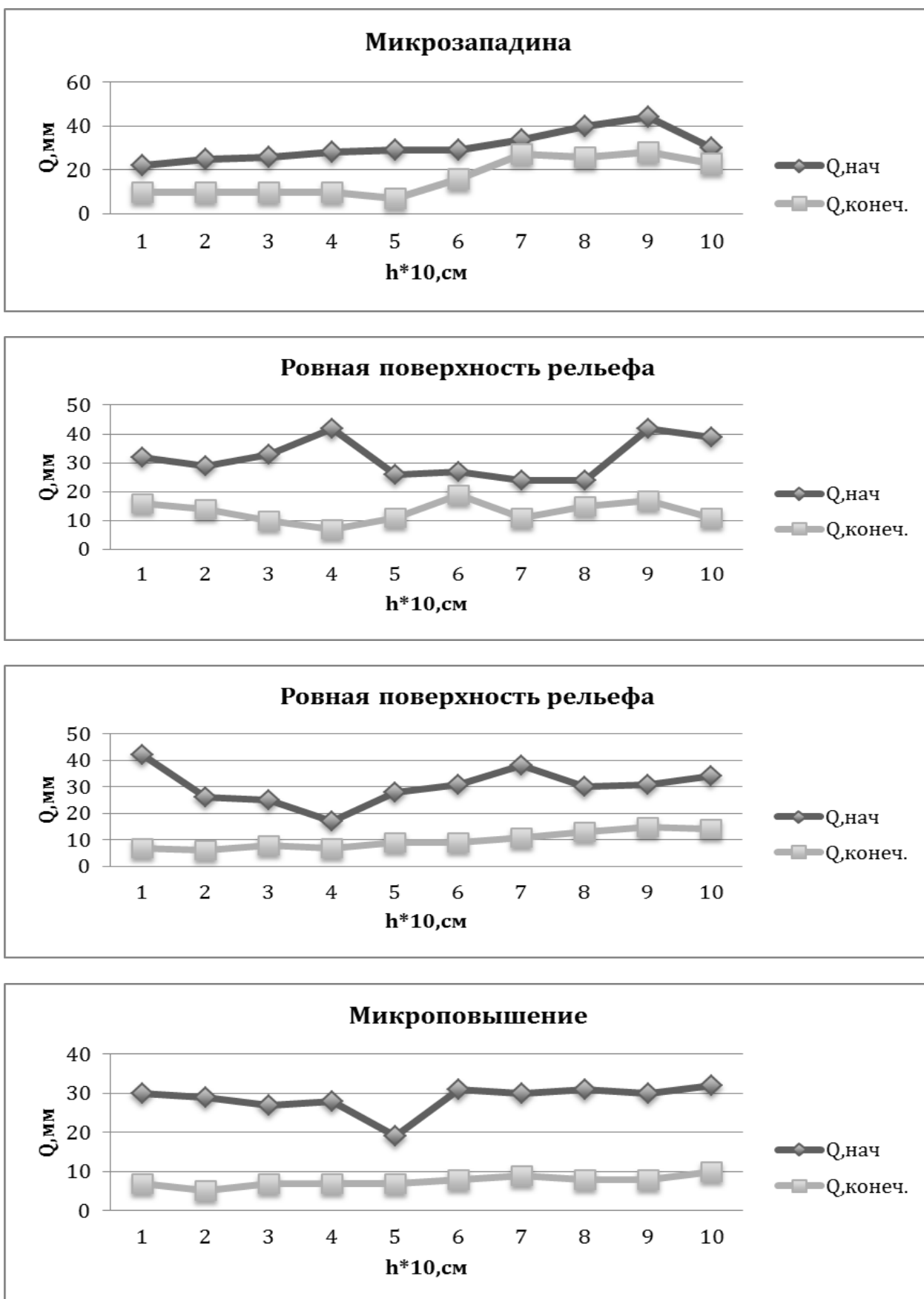


Рисунок 3 - Распределение запасов влаги по профилю метрового слоя в период весенне-летней вегетации озимой ржи в 2014 году (КУ=0,78)

Запасы влаги в метровом слое почвы в микрозападине и на ровной поверхности рельефа лишь незначительно превышали запасы влаги при ППВ (307; 318; 302 мм), на микроповышении были равны запасам влаги при ППВ (287 мм).

Конечные запасы влаги в микрозападине и на ровной поверхности рельефа были меньше запасов влаги при ВРК (167; 131; 99 мм). На микроповышении запасы влаги в метровом слое почвы были равны запасам влаги при ВЗ (76 мм). Как следует из таблицы 7, весенне-летний дефицит влаги в 2014 году не был восполнен осенне-зимними осадками.

Как следует из рисунков 1-3, посеы озимой ржи используют влагу из всего метрового слоя почвы. Достаток почвенной влаги в период весенне-летней вегетации посевов озимой ржи зависел от размеров восполнения весенне-летнего дефицита осенне-зимними осадками.

С водным режимом непосредственно связан питательный режим почвы. Запасы влаги в пахотном и подпахотном слоях влияют на процессы трансформации органических и минеральных соединений, переносы элементов питания по профилю почвы, миграционные потери элементов питания из метрового слоя почвы в осенне-зимне-весенний период, обусловленные внутрпочвенными потоками влаги.

Были рассмотрены процессы трансформации органических веществ и труднорастворимых фосфатов в многолетнем опыте с внесением только органических удобрений в гидрологические годы, характеризующиеся периодически промывным и промывным типами водного режима почв.

На рисунке 4 представлены запасы K^+ , NO_3^- (кг/га), а также подвижных соединений фосфора (в % от валового) и запасов влаги (мм) в слоях, равных 0-20 см и 21-100 см, в разные годы. Максимумы в запасах элементов питания и влаги совпадают по времени. Чем больше максимум в запасах влаги, тем выше запасы элементов питания. Органические удобрения, поступающие в пахотный слой, и корневые остатки пахотного и подпахотного слоев в течение года трансформируются под действием микроорганизмов в минеральные соединения.

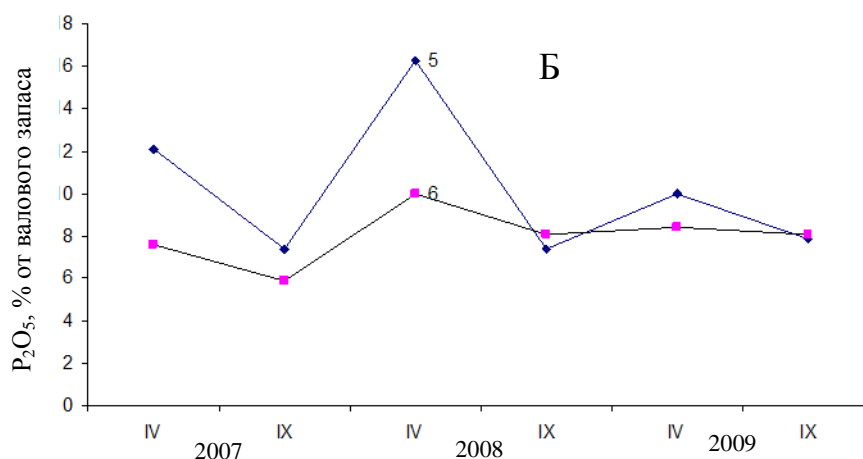
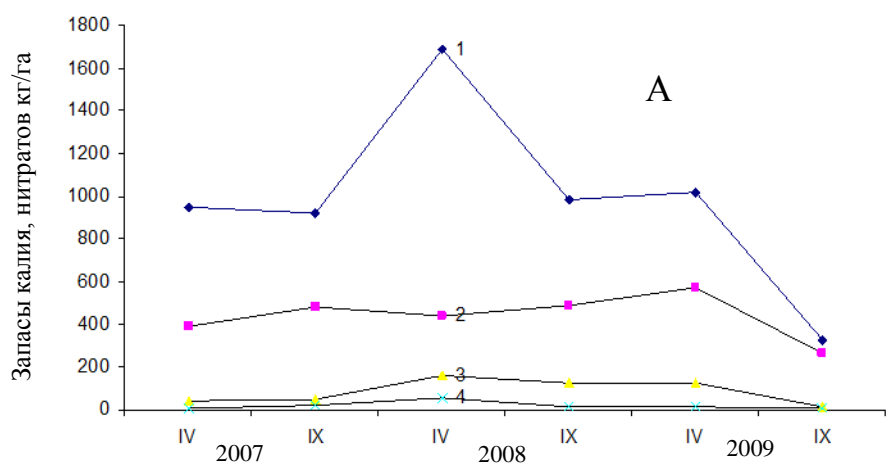
Часть элементов питания, образовавшихся вследствие биологической трансформации органических удобрений в пахотном слое, поступает с инфильтрационными потоками влаги в подпахотный слой (21-100 см).

Как следует из таблицы 1, гидрологические годы 2006/07 и 2007/08 характеризовались периодически промывным типом водного режима, тогда как 2008/09- промывным типом. Максимальная трансформация минеральных соединений наблюдается при периодически промывном типе водного режима.

Таким образом, запасы элементов питания в пахотном слое к весне следующего года как при периодически промывном, так и промывном типе водного режима определяются скоростью трансформации органических удобрений и корневых остатков, а также выносом их из пахотного слоя, тогда как в подпахотном слое – скоростью трансформации корневых остатков и приносом элементов питания с инфильтрационными потоками влаги.

В период вегетации (IV-VIII месяцы) запасы элементов питания резко уменьшаются из-за выноса их растениями. На рисунке 4 минимумы в содержании элементов питания совпадали со временем окончания вегетации. Аналогичные процессы протекают в микрозападине, в которой запасы влаги в слое, равном 21-100 см, на 30-100 мм выше, чем на микроповышении.

По данным работы В.Г. Минеева [21] минеральные удобрения увеличивают содержание в почве подвижного фосфора, нитратного азота и обменного калия лишь в начале вегетации культур. В дальнейшем содержание вышеперечисленных элементов питания находится на уровне показаний естественно-агрохимического фона.



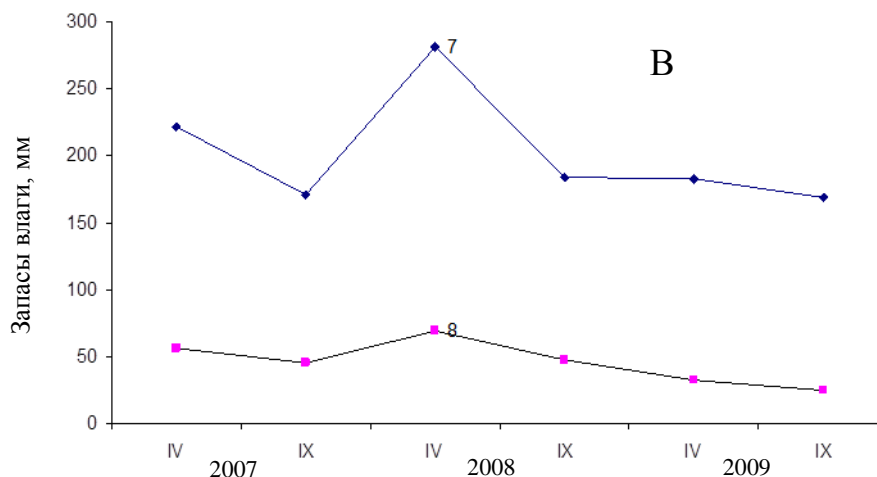


Рисунок 4 - Кривые распределения запасов калия, нитратов (А), P_2O_5 , (Б) и влаги (В) в слоях почвы, равных 21-100 см (1, 3, 5, 7), 0-20 см (2, 4, 6, 8). 1, 2 – калий (А); 3,4 – нитраты (А); 5, 6 – P_2O_5 (Б); 7, 8 – запасы влаги (В)

Микробиологическая активность зависит не только от влажности, но и температуры почвы. В таблице 8 приведены данные температуры почвы на глубинах, равных 5 и 80 см, в осенне-зимне-весенний и весенне-летне-осенний периоды трех гидрологических лет.

Установлено, что в подпахотном слое в течение осенне-зимне-весеннего периода поддерживается температура ($>4^{\circ}C$), достаточная для активности грибов, которые участвуют в процессах минерализации органических остатков. В пахотном слое из-за более низкой температуры биологические процессы затухают.

Таблица 8 - Среднемесячная температура почвы на глубинах, равных 5 и 80 см, в течение трех гидрологических лет. (Данные метеостанции БГАУ)

2006/07		2007/08		2008/09	
X.06-III.07	IV.07-IX.07	X.07-III.08	IV.08-IX.08	X.08-III.09	IV.09-IX.09
Глубина почвы, равная 5 см					
3,1	16,2	0	15,7	0,2	14,7
Глубина почвы, равная 80 см					
6,0	17,3	4,4	17,7	4,9	15,7

Примечание: глубины почвы, равные 5 и 80 см, выбраны потому, что в пределах метрового слоя только на этих глубинах проводится измерение температуры почвы в течение года [21].

В пополнении запасов подвижных фосфатов могут участвовать, кроме процессов минерализации органических удобрений и корневых остатков, процессы растворения труднорастворимых форм фосфатов (фосфориты, апатиты, соединения с железом, алюминием и др.).

В 1955 году вступил в строй Брянский фосфоритный завод и фосфоритная мука начала поступать в хозяйства области. Внесение фосфоритной муки привело к увеличению валового содержания фосфора в агросерых лесных легкосуглинистых почвах опытного поля БГАУ. На полях, где проводились исследования, содержание валового фосфора в пахотном и подпахотном слоях (21-100 см) составило соответственно 0,37% и 0,19% (9,7 и 21,3 т/га). По данным работы А. В. Петербургского [37] валовое содержание P_2O_5 в пахотном слое почв страны составляет 0,11-0,23%. Для насыщения пахотного слоя фосфатами необходимо внести 5-10 т/га P_2O_5 . Отсюда следует, что почвы опытного поля близки к насыщению фосфатами. Валовое содержание P_2O_5 в лёссовидном суглинке составляет 0,8 % или в 2,4 раза меньше по сравнению с подпахотным слоем почвы опытного участка.

В состав фосфоритов входят соединения разной степени растворимости: гидроксилapatит [$(Ca_5(PO_4)_3OH$, $PR=1,6 \times 10^{-58}$)]; трифосфат кальция [$Ca_3(PO_4)_2$, $PR=2,0 \times 10^{-29}$]; гидрофосфат кальция [$CaHPO_4$, $PR=2,7 \times 10^{-7}$]; фторапатит [$Ca_5(PO_4)_3F$; $PR=4 \times 10^{-3}$]; дигидрофосфат кальция [$Ca(H_2PO_4)_2$, $PR=1 \times 10^{-3}$] и другие [16]. При растворении этих солей в почвенный раствор переходят в основном ионы HPO_4^{2-} и $H_2PO_4^-$ [37].

Таким образом, в пахотном и подпахотном слоях агросерых лесных легкосуглинистых почв в течение всего гидрологического года протекают процессы трансформации органических и минеральных веществ. Процессы биологической трансформации органических веществ и растворения труднорастворимых соединений фосфатов зависят от влажности и температуры почвы.

В годы, характеризующиеся периодически промывным типом водного режима, трансформация органических остатков и растворение труднорастворимых соединений фосфора в осенне-зимне-весенний период приводит к увеличению запасов элементов питания, как в пахотном, так и в подпахотном слоях почвы, к весне следующего года по сравнению с осенью предыдущего года.

В агросерых лесных легкосуглинистых почвах с высоким содержанием валового фосфора труднорастворимые соединения фосфора растворяются в соответствии с их произведением растворимости.

Растворимость фосфатов в почвенной влаге в осенне-зимне-весенний период резко повышается с увеличением запасов влаги и в меньшей степени зависит от температуры почвы [34].

Почвы стационарного опыта характеризуются очень высокой и оптимальной для роста и развития растений водопроницаемостью. Коэффициент фильтрации по профилю почв изменяется в интервале значений $1 \cdot 10^{-6}$ - $1 \cdot 10^{-7}$ м/с. Полевые опыты по изучению влияния вертикального внутрпочвенного стока на процесс аккумуляции элементов питания в метровом слое почвы

проводились на двух полях БГАУ в 2007 – 2009 гг. и 2010 – 2012 гг. В 2007 – 2009 гг. опыт проводился на двух очень пологих склонах ($\alpha=1,10^0$) с выпуклой и вогнутой формой профиля. В 2010 – 2012 гг. опыт был поставлен на склоне ($\alpha= 1,50^0$) с ровной поверхностью.

Плато склонов с выпуклой и ровной поверхностью представлены агросерыми лесными мощными, среднemocными и маломощными почвами. Склоны с вогнутой поверхностью и нижние 1/4 склонов заняты агросерыми лесными со вторым гумусовым горизонтом (A_h) разной мощности (30 – 70 см). Содержание гумуса в горизонте A_1 в агросерых лесных маломощных, среднemocных, мощных и со вторым гумусовым горизонтом составляет соответственно 3,3; 4,5; 4,9; 5,0 %. Реакция почвенного раствора pH_{KCl} слабо зависит от вида почвы и составляет 4,2 – 4,4. Гидролитическая кислотность изменяется от 1 до 2,7 мэкв/100 г. Сумма обменных оснований составляет 14,2 – 16,6 мэкв/100 г, степень насыщенности основаниями – 86–96 % ЕКО. Почвы характеризуются очень высокой степенью обеспеченности растений легкодоступным фосфором, высокой и очень высокой – калия.

На склонах в весенний период формируются поверхностные стоки влаги от снеготаяния, вертикальные и боковые внутрипочвенные стоки. Вертикальные инфильтрационные стоки влаги (h) определялись по следующей формуле:

$$h = Q_0 + H - (E_0 + g + Q_{ппв}), \text{ мм} \quad (4)$$

где $Q_0, Q_{ппв}$ – соответственно запасы влаги в метровом слое почвы осенью и при предельной полевой влагоемкости;

H – осадки;

E_0 – испаряемость;

g – поверхностный сток от снеготаяния.

Для расчета атмосферных осадков использовали данные Метеостанции БГАУ [21]. Испаряемость в осенне-зимне-весенний период рассчитывалась по формуле Н. Н. Иванова (1954) [11]. Величины поверхностного стока от снеготаяния (g) для серых лесных почв Выгоничского района, где проводились опыты, взяты из работы Г. В. Бастркова [2]. Миграционные потери элементов питания из метрового слоя почвы за осенне-зимне-весенний период, обусловленные внутрипочвенными потоками влаги, рассчитывались по следующей формуле:

$$Q_h = Q_0(1 - e^{-\lambda h}), \text{ кг/га} \quad (5)$$

где Q_h, Q_0 – соответственно величина миграционных потерь и осенний запас элемента питания,

λ – миграционная подвижность NO_3^- , легкорастворимых фосфатов, калия и аммония соответственно равная 4,2; 3,0; 1,6; 1,6 1/м [35].

В отличие от дерново-подзолистых почв, в которых фосфаты при взаимодействии с полуторными окислами образуют труднорастворимые соединения, агросерые лесные почвы обладают высокой миграционной подвижностью фосфатов, так как содержат растворимые бикарбонаты кальция.

В таблице 9 приведены необходимые для расчета h величины. При расчете суммы осадков за осенне-зимне-весенний период принималась точка зрения А. А. Роде (1980) о необходимости введения поправки на ветровой недоучет твердых осадков (K_B) [1]. Установлено, что в осенне-зимне-весенний период имело место сквозное промачивание метрового слоя почвы.

Таблица 9 - Основные метеорологические показатели, необходимые для расчета вертикального внутрипочвенного стока

Год, месяц	Осадки, мм				E_0 , мм	g , мм	КУ
	$H_{ж}$	$H_{тв}$	$K_B * H_{тв}$	$\sum H$			
Х.2007- Ш.2008	142,7	161,9	231,5	374,2	111,8	41	3,35
Х.2008- Ш.2009	170,6	132,5	189,5	360,1	78,7	41	4,58
Х.2010- Ш.2011	153,5	224,3	320,7	474,2	66,3	9	7,15
Х.2011- Ш.2012	173,6	160,2	229,0	402,7	68,9	9	5,84

Примечание: $H_{ж}$, $H_{тв}$ – соответственно жидкие и твердые осадки, K_B – поправка на ветровой недоучет, равная 1,43 [19], E_0 – испаряемость, g – сток от снеготаяния.

На рисунке 5 представлены кривые распределения запасов влаги (мм) и содержания P_2O_5 (мг/кг) по профилю почвы на нижней 1/4 части склонов с выпуклой и вогнутой формами рельефа весной 2008 года. Установлено, что перед слоем, равным 80-90 см, имеющем повышенную плотность (1,46 – 1,51 г/см³), формируется боковой внутрипочвенный сток. Поэтому на глубине 70 см наблюдается образование концентрационного минимума легкорастворимых фосфатов, передвигающихся по крупным порам в насыщенной влагой почве. В ненасыщенных почвах, наоборот, перед прослойками с повышенной плотностью, возникают концентрационные максимумы, обусловленные задержкой солей тонкими водными слоями или нанокапилярами, в которых двойные электростатические слои перекрыты [29].

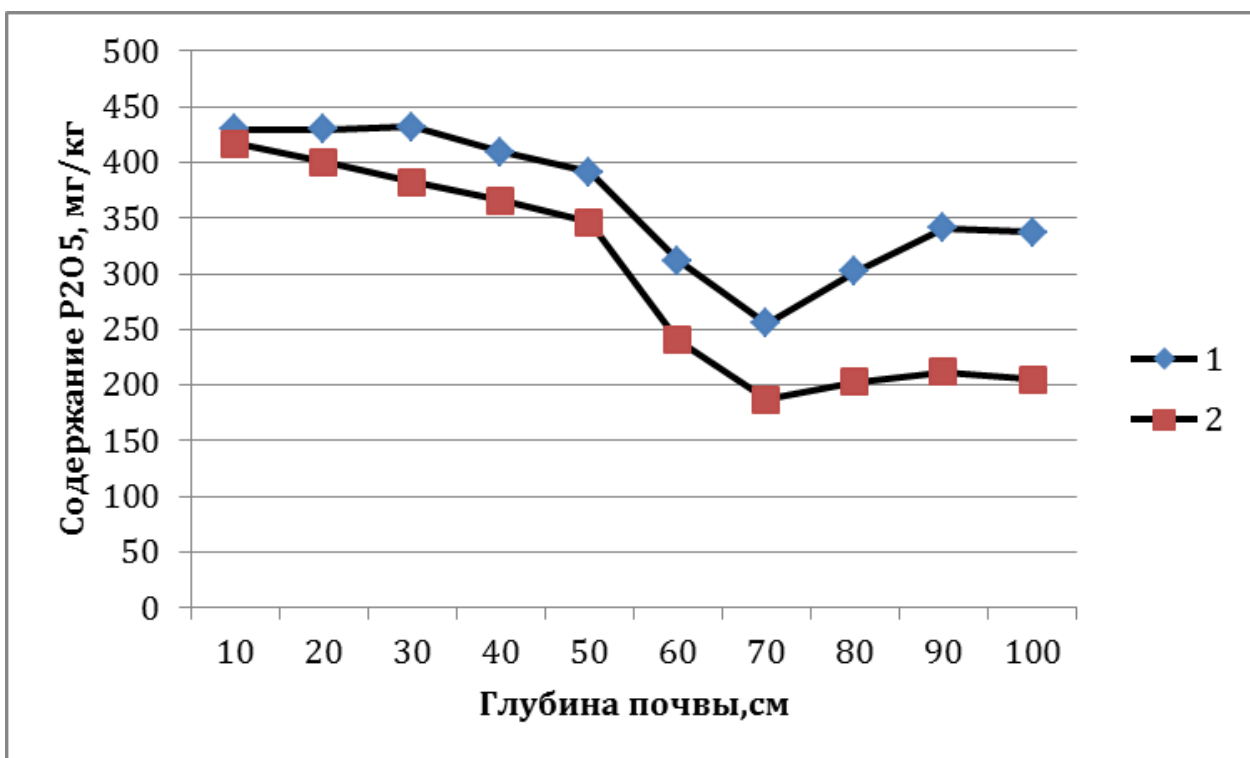
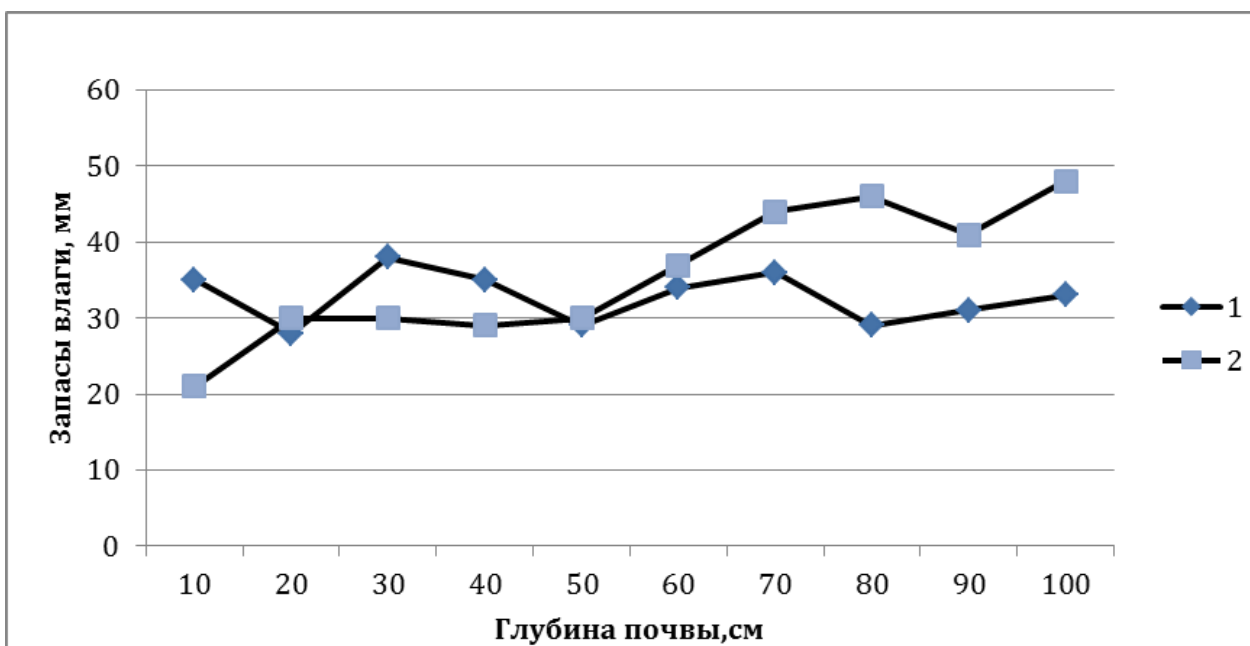


Рисунок 5 - Кривые распределения содержания P_2O_5 (мг/кг) по профилю почвы на нижней 1/4 части склонов с выпуклой (1) и вогнутой (2) формами рельефа. Апрель 2008 г.

На рисунке 6 представлены кривые распределения K_2O и P_2O_5 по профилю почвы на двух частях склона с ровной поверхностью весной 2011 года. Распределение элементов питания по профилю почвы указывает на формирование двух боковых внутрипочвенных потоков влаги: по плужной подошве (20-30 см) и по слою почвы, равному 70-80 см. Боковые внутрипочвенные потоки на склонах выклиниваются в ложбину. Величины внутрипочвенных инфильтрационных стоков зависят от КУ гидрологического

года. Чем выше значение КУ, тем больше внутрипочвенный инфильтрационный сток и больше миграционные потери элементов питания.

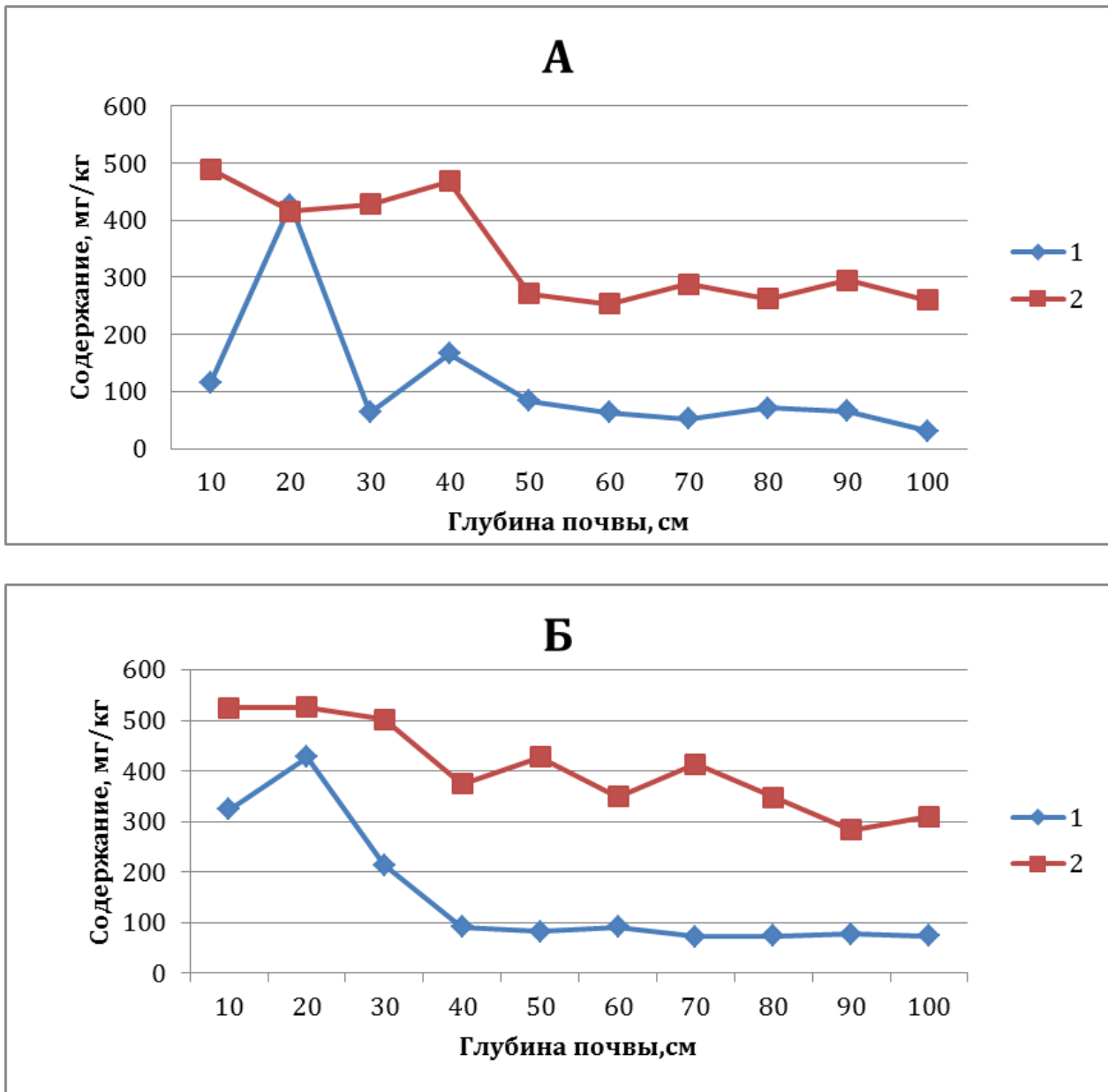


Рисунок 6 – Кривые распределения P_2O_5 и K_2O по профилю почвы на нижней $\frac{1}{4}$ склона (А) и на плато (Б). 1 – K_2O , 2- P_2O_5 . Май 2011 г.

В осенне-зимне-весенний период, кроме процесса выноса легкорастворимых соединений элементов питания, протекает процесс трансформации органических и минеральных соединений, который частично или полностью восстанавливает осенние запасы к весне следующего года. В таблице 10 представлены разности между весенними и осенними запасами элементов питания в однометровом слое почвы, величины внутрипочвенного инфильтрационного стока и миграционные потери.

Таблица 10 - Разности между весенними и осенними запасами, миграционные потери элементов питания в однометровом слое почвы и величины внутрипочвенного инфильтрационного стока

Месяц, год	Форма поверхности склона	Место отбора образцов почвы	h, мм	– Q_h/Q_0 , %				$\pm\Delta(Q_B - Q_0)/Q_0$, %			
				0-100 см							
				NO_3^-	P_2O_5	K_2O	NH_4^+	NO_3^-	P_2O_5	K_2O	NH_4^+
Х.2007- III.2008 КУ=1,14	Выпуклая	Части склона: Плато	97	34	25	15	15	+207	+103	+49	+39
		Нижние 3/4	146	46	36	21	21	+228	+73	+26	+50
		1/2	159	49	38	22	22	+469	+143	+31	-18
		1/4	194	56	44	27	27	+50	+112	-20	+15
	Вогнутая	Части склона: Плато	192	56	44	27	27	+72	+22	-3	+10
		Нижние 3/4	189	55	44	26	26	-18	+20	-24	-8
		1/2	306	72	60	39	39	+44	+38	+39	-17
		1/4	276	69	16	36	36	+65	+107	-2	-4
Х.2008- III.2009 КУ=1,45	Выпуклая	Части склона: Плато	179	53	42	25	25	-3	+29	+30	-19
		Нижние 3/4	188	55	43	26	26	0	+16	-20	-17
		1/2	226	61	50	30	30	-6	+29	+37	+24
		1/4	270	68	56	35	35	-14	+31	+9	+35
	Вогнутая	Части склона: Плато	280	69	57	36	36	-20	+49	+25	+2
		Нижние 3/4	344	76	66	42	42	-19	+42	+13	-5
		1/2	328	75	62	41	41	-10	+12	+28	-12
		1/4	312	73	61	39	39	+8	-3	+64	-17
Х.2010- III.2011 КУ=1,67	Ровная	Части склона: Плато	265	67	55	35	35	+96	+39	+10	+10
		Нижние 3/4	265	67	55	35	35	+66	+63	+21	+20
		1/2	335	76	63	42	42	-34	-12	-31	-25
		1/4	380	80	68	46	46	-17	+17	-30	-42

Примечание: Q_B , Q_0 , Q_h – соответственно весенние, осенние запасы и миграционные потери элементов питания из метрового слоя почвы.

Установлено, что на нижней половине пологого склона миграционные потери элементов питания (Q_h/Q_0) больше, чем на верхней половине. Поэтому восполнение миграционных потерь элементов питания за счет трансформации органических и минеральных веществ на верхней половине склонов протекает более интенсивно, чем на нижней. На склоне с вогнутой формой рельефа процесс трансформации веществ зависит от мощности второго гумусового горизонта.

Частичное восполнение миграционных потерь приводит к тому, что к весне следующего года в отдельных случаях не восстанавливаются осенние запасы нитратов, калия и аммония. Осенние запасы фосфора, благодаря высокому содержанию валового фосфора (0,37%), не восстанавливаются только при инфильтрационных стоках влаги, превышающих 300 мм за осенне-зимне-весенний период. Средние миграционные потери азота, фосфора, калия, аммония в 2007/08, 2008/09, 2010/11 составили соответственно следующие значения от осеннего содержания: 55, 38, 27, 27%; 66, 55, 34, 34%; 72, 60, 39, 39%. По величине миграционных потерь элементы питания образуют следующую убывающую последовательность: $\text{NO}_3^- > \text{P}_2\text{O}_5 > \text{K}_2\text{O}, \text{NH}_4^+$.

Таким образом, только в сильноокультуренных агросерых лесных почвах, в которые на протяжении многих лет регулярно вносились органические удобрения (навоз, солома, зеленые удобрения) и фосфоритная мука из местных фосфоритов, непригодных для переработки в суперфосфат, размеры пополнения подвижного фосфора за счет процесса трансформации веществ могут превышать миграционные потери.

Процессы трансформации органических и минеральных соединений и миграции элементов питания по профилю метрового слоя почвы и за его пределами в осенне-зимне-весенний период изменяют содержание вносимых осенью минеральных удобрений к началу весенне-летней вегетации озимой ржи.

Посевы озимой ржи размещали в севообороте со следующим чередованием культур: картофель-викоовсяная смесь на зеленый корм-озимая пшеница-бобово-злаковая смесь на зерно-озимая рожь. Схема опытов включала следующие варианты:

1. $\text{N}_{120}\text{P}_{120}\text{K}_{120}+\text{N}_{45}$. Норма рассчитана на планируемый урожай зерна, равный 50,0 ц/га.
2. $\text{P}_{90}\text{K}_{90}+\text{N}_{45}$. Норма минеральных удобрений снижена на 25%.
3. $\text{N}_{60}\text{P}_{60}\text{K}_{60}+\text{N}_{45}$. Норма минеральных удобрений снижена на 50%.
4. Контроль (без удобрений).

В таблице 11 приведено содержание элементов питания на разных вариантах опыта в метровом слое почвы в начале вегетации в 2011; 2012 гг.

Таблица 11 – Содержание элементов питания на разных вариантах опыта в метровом слое почвы в начале весенней вегетации (мг/кг почвы)

Год	Слой почвы, см	$\text{N}_{120}\text{P}_{120}\text{K}_{120}+\text{N}_{45}$				$\text{N}_{90}\text{P}_{90}\text{K}_{90}+\text{N}_{45}$				$\text{N}_{60}\text{P}_{60}\text{K}_{60}+\text{N}_{45}$				$\text{N}_0\text{P}_0\text{K}_0$				
		NO_3^-	NH_4^+	P_2O_5	K_2O	NO_3^-	NH_4^+	P_2O_5	K_2O	NO_3^-	NH_4^+	P_2O_5	K_2O	NO_3^-	NH_4^+	P_2O_5	K_2O	
2011	0-20	18,3	16,6	453	271	28,3	13,1	445	234	20,6	11,1	513	204	18,9	16,1	525	375	
	КУ=1,67	21-50	17,5	17,5	389	104	11,6	8,1	274	99	6,2	9,5	316	144	15,6	8,1	434	129
		51-100	19,8	10	272	57	9,4	8	365	76	8,1	14	392	77	19,3	9,2	341	78
		среднее	18,5	14,7	371	144	16,4	9,7	361	137	11,6	11,5	407	142	17,9	11,1	433	194
2012	0-20	5,4	7	588	234	2,1	9,6	580	209	2,6	8,1	440	234	6,2	15	648	339	
	КУ=1,61	21-50	4,9	5,6	348	82,5	0	5,6	273	78	2,5	6,2	257	92	2,7	6,4	376	132
		51-100	3,8	4,9	248	47	0	5	273	65	1,7	5,2	248	73	2,2	6,2	284	75
		среднее	4,7	5,8	395	121	0,7	6,7	375	118	2,3	6,5	315	133	3,7	9,2	436	182

Установлено, что внесенные осенью с удобрениями и образовавшиеся путем трансформации элементы питания при промывном типе водного режима мигрируют по профилю метрового слоя почвы и за его пределы. В результате на вариантах с внесением разных доз удобрений содержание элементов питания становится сопоставимым с содержанием элементов питания на контроле.

Разница в урожайности на разных вариантах достигается путём проведения подкормок аммиачной селитрой и наличия разного достатка почвенной влаги. Делянки, расположенные около ложбины или включающие большое количество микрозападин обеспечены влагой лучше, чем делянки, расположенные на ровной поверхности рельефа или включающие микроповышения.

Для уменьшения миграционных потерь элементов питания и выявления действия разных доз удобрений целесообразно осенью вносить не всю запланированную дозу удобрения, а необходимую для прохождения периода осеннего кушения часть дозы. Оставшуюся часть дозы удобрений использовать в виде подкормки во время возобновления весенней вегетации и в фазу выхода в трубку. Технология дробного внесения минеральных удобрений под озимую рожь используются на дерново-подзолистых песчаных почвах [19, 20].

4 БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РОСТА И РАЗВИТИЯ ОЗИМОЙ РЖИ. РАЙОНИРОВАННЫЕ СОРТА РЖИ

Рожь относится к роду *Secale cereale* L. – рожь посевная. Растение ржи состоит из корня, стебля, колоса и листьев. Опыление перекрестное, происходит с помощью ветра, когда цветки открыты.



Корневая у ржи мочковатая. Состоит из зародышевых первичных и узловых вторичных корней. Корневая система развивается очень быстро. К концу кушения корни проникают на глубину до 1 метра. Растение с развитой надземной массой имеют мощную корневую систему. Корни проникают в почву на глубину до 2 х метров к концу вегетации.

Стебель – полая соломина, состоит из пяти-шести надземных междоузлий. Нижнее междоузлие самое короткое. Толщина соломины верхних междоузлий 2,5-4 мм, нижних – 3-7 мм. Высота растений возделываемых сортов варьирует от 80 до 180 см в зависимости от места произрастания, условий выращивания и сортовых особенностей. Устойчивость сор-

тов ржи к полеганию зависит от высоты стебля, длины и толщины нижних междоузлий.

Листья – линейные, шире, чем у пшеницы. Поверхность листа может быть гладкая, шероховатая или покрыта редкими волосками, цвет – зеленый, темно-зеленый или сизый, в зависимости от интенсивности воскового налета.

Соцветие – колос, состоящий из стержня. Стержень колоса состоит из коротких опушенных члеников, на каждом уступе которого размещается по одному двухцветковому (редко трехцветковому) колоску. Формы колоса: призматическая, веретеновидная и удлинненно-эллиптическая. По длине колосья делятся на длинные (12 см и более), средней длины (8-11 см) и короткие (менее 8 см).

Зерно голое, удлинненное, с глубокой бороздкой и хохолком. Окраска зерна сортов очень не выровнена, она может быть зеленоватой, желтой, светлокорицневой, серой. Однако каждому сорту свойственна определенная окраска большинства зерен. Длина зерновки 6-11 мм. По форме зерно бывает овальным и удлинненным. По крупности зерна сорта делятся на крупнозерные (масса 1000 зерен равна 36 г и более), выше средней крупности (31-35 г), средней крупности (26-30 г), мелкозерные (20 г и менее).

Требование к температуре. Озимая рожь наиболее морозоустойчивая и зимостойчивая культура, чем другие озимые зерновые. В зимний период переносит морозы до 20-30 °С, под толщей снега даже ниже, но может вымерзнуть, особенно при плохой закалке осенью. На глубине узла кущения выдерживает температуру, равную - 20...-22 °С.

Семена прорастают при 1-2 °С. Оптимальная температура прорастания 6-12 °С, колошения и цветения – 14-20 °С, восковой спелости 16-25 °С. Кустится осенью, но при влажной и прохладной погоде кущение протекает и весной.

Требование к влаге. Рожь, имея хорошо развитую корневую систему, достаточно эффективно использует запасы влаги почвы, которые накопились в осенне-зимний период. Рожь легко выдерживает весенние засухи. Транспирационный коэффициент равен 400-500. Наибольший расход влаги отмечается в период быстрого роста, от фазы выхода в трубку до колошения. Недостаток влаги в этот период вызывает образование мелких и малопродуктивных колосков.

Наибольший вред посевам ржи наносит почвенная засуха в фазе выхода в трубку, когда у растений формируются генеративные органы. После цветения рожь малотребовательна к влаге, но на легких песчаных почвах даже незначительная засуха отрицательно влияет на налив зерна.

Требование к почве. Озимая рожь хорошо растет на разных почвах, но лучшими для нее являются черноземы и серые лесные, легкие по гранулометрическому составу почвы. Малопригодны заболоченные и тяжелые глинистые почвы. Рожь хорошо выдерживает повышенную кислотность (рН < 5,5) и незначительную засоленность почвы.

Корневая система озимой ржи активнее, чем озимой пшеницы, способна усваивать питательные вещества из труднорастворимых соединений. Основ-

ная часть питательных веществ усваивается растениями озимой ржи в период от кущения до колошения и почти полностью завершается в период цветения. Фосфор потребляется более продолжительное время, чем азот и калий, почти в течение всего вегетационного периода. Основное количество фосфора поступает в растения ко времени их цветения, остальные 20-22% продолжают усваиваться вплоть до восковой спелости.

Наиболее ответственным периодом, как и для других культур, является начальная стадия развития растений, начиная от прорастания семян. Особое значение в это время имеет обеспечение растений фосфором, который способствует мощному развитию корневой системы, формированию здоровых и сильных всходов, лучшему укоренению растений. Азот необходим растениям ржи также сразу после появления всходов. Потребность в азоте особенно остро ощущается ранней весной, поэтому эффективность подкормок азотными удобрениями в этот период особенно велика.

Фазы развития озимой ржи



Прорастание семян. Оптимальная температура почвы для набухания и прорастания семян ржи $+6...+12^{\circ}\text{C}$, количество влаги должно составлять 60-70 % от предельной полевой влагоемкости. При наличии необходимого количества воды семена могут прорасти при температуре немного выше 0°C ($+0,5...+2^{\circ}\text{C}$). Недостаток кислорода растения ржи испытывают при глубокой заделке семян и посеве в переувлажненную почву.

Всходы. В фазе всходов (на шестой-девятый день после посева) развивается главный побег, идет дифференциация зачаточного колоса и закладываются почки боковых побегов. Своевременные и дружные всходы являются одним из важных условий получения высокого урожая. В этот период очень важно обеспечить растения фосфором, так как слабая корневая система не способна еще поглощать его из почвы. Внесение гранулированного суперфосфата в рядки способствует появлению полноценных всходов. Отсутствие достаточного количества воды, тепла и кислорода ведет к задержке всходов до 14-29 дней.



Кущение начинается после образования третьего листа (через 10-12 дней после всходов). Нормальное кущение растений проходит осенью при среднесуточной температуре воздуха 12°C и заканчивается при $3-4^{\circ}\text{C}$. Для хорошего и полного кущения растений сумма эффективных температур (среднесуточных выше $+5^{\circ}\text{C}$) в осенний период должна быть не менее 300°C . Поэтому сев озимых для каждой зоны необходимо заканчивать в установленные календар-



ные сроки. Большое значение в период осенней вегетации имеет обеспеченность растений влагой. При недостатке ее осенью всходы бывают изреженными, рожь уходит в зиму слабо раскустившейся. Избыток влаги осенью может оказать отрицательно влияние на перезимовку ржи.

Кущение озимой ржи происходит в основном осенью. В условиях Нечерноземной зоны оно начинается через 10-15 дней после посева и продолжается до конца осенней вегетации от 29 до 41 дня. В этой фазе формируется узел кущения, образуются побеги и узловые корни, закладываются зачаточные стебель и колос, формируются листья. Весеннее кущение, как правило, дает малопродуктивные побеги.

Для нормального роста, развития озимых и достаточного накопления сахаров требуется полная обеспеченность фосфором и калием, умеренная – азотом. При избытке азота ослабляется зимостойкость растений и повышается вероятность поражения снежной плесенью, недостаток его приводит к недобору урожая.

Выход в трубку наступает весной, когда длина первого междоузлия достигает 5-6 см, и нижний стеблевой узел выходит на поверхность почвы. Заканчивается образование основной массы листьев, происходит быстрый рост стебля и дифференцированного колоса. Формированию крупного продуктивного колоса способствуют невысокая положительная температура, достаточная влажность, высокое плодородие почвы.

Недостаток азотного питания, влаги и высокая температура воздуха приводят к уменьшению длины колоса; избыток азота увеличивает длину колоса и затягивает его формирование, иногда ведет к образованию ветвящихся колосьев. Достаточная обеспеченность фосфорным питанием способствует ускорению формирования колоса, благоприятно сказывается на развитии пыльников, завязей и на озерненности колоса.

Фаза стеблевания завершается с появлением верхушек остей колоса из влагалища верхнего (флагового) листа. Продолжительность этой фазы колеблется 17-27 дней. Повышение среднесуточной температуры на 1⁰С сокращает фазу выхода в трубку на 1,5 дня.

Колошение начинается выходом колоса из влагалища листа и заканчивается с появлением всего колоса. Продолжительность фазы 10-12 дней. При недостатке влаги и высокой температуре период колошения сокращается, уменьшается количество зерен в колосе, появляется недоразвитое и щуплое зерно. Поэтому очень важно своевременное боронование посевов для закрытия и сохранения влаги. В этой фазе завершается процесс формирования всех органов соцветия и цветка. Усиленно растет последнее междоузлие. К моменту цветения растение достигает 90% высоты.

В фазе цветения формируются озерненность колоса и величина зерновки. Полнота опыления зависит в основном от температуры и влажности воздуха. В холодную погоду этот период затягивается до 20 дней. При благоприятной температуре воздуха (+14...+22⁰С) все поле отцветает за 8-10 дней.

В полевых условиях цветение озимой ржи обычно начинается в ранние утренние часы между 7-10 ч, когда температура воздуха достигает 12⁰С. До 10-11 ч цветение продолжается в одинаковой степени и протекает волнообразно. В теплую сухую погоду в момент массового цветения озимой ржи образуется облако пыльцы. К середине дня раскрываются лишь отдельные цветки. Во второй половине дня цветение вновь активизируется. Рожь очень чувствительна к высокой температуре воздуха в период цветения, так как при этом резко снижается завязываемость зерна. Оптимальная влажность воздуха при цветении 55-70 %. К задержке фазы цветения приводит недостаток фосфора.



Различают **три фазы созревания зерна** – молочную, восковую и полную. Фаза молочной спелости наступает обычно через 8-16 дней после цветения и длится 9-12 дней. Стебли и листья на растении начинают желтеть, нижние листья отмирают. Стеблевые узлы, верхняя часть стебля и лист – зеленые. Происходит активный отток пластических веществ из листьев и стебля в зерновку. В восковую спелость зерновка мнется как воск и легко режется ногтем. В этот период растение в основном желтое, зелеными остаются верхние стеблевые узлы. Прекращается отток ассимилянтов в зерновку.

В восковой спелости влажность зерна составляет 25-30 %, полной – 14-18 %. В фазе полной спелости растение приобретает желтую окраску. Наступает период физиологического покоя зерна. Скорость его созревания зависит от погодных условий (16-20⁰С) и обеспеченности растений фосфором.

В процессе роста и развития растения озимой ржи последовательно проходят фазы, различающиеся между собой внешними морфологическими признаками и формирующие различные элементы продуктивности.

Формирование элементов продуктивности озимой ржи по этапам органогенеза и фазам развития растений

Этапы органогенеза (по Ф.М. Куперман)	Продолжительность, дни	Фенологические фазы	Элементы продуктивности
Формирование и рост зародышевых органов	5-8	Прорастание семян, всходы	Густота стояния растений
Формирование стеблевых листьев	9-11	Третий лист, формирование узла кушения	Число листьев, коэффициент кушения, зимостойкость

Продолжение таблицы

Сегментация нижней части конуса нарастания и формирование зачаточной оси колоса	14-16	Кущение	Число члеников колосового стержня
Начало формирования колосовых бугорков	12-14	Начало выхода в трубку	Число колосков в колосе, засухоустойчивость
Формирование цветков в колосках	16-18	Выход в трубку	Число цветков в колосках
Формирование пыльцевых мешков и завязи пестика	5-7	Выход в трубку	Фертильность цветков, плотность колоса
Формирование пыльцы и семяпочек, рост в длину члеников колосового стержня, колосовых и цветковых чешуек	9-11	Выход в трубку	Фертильность цветков, плотность колоса
Завершение процессов формирования всех органов соцветия и цветка	5-7	Колошение	Фертильность цветков, плотность колоса
Опыление и оплодотворение	4-6	Цветение	Озерненность колоса
Начало формирования зерновки	11-13	Формирование зерна	Величина зерновки
Накопление питательных веществ в зерновке	22-25	Налив зерна, молочное состояние	Масса зерновки
Перевод питательных веществ в запасные вещества в зерновке	7-9	Восковая и полная спелость	Масса зерновки

Урожай озимой ржи, как и других колосовых культур, определяется тремя компонентами: числом продуктивных стеблей на единицу площади, числом зерен в колосе и массой 1000 зерен. Продуктивные органы формируются не одновременно, а последовательно, на определенных этапах органогенеза.

Управление формированием отдельных компонентов продуктивности осуществляется с помощью агротехнических мероприятий, в первую очередь применением удобрений, средств защиты растений, регуляторов роста.

Районированные сорта озимой ржи

По экспертным оценкам, вклад сорта в повышение урожайности за последние десятилетия оценивается в 30-50 %. Для получения максимально возможной и стабильной урожайности зерна высокого качества в условиях неблагоприятных факторов земледелия (эдафических, биотических и климатических), в условиях экологического и экономического кризиса региона важнейшее значение имеет правильный выбор сорта. Сегодня на рынке требуются более технологичные, менее энергозатратные сорта, способные давать

стабильный урожай при минимальных затратах. Ввиду более продолжительного процесса роста растений формирование урожая озимых культур в большей степени, чем яровых, зависит от гидротермических условий. Помимо температуры, влажности воздуха и почвы лимитирующими факторами урожайности озимой ржи является перезимовка, которая, в свою очередь, зависит от продолжительности осенней вегетации и залегания снежного покрова, его глубины, особенностей периода весеннего отрастания растений.

Современные технологии возделывания способствуют реализации генетического потенциала сорта, только при условии соответствия биологических требований культуры и биоклиматических особенностей региона.

Наиболее пригодны для перспективной ресурсосберегающей технологии возделывания озимой ржи сорта со стабильным потенциалом урожайности, зимостойкие, устойчивые к полеганию, поражению болезнями и повреждению вредителями, алюмо- и кислотоустойчивые.

В Госреестр селекционных достижений Российской Федерации внесено более 50 сортов озимой ржи, допущенных к использованию. В Центральном регионе имеется значительный набор сортов, который позволяет решать важнейшие проблемы в производстве. Каждое хозяйство имеет возможность выбрать сорта с учетом почвенно-климатических условий для возделывания по ресурсосберегающим технологиям. Наибольший интерес в условиях Центрального региона представляют сорта ржи, созданные селекционерами за последние 10-15 лет и соответствующие требованиям современного производства: Альфа, Валдай, Крона, НВП-3, Память Кондратенко, Татьяна, Фаленская 4. Пользуются также спросом ранее созданные сорта ржи доминантного типа: Верасень, Кировская 89, Пурга, Пуховчанка, Таловская 15, Таловская 29, Татарская 1, Чулпан.

АЛЬФА - оригинатор НИИСХ Центральных районов Нечерноземной зоны. Включен в Госреестр по Центральному (3) региону с 1999 г.

Диплоидная форма. Колеоптиле окрашен. Куст промежуточный. Лист средней длины и ширины, со слабым опушением, восковой налет отсутствует. Колос призматический, короткий, плотный, горизонтальный, желтый. Ости полурасходящиеся, длинные, желтые. Зерно полуокруглое, от среднего до крупного, серо-зеленое, полуоткрытое, основание опушенное. Масса 1000 зерен 28-32 г.

За 1999 год урожайность на Дубровском ГСУ составила 39,7 ц/га + к стандарту (Пурга) 3,4 ц/га.

Позднеспелый. Вегетационный период 312-325 дней, на уровне стандартного сорта Чулпан. Зимостойкость выше средней. Высота растений 115-120 см. Устойчивость к полеганию на уровне стандарта. Хлебопекарные качества удовлетворительные. Число падения от 176 до 266 с.

Восприимчив к стеблевой и бурой ржавчине, средневосприимчив к мучнистой росе, сильно восприимчив к снежной плесени. Особенности сортовой агротехники - тщательная обработка почвы перед посевом и заделка семян на глубину 3-4 см.

ВАЛДАЙ - оригинатор НИИСХ Центральных районов Нечерноземной зоны. Включен в Госреестр по Центральному (3) региону с 1999 г.

Диплоидная форма. Колеоптиле окрашен. Куст промежуточный. Лист средней длины и ширины, со слабым опушением, восковой налет средний. Колос призматический, очень короткий и очень плотный, белый, полупрямо-стоячий. Ости полурасходящиеся, длинные, светло-желтые. Зерно полуокруг-лое, среднее, полуоткрытое, основание опушенное. Масса 1000 зерен 29-44 г. Среднеспелый, вегетационный период 306-323 дня, на уровне среднего стандарта. Высота растений 123-132 см. Устойчивость к полеганию несколько выше стандарта.

Хлебопекарные качества хорошие. Среднеустойчив к стеблевой ржавчине, восприимчив к бурой ржавчине, средневосприимчив к мучнистой росе, сильно восприимчив к снежной плесени.

Средняя урожайность на Брянском ГСУ за 1997-1999 гг. составила 44,6 ц/га + к стандарту (Пурга) 1,8 ц/га. Средняя урожайность на Дубровском ГСУ за 1997-1999 гг. составила 35,1 ц/га + к стандарту (Пурга) 3,4 ц/га.

ТАТЬЯНА – оригинатор НИИСХ Центральных районов Нечерноземной зоны. Включен в Госреестр по Центральному (3) региону с 2003 г.

Выведен методом многократного индивидуально-семейного отбора из гибридной популяции от скрещивания сортов Вятка северная (популяция от 5-кратного отбора на крупнозерность), Чулпан и Орловская 9.

Вегетационный период составляет 333 дня, что на уровне сортов Крона и Пурга. Сорт имеет прочный и относительно короткий стебель (в среднем 133 см против 147 см у Восхода 2 и 138 см у Кроны). Продуктивная кустистость 2,4 стебля, среднее число зёрен в колосе 48,9. Масса 1000 зёрен в пределах 29,0-34,7 г (средн. 31,0 г) против 27,2-32,1 г (средн. 28,6 г) у Восхода 2.

Специфических требований к почвам не предъявляет. Хорошо отзывывается на внесение органических и минеральных удобрений. Эффективно реагирует на протравливание семян перед посевом фундазолом (2,5 кг/т семян), паноктином, винцитом, а также на обработку посевов тилтом и байлетоном (500 г/га) в период колошения и налива зерна. Конкурентоспособность сорта определяется его высокими технологическими качествами: урожайность за годы конкурсного испытания в институте составила в среднем 57,9 ц/га, превысив стандарт Восход 2 на 5,7 ц/га и сорт Крону на 1,8 ц/га. На госсорто-участках она неоднократно превышала уровень 70 ц/га; сорт зимостойкий. Перезимовка растений за годы испытания в среднем 90,7% при 86,1% у Восхода 2 и 58,7% у Кроны; устойчивость растений к полеганию оценивается в среднем в 6,7 балла, что на 0,9 балла выше, чем у сорта Крона; по устойчивости к болезням превосходит другие сорта, особенно устойчив к снежной плесени и бурой ржавчине; характеризуется относительно хорошими хлебопекарными качествами зерна. Средний показатель "числа падения" 172 сек., высота амилограммы - 320 е.а. (у Кроны 299 е.а.). Глазомерная оценка качества хлеба - 4,0 балла, у стандарта Восход 2 - 3,3.

Рекомендуется для возделывания в областях Центрального, Северо-Западного и Волго-Вятского регионов.

ВЕРАСЕНЬ - оригинатор Белорусский НИИ земледелия и кормов. Включен в Госреестр по Центральному (3) региону с 1988 г.

Разновидность вольгаре. Относится к тетраплоидным формам. Колос веретеновидный, белый, средней длины. Ости средней длины, средней жесткости, белые. Зерно полуоткрытое, полуудлиненное, белое. Форма куста промежуточная.

Средняя урожайность за годы испытания (1995-1999 гг.) на Брянском ГСУ составила 33,2 ц/га + к стандарту (Пуховчанка) 3,0 ц/га. На Стародубском ГСУ за 1999 г. урожайность составила 52,0 ц/га + к стандарту (Пуховчанка) 5,6 ц/га.

Среднеспелый, вегетационный период 286-333 дня, зимостойкость средняя. Стебель укороченный, высота растений 135 см, устойчивость к полеганию 3,0-5,0 балла. Зерно крупное. Масса 1000 зерен 33,3-49,9 г. По данным Центральной лаборатории Госкомиссии содержание белка в зерне 8,0-10,3 %, объем хлеба из 100 г муки 350 мл, число падения 176-186 с.

Снежной плесенью поражается выше среднего, бурой и стеблевой ржавчинами - сильно.

ПУРГА - оригинатор НИИСХ Центральных районов Нечерноземной зоны. Включен в Госреестр по Центральному (3) региону с 1993 года.

Диплоидная форма. Разновидность вольгаре. Колос призматический, средней длины и плотности. Колосковая чешуя ланцетная, длинная, узкая. Киль выражен слабо, зазубрен. Ости полурасходящиеся, средней длины, грубые, упругие. Колос и ости белые. Зерно полуудлиненное, серо-зеленое, полуоткрытое. Основание зерновки опушенное. Форма куста промежуточная.

Среднеспелый. Вегетационный период 293-338 дней. Созревает одновременно с сортом Восход 2 или на 1-3 дня раньше. Высота растений 117-149 см. По устойчивости к полеганию превосходит его в среднем на 0,6 балла. Зерно выше средней крупности. Масса 1000 зерен 26,3-35,2 г. Общая хлебопекарная оценка 3,0 балла.

На Брянском ГСУ с 1995 по 1999 гг. средняя урожайность составила 41,2 ц/га. На Дубровском ГСУ за эти годы испытания средняя урожайность составила 33,3 ц/га.

Среднеустойчив к мучнистой росе, от слабой до сильной степени (2-100 %) поражается снежной плесенью, сильно восприимчив к бурой и стеблевой ржавчинам, на уровне стандарта Восход 2. Особенности сортовой агротехники - тщательная обработка почвы перед посевом и заделка семян на глубину 3-4 см, рекомендуется обработка посевов фунгицидами.

ТАЛОВСКАЯ 15 - выведен в НИИ Центрально-Черноземной полосы им. В. В. Докучаева. Включен в Госреестр по Центральному региону с 1990 г.

Разновидность вольгаре. Относится к диплоидным формам. Колос веретенообразный, белый, средней длины и плотности. Колосковая чешуя ланцет-

ная, средней длины, зубец колосковой чешуи с остевидным придатком. Ости грубые, средние. Зерно полуудлиненное, светло-зеленое.

Среднеспелый, вегетационный период 284-335 дней. Зимостойкость вышесредняя. Высота растений 157-136 см. Характеризуется хорошей выравненностью продуктивного стеблестоя. Устойчивость к полеганию от вышесредней до высокой. Число падения 74-233 с.

На Брянском ГСУ за 1995-1999 гг. средняя урожайность составила 38,6 ц/га, что ниже стандарта на (Пурга) 2,6 ц/га.

Выше среднего поражается снежной плесенью, бурой и стеблевой ржавчинами, ринхоспориозом и мучнистой росой, повреждается озимой и шведской мухой на уровне стандартов.

ПУХОВЧАНКА - оригинатор Белорусский НИИ земледелия и кормов. Включен в Госреестр по Центральному (3) региону с 1985 г.

Разновидность вульгаре. Относится к тетраплоидным формам. Колос белый, слабо цилиндрический, длинный. Колосковая чешуя узкая, шиловидная. Ости короткие, средней жесткости, белые. Зерно овально-удлиненное, зеленое, крупное. Масса 1000 зерен 34,8-47,8 г.

За годы испытания (1985-1995) средняя урожайность на Брянском ГСУ составила 32,8 ц/га. На Стародубском ГСУ в 1999 г. урожайность составила 46,4 ц/га. Среднеспелый. Вегетационный период 278-317 дней. Устойчивость к полеганию 2,3-5,0 балла. По данным Центральной лаборатории Госкомиссии по оценке качества сортов содержание белка в зерне 9,9 %, число падения 152 с.

Болезнями поражался выше среднего и сильно бурой и стеблевой ржавчинами, мучнистой росой и снежной плесенью. Сорт интенсивного типа, а на семеноводческих посевах необходимо соблюдать пространственную изоляцию.

ТАЛОВСКАЯ 29 - выведен в НПО «Каменная степь». Включен в Госреестр по Центральному (3) региону с 1993 г.

Диплоидная форма. Разновидность вульгаре. Колос слабоверетенообразный, средней длины и плотности. Колосковая чешуя ланцетная, средней величины, киль выражен слабо. Зубец колосковой чешуи с остевидным придатком. Ости грубые, ломкие, средней длины. Окраска колоса и остей белая. Зерно средней крупности (29-40 г), полуудлиненное, полуоткрытое. Основание зерновки опушенное. Форма куста промежуточная. Морфологические особенности: от других сортов отличается наличием у части растений хлоротических и некротических пятен при появлении ржавчины, а также способностью части растений к отрастанию после скашивания в фазе полной спелости.

Среднеспелый. Вегетационный период 294-331 день. Высота растений 112-176 см. Зимостойкость выше средней. Устойчивость к полеганию средняя. Хлебопекарные качества удовлетворительные.

Сорт среднеустойчив к бурой и стеблевой ржавчине и мучнистой росе в естественных условиях и при искусственном заражении (до 50 %). Сильно восприимчив к снежной плесени.

5 ФИТОКЛИМАТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ ОЗИМОЙ РЖИ В 2006-2014 гг.

Основными понятиями фитоклиматологии являются фотосинтетически активная радиация, прямая, рассеянная радиация, соотношение между ними, радиационный баланс.

Фотосинтетически активная радиация (ФАР) является важной составляющей солнечной радиации, под действием которой осуществляется фотосинтез зелеными растениями. В процессе фотосинтеза растение использует не весь спектр солнечной радиации, а только его часть (фотосинтетически активная радиация). В разных странах в область ФАР включают разные интервалы длины волн. В Западной Европе и США эта область в интервале волн, равных 400 – 700 нм, в Японии – 395 – 715 нм. В России, согласно решению рабочего совещания по вопросам измерения оптического излучения для целей агрометеорологии, экологии и физиологии растений (1961 г.), ФАР включает интервал длины волн, равный 380 – 710 нм. В некоторых работах за фотосинтетически активную радиацию принимается область спектра в интервале длины волн 300 – 700 нм [13].

Иногда выделяется еще физиологически активная радиация (ФАР) в интервале длин волн 305 – 750 нм. Лучистая энергия этой радиации является источником энергии для всех фотохимических процессов в растениях и используется ими как для фотосинтеза, так и для регуляции многообразных физиологических процессов [14].

Информация о ФАР используется во многих отраслях народного хозяйства: в земледелии и растениеводстве, в тепличном хозяйстве, при прогнозировании продуктивности растений, фитопланктона в водоемах, при изучении круговорота углерода в природе.

Изучение фотосинтетически активной радиации было начато еще в конце XIX века, когда перед ботаниками и физиологами растений встал вопрос о «световом довольствии» растений. основополагающие исследования в области фитоактинометрии в 1950 - 1970-х годах были проведены в СССР (Х. Томинг, Ю. Росс, Х. Молдау, Б.И. Гуляев, Н.И. Гойса, Н.А. Перелет, Н.А. Ефимова, А.А. Федюшкин, В.П. Беденко и др.), а в 1970 – 1980-х годах – зарубежными исследователями [13].

Для расчета фотосинтетически активной радиации Х. Молдау, Ю. Росс, Х. Томинг, Н. Ундла было предложено следующее уравнение:

$$\sum Q_{\phi} = 0,43 \sum S' + 0,57 \sum D, \quad (6)$$

где $\sum S'$ - сумма прямой радиации, приходящей на горизонтальную поверхность;

$\sum D$ – сумма рассеянной радиации за определенный период (час, сутки, пентада, декада, месяц, вегетационный период, год) [8].

Приход прямой солнечной радиации (S') зависит от высоты солнца над горизонтом, прозрачностью и облачностью атмосферы, которая меняется как в течение суток, так и года. Это обуславливает суточный и годовой ход прямой радиации.

Рассеянная радиация (D) зависит от высоты солнца, облачности, загрязненности атмосферы и альбедо подстилаемой поверхности. Чем больше высота солнца и выше загрязненность атмосферы, тем больше поток рассеянной радиации. Облака, не закрывающие солнце, увеличивают приход рассеянной радиации по сравнению с ясным небом. Зависимость прихода рассеянной радиации от облачности сложная. Она определяется видом и количеством облаков, их вертикальной мощностью и оптическими свойствами.

Суточный и годовой ход рассеянной радиации при ясном небе соответствует ходу прямой радиации. Однако утром рассеянная радиация появляется еще до восхода солнца, а вечером – после заката. В годовом ходе максимум рассеянной радиации наблюдается летом.

Сумму рассеянной (D) и прямой (S') радиации, падающей на горизонтальную поверхность, называют суммарной (интегральной) радиацией ($Q_{\text{и}}$):

$$Q_{\text{и}} = S' + D . \quad (7)$$

Соотношение между прямой и рассеянной радиацией в составе суммарной радиации зависит от высоты солнца, облачности и загрязненности атмосферы. Чем прозрачнее атмосфера, тем меньше доля рассеянной радиации. При сплошной облачности суммарная радиация полностью состоит из рассеянной радиации.

Приход суммарной радиации при наличии облачности меняется в больших пределах. Наибольший приход $Q_{\text{и}}$ наблюдается при ясном небе или небольшой облачности, не закрывающей солнца.

Часть суммарной радиации, приходящей к деятельному слою земли, отражается от него. Деятельным слоем (поверхностью) называют тонкий слой, в котором происходит поглощение солнечной радиации, последующее нагревание и излучение. При отсутствии растительного покрова толщина деятельного слоя изменяется от долей миллиметра до нескольких сантиметров. Растительный покров составляет деятельный слой, толщина которого определяется высотой растений [13].

Отношение отраженной части радиации $R_{\text{к}}$ ко всей приходящей суммарной радиации к деятельному слою ($Q_{\text{и}}$), называют отражательной способностью или альбедо (A) данной поверхности:

$$A = (R_{\text{к}}/Q_{\text{и}}) \cdot 100 \% . \quad (8)$$

Прямая (S'), рассеянная (D) и отраженная ($R_{\text{к}}$) радиации сосредоточены в коротковолновой области спектра, имеющей длину волн, равную 0,3 – 4

мкм (300 – 4000 нм). Вне этих пределов остается менее 1 % полного излучения солнца.

Тепловые излучения деятельной поверхности и земной атмосферы составляют длинноволновую радиацию, характеризующуюся длинами волн, равных 4 – 100 мкм ($4 \cdot 10^3 - 1 \cdot 10^5$ нм).

Земная поверхность непрерывно получает и теряет тепло в результате воздействия потоков коротковолновой и длинноволновой радиации. Результирующей величиной прихода и расхода радиации является радиационный баланс (В). Величиной и знаком «В» определяется тепловое состояние земной поверхности и приземного слоя воздуха – их нагревание или охлаждение [38].

Приходная часть радиационного баланса состоит из прямой (S') и рассеянной (D) радиаций, а также встречного излучения атмосферы (E_а), расходная часть – из отраженной радиации (R_к) и излучения земной поверхности (E_з). Уравнение радиационного баланса имеет следующий вид:

$$B = [(S' + D) - R_k] - E_{эф}, \quad (9)$$

где E_{эф} – эффективное излучение, характеризующее потерю тепла земной поверхностью и равное разности между ее собственным излучением и встречным излучением атмосферы (E_а – E_з).

В зависимости от соотношения приходной и расходной частей радиационный баланс может быть как положительным, так и отрицательным. Ночью радиационный баланс становится равным балансу длинноволновой радиации, так как $B_k = 0$. Суточное значение радиационного баланса равно сумме радиационных балансов коротковолновой и длинноволновой радиации ($B_c = B_k + B_d$) [8].

Для расчета необходимых фитоклиматических величин использовался банк данных срочных наблюдений, имеющийся на метеостанции БГАУ [21]. В период вегетации культур на метеостанции БГАУ актинометрические наблюдения проводят 5 раз в сутки: в 8, 11, 14, 17, 20 часов по местному времени. Расчет суточных значений солнечной радиации не проводится. Поэтому суточные значения прямой (S'), рассеянной (D), отраженной радиации (R_к) и радиационного баланса (B_к) вычислялись нами по данным срочных наблюдений в соответствии с работой [42]. Расчет суточных сумм S', D, R_к проводился по методу трапеций:

$$\sum_c N = \frac{N_1}{2} \cdot t_1 + \left(\frac{N_1}{2} + N_2 + N_3 + N_4 + \frac{N_5}{2} \right) \cdot 180 + \frac{N_5}{2} \cdot t_2 \quad (10)$$

где N₁, N₂, N₃, N₄, N₅ – показания актинометрических приборов соответственно в 8, 11, 14, 17 и 20 часов, кал/см² мин, $t_1 = 8 - t_b$, $t_2 = t_3 - 20$. Здесь, t_b и t₃ – соответственно восход и заход солнца по местному времени [42].

Положительные дневные суммы радиационного баланса находились по формуле:

$$\sum_c B_k = \sum_c (S'+D) - \sum_c R_k. \quad (11)$$

Для расчётов суточных сумм радиационного баланса $\sum_c B$ ($\sum_c B = \sum_c B_k - \sum_c B_d$) использовались эмпирические коэффициенты, рассчитанные по данным, приведенным в работах [13, 38]. Эмпирические коэффициенты учитывают снижение величины $\sum_c B$ по сравнению с величиной $\sum_c B_k$, вызванные отрицательными значениями сумм радиационного баланса ($\sum_c B_d$) от захода до восхода солнца, когда измерения длинноволновой радиации на метеостанции БГАУ не проводятся.

По данным работы З.И. Пивоварова [38] коэффициенты для апреля, мая, июня, июля, августа, сентября составили соответственно 0,81; 0,88; 0,91; 0,90; 0,83; 0,70, по данным работы Г.М. Абакумова [13] - 0,73; 0,87; 0,90; 0,90; 0,86; 0,71. Первый и второй ряды получены соответственно по данным метеостанции Москва и Метеорологической обсерватории МГУ. При расчетах сумм суточных значений радиационного баланса использовался второй ряд. Суточные значения ФАР рассчитывались по формуле (6).

С целью выбора формулы для расчета испаряемости в период вегетации растений была выполнена статистическая оценка семи формул испаряемости, полученных разными авторами (Г.Г. Селянинов, 1937; А.М. Алпатьев, 1954; Н.Н. Иванов, 1954; М.И. Будыко, 1955; С.И. Костин, 1955; М.И. Будыко, 1956; А.И. Будаговский, 1981), которая показала, что только четыре дают довольно хорошо сходимые результаты, которые характеризуются одинаковой воспроизводимостью: А.И. Будаговского, Н.Н. Иванова и две М.И. Будыко.

Метеорологические величины, измеряемые на метеостанции БГАУ, позволяют проводить расчеты испаряемости только по формулам М.И. Будыко и Н.Н. Иванова. Однако с понижением относительной влажности воздуха, точность расчетов по формуле Н.Н. Иванова уменьшается (28).

Поэтому для расчетов испаряемости (E_0) в период весенне-летней вегетации посевов озимой ржи использовалась формула М.И. Будыко (1955 г.):

$$E_0 = \sum B_c / L, \quad (12)$$

где L – удельная теплота парообразования. При выборе значений L учитывалась температура воздуха. В таблице 6 приведены средние значения температур воздуха в период вегетации. Значение L в 2010-м году составляло 2450 кДж/кг, тогда как в 2008-м и 2009-м годах - 2466 кДж/кг.

Коэффициент использования посевами ФАР ($K_{\text{ФАР}}$) рассчитывался по формуле:

$$K_{\text{ФАР}} = Y * q * 100 / \sum_b Q_{\text{ф}}, \quad (13)$$

где Y – урожайность абс.-сухой массы зерна, кг/га;

q – калорийность зерна, Дж/кг;
 $\sum_{\text{в}} Q_{\text{ф}}$ – сумма фотосинтетически активной радиации за период вегетации, Дж/га [8].

Транспирация культур за период вегетации рассчитывалась по формуле Х. Пенмана (1972 г.). Формула для расчета транспирации имеет следующий вид:

$$\sum_{\text{в}} E_{\text{т}} = 0,4 K_{\text{ФАР}} \sum_{\text{в}} B_{\text{с}} / L, \quad (14)$$

где $\sum_{\text{в}} B_{\text{с}}$ – сумма суточных значений радиационного баланса за период вегетации, МДж/м²;

$K_{\text{ФАР}}$ – коэффициент использования фотосинтетически активной радиации (ФАР), %;

L – удельная теплота парообразования при температуре воздуха в период вегетации, Дж/м³ [36].

Коэффициент транспирации ($K_{\text{т}}$ по зерну) рассчитывался по формуле:

$$K_{\text{т}} = \sum_{\text{в}} E_{\text{т}} / Y, \quad (15)$$

где Y – урожайность абсолютно-сухого зерна, т/га.

Относительная транспирация рассчитывалась по формуле:

$$\alpha = \sum_{\text{в}} E_{\text{т}} / \sum_{\text{в}} E_{\text{о}}. \quad (16)$$

Установлено, что режим радиации формируется высотой солнца (астрономический фактор) и облачностью (циркуляционный фактор). Первый фактор приводит к тому, что от декабря к июню, следуя за ходом солнца, часовая сумма в среднем монотонно возрастает. Околополуденные суммы ФАР в течение года увеличиваются в среднем в 5-6 раз.

Облачность нарушает симметрию суточного хода, обусловленного влиянием астрономического фактора, особенно в весенне-летнее время за счет развития облачности во второй половине дня [13].

Поэтому, было исследовано соотношение между прямой (S') и рассеянной (D) радиацией в вегетационные периоды разных лет. На рисунке 7 представлен ход отношения средних за декаду суточных сумм прямой радиации к суточным суммам рассеянной радиации в разные годы.

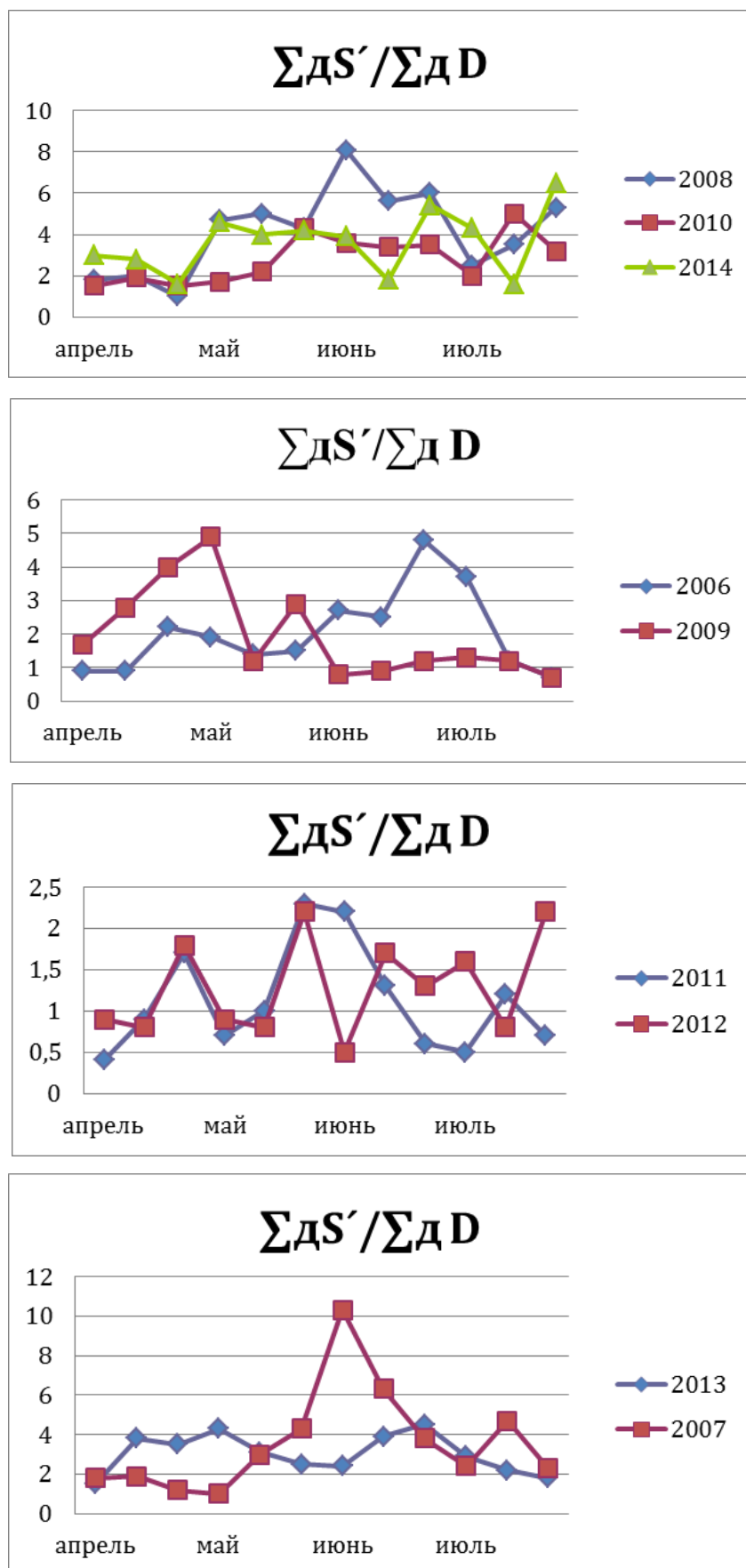


Рисунок 7 - Ход отношения средних за декаду суточных сумм прямой к суточным суммам рассеянной радиации в период вегетации в разные годы

Согласно рисунка 7, независимо от типа водного режима почв в разные годы декадные величины $\sum_d S'/\sum_d D$ изменяются в течение вегетации по синусоиде. С апреля каждого года значения $\sum_d S'/\sum_d D$ увеличиваются, достигая максимума во вторую или третью декаду июня. Начиная с июля значения $\sum_d S'/\sum_d D$ снижаются от первой до третьей декады. В гидрологические годы, характеризующиеся периодически промывным типом водного режима почв, значение $\sum_d S'/\sum_d D$ значительно выше, чем в годы с промывным режимом. Максимальное значение $\sum_d S'/\sum_d D$ были отмечено в первую декаду июня в 2007 году ($\sum_d S'/\sum_d D = 10,3$) и в 2008 году ($\sum_d S'/\sum_d D = 8,1$).

Минимальное значение $\sum_d S'/\sum_d D = 0,4$ имело место в 2011 году в третью декаду апреля.

В таблице 12 представлены декадные значения усредненных по годам суточных сумм $\sum_d S'/\sum_d D$ в годы, характеризующиеся разным типом водного режима почв. Как следует из таблицы 12, в течение всей весенне-летней вегетации значение $\sum_d S'/\sum_d D$ было выше в годы с периодически промывным типом водного режима, чем с промывным. Исключение составила третья декада апреля.

Усредненное максимальное значение $\sum_d S'/\sum_d D$ имело место в годы с периодически промывным типом водного режима и составляло 6,5 (первая декада июня). Минимальное значение $\sum_d S'/\sum_d D$ имело место в годы с промывным типом водного режима почв и составило 1,1 (первая декада апреля).

При сухой и безоблачной погоде прямая радиация превосходила рассеянную в течение вегетации в среднем в 6,5. В дождливую и облачную погоду в годы, характеризующиеся промывным типом водного режима, прямая радиация была приблизительно равна рассеянной.

В таблице 13 приведены суточные суммы радиационного баланса, фотосинтетически активной радиации и отношение прямой к рассеянной радиации за период вегетации (1) и за период весеннее кушение - выход в трубку - колошение (2006-2014 г.г.).

Как следует из таблицы 13, величина $\sum_d S'/\sum_d D$ в годы, характеризующиеся периодически промывным водным режимом почв в два раза выше, чем в годы с промывным типом. Таким образом, облачность снижает величину прямой солнечной радиации, которая является наиболее биологически активной [13].

Представленные данные указывают на то, что оптимальный световой режим в период вегетации наблюдается в июне, когда озимая рожь находится в фазах колошение и цветение. Оптимальные условия для прохождения фаз озимой ржи наблюдаются в гидрологические годы, характеризующиеся периодически промывным типом водного режима.

На рисунке 8 представлен ход средних за декаду суточных сумм радиационного баланса в период весенне-летней вегетации в разные годы.

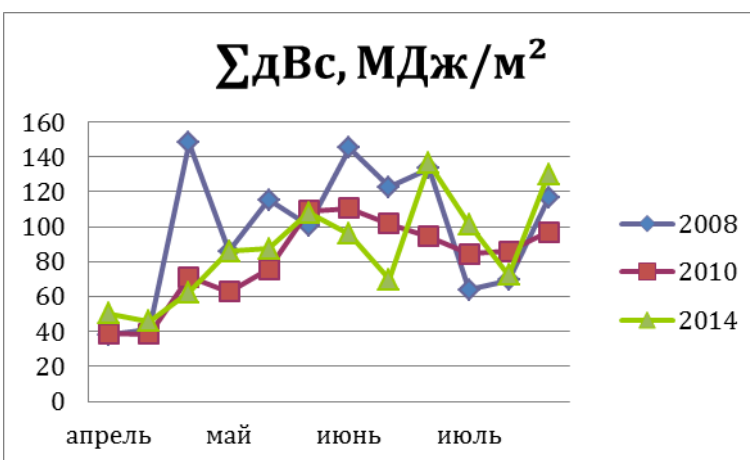
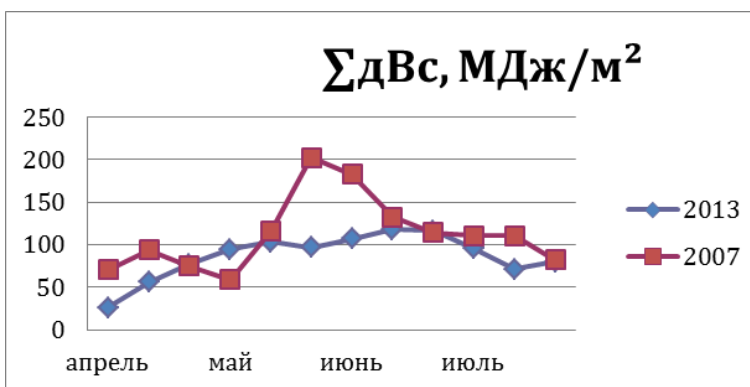
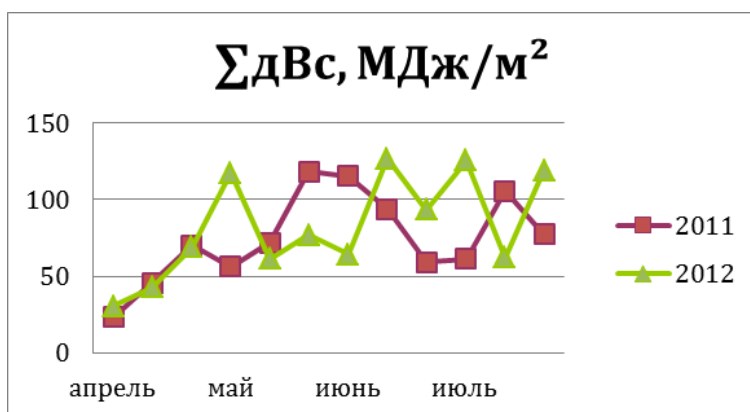
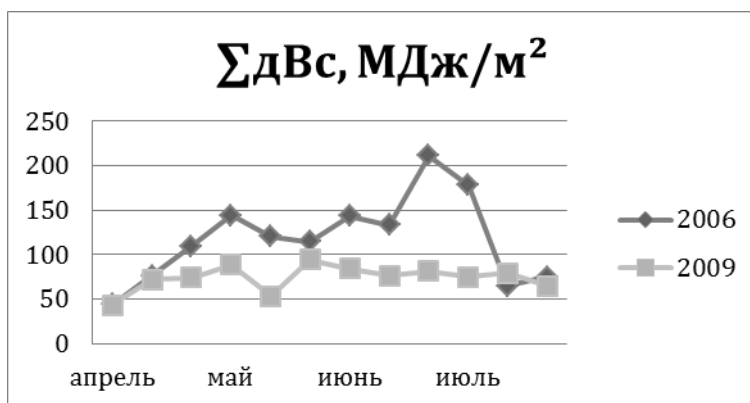


Рисунок 8 – Ход средних за декаду суточных сумм радиационного баланса в период вегетации в разные годы

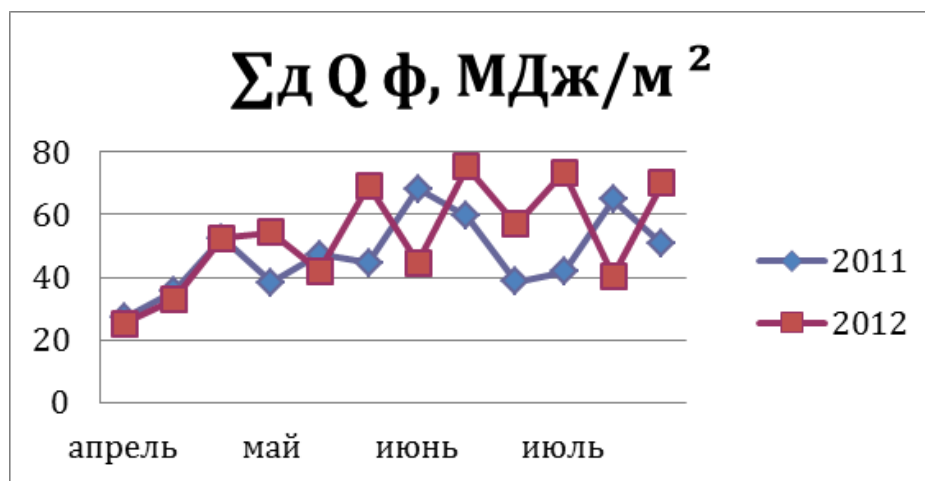
Установлено, что в гидрологические годы, характеризующиеся промывным типом водного режима, радиационный баланс возрастает от первой декады апреля до первой, второй или третьей декады июня. В июле величина $\sum_d B_c$ снижается. Исключение составил 2012 год.

В годы, характеризующиеся периодически промывным типом водного режима, величина $\sum_d B_c$ повышается от первой декады апреля до третьей декады мая (2007 г.), до первой декады июня (2008 г., 2010 г.) или до третьей декады июня (2014 г.). В июле наблюдается уменьшение величины радиационного баланса. Максимальное значение $\sum_d B_c$ (202 МДж/м²) было отмечено в 2007 г. в третью декаду мая, тогда как минимальное значение $\sum_d B_c$ (23 МДж/м²) в первую декаду апреля в 2011 году.

В таблице 12 представлены усредненные по годам значения $\sum_d B_c$ в годы, характеризующиеся разным типом водного режима. Как следует из таблицы 12, среднее значение $\sum_d B_c$ в годы, характеризующиеся периодически промывным типом водного режима, превышает это значение в годы, характеризующиеся промывным типом водного режима почв.

Как следует из таблицы 13, усредненное по годам значение $\sum_d B_c$ для лет с периодически промывным водным режимом превышает это значение в годы с промывным типом.

На рисунке 9 представлен ход средних за декаду суточных сумм ФАР в период весенне-летней вегетации в разные годы. Как следует из рисунка 9, величина $\sum_d Q_\phi$ увеличивается от первой декады апреля, достигает максимума в третью декаду мая, первую, вторую или третью декады июня. В июле величина ФАР во все годы, за исключением первой декады июля в 2006 г., резко снижается. Максимальное значение $\sum_d Q_\phi$ наблюдалось в 2006 г. (116 МДж/м²), минимальное значение – в 2012 г. (25 МДж/м²).



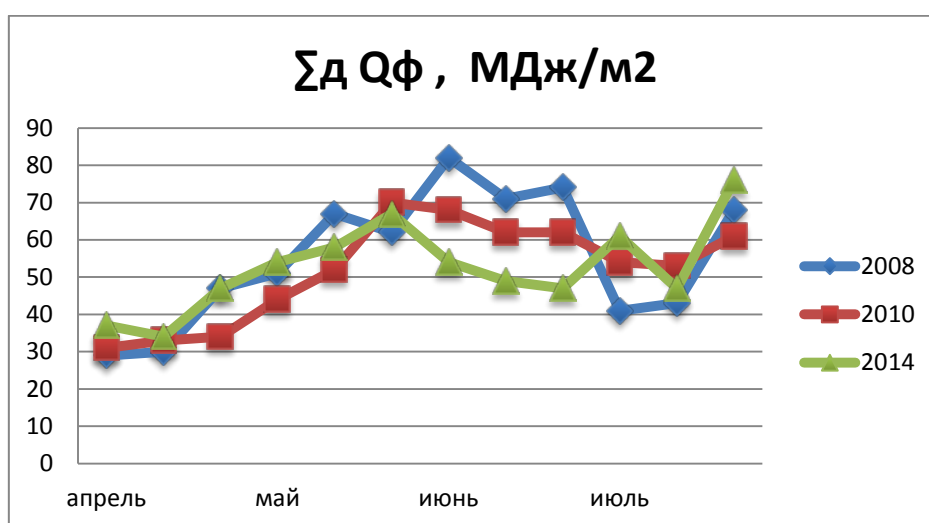
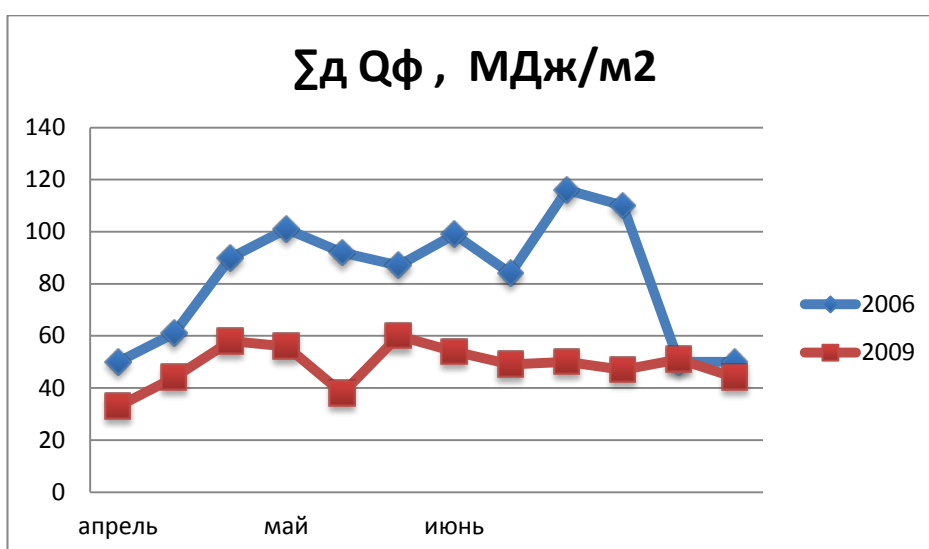
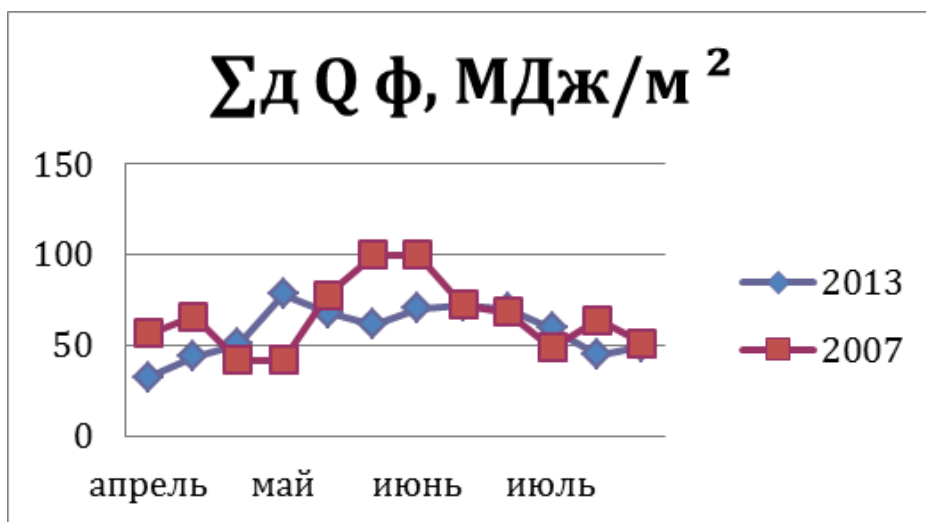


Рисунок 9 – Ход средних за декаду суточных сумм ФАР в период вегетации в разные годы

В таблице 12 представлены усредненные по годам декадные значения $\sum_d Q_{\phi}$ в годы, характеризующиеся промывным и периодически промывным водным режимом почв. Как следует из таблицы 12, декадные величины ФАР слабо зависят от типа водного режима почв.

В таблице 13 представлены суточные суммы радиационного баланса, ФАР, $\sum_d S'/\sum_d D$ за весь период вегетации и критический период весеннее кушение - выход в трубку – колошение 2006-2014 гг. Как следует из таблицы 13, максимальное значение ФАР наблюдалось в 2006 г. (992 МДж/м²), минимальное значение – в 2011 г. (568 МДж/м²).

Анализ основных показателей солнечной радиации показывает, что фито-климатический режим благоприятен для возделывания озимой ржи в Брянском регионе. Однако, существенно отметить, что оптимальные фито-климатические условия для озимой ржи имеют место в гидрологические годы, характеризующиеся периодически промывным типом водного режима почв. В эти годы посеы озимой ржи испытывают недостаток влаги в критический период роста и развития озимой ржи и в отдельные годы в период осеннего кушения.

В таблице 14 представлены данные количества осадков, испаряемости и дефицита влаги в критический период роста и развития озимой ржи. Как следует из таблицы 14, в гидрологические годы, характеризующиеся периодически промывным типом водного режима, дефицит влаги превышал почти в четыре раза дефицит влаги в годы с промывным режимом.

Таблица 12 - Декадные значения средних суточных сумм радиационного баланса, фотосинтетически активной радиации и отношения прямой к рассеянной радиации в период весенне-летней вегетации в годы, характеризующиеся промывным и периодически промывным водным режимом

Величина	Тип водного режима	Апрель			Май			Июнь			Июль		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Радиационный баланс,	1	33	58	78	100	82	100	103	109	112	107	77	83
	2	49	55	89	73	99	130	134	107	120	90	85	107
МДж/м ² ФАР, МДж/м ²	1	33	43	61	66	57	65	67	68	66	66	50	53
	2	38	41	43	48	64	75	76	64	63	51	52	64
Отношение прямой к рассеянной радиации	1	1,1	1,8	2,6	2,4	1,5	2,3	1,7	2,1	2,5	2	1,4	1,2
	2	2	8,6	1,3	3	3,5	4,3	6,5	4,3	4,7	2,8	3,7	4,3

Примечание: 1,2 – соответственно годы с промывным и периодически промывным типами водного режима.

Таблица 13 - Суточные суммы радиационного баланса, фотосинтетически активной радиации и отношение прямой к рассеянной радиации за период вегетации (1) и за период весеннее кущение – выход в трубку – колошение (2) в 2006-2014 гг.

Год	2006	2009	2011	2012	2013	2007	2008	2010	2014	Среднее	
КУ	1,54	1,45	1,67	1,61	1,9	1	1,14	1,11	0,78	1,45-1,90	1-1,14
Радиационный баланс, МДж/м ²											
1	1136	886	898	989	1033	1350	1181	970	1046	988	1137
2	608	586	594	589	669	932	798	608	606	609	736
Фотосинтетически активная радиация, МДж/м ²											
1	992	585	568	636	701	788	659	624	630	696	675
2	665	393	372	395	477	556	433	395	399	460	446
Отношение прямой и рассеянной радиации											
1	1,7	1,9	1,1	1,3	3	3,6	4,2	2,8	3,6	1,8	3,6
2	2	2,3	1,3	1,2	3,1	3,7	4,2	2,5	3,2	2	3,4

Таблица 14 - Дефицит влаги в критический период роста и развития озимой ржи (весеннее кущение - выход в трубку – колошение)

Год	2006	2009	2011	2012	2013	Среднее	2007	2008	2010	2014	Среднее
E _o , мм	247	238	241	239	272	247	378	324	248	246	299
H, мм	161,3	252,6	167,2	290,4	170,4	208	116,4	180,3	150,3	144,4	148
H-E _o , мм	-86	15	-74	51	-10,2	-39	-262	-144	-98	-102	-151

6 ТРАНСПИРАЦИЯ ПОСЕВОВ ОЗИМОЙ РЖИ

Транспирация (от лат. trans и лат. spiro – дышу, выдыхаю) – это испарение воды растением. Основным органом транспирации является лист. Вода испаряется с поверхности листьев через клеточные стенки эпидермальных клеток и покровные слои (кутикулярная транспирация) и через устьица (устьичная транспирация). Механизм кутикулярной транспирации заключается в следующем. Снаружи листья имеют однослойный эпидермис, внешние стенки клеток которого покрыты кутикулой и воском, который гидрофобизирует кожицу листа. Гидрофобный слой на поверхности листа является преградой (барьером) на пути движения жидкой влаги. На поверхности листьев часто развиты волоски, которые также влияют на водный режим листа, так как снижают скорость движения воздуха над его поверхностью и рассеивают свет и тем самым уменьшают потери воды за счет транспирации.

Интенсивность кутикулярной транспирации варьирует у разных видов растений. У молодых листьев с тонкой кутикулой она может составлять около

половины всей транспирации. У зрелых листьев с более мощной кутикулой кутикулярная транспирация равна 10% от общей транспирации. В стареющих листьях из-за повреждения кутикулы она может возрастать. Кутикулярная транспирация регулируется толщиной и целостностью кутикулы и других защитных покровных слоев на поверхности листьев.

В устьичной транспирации принимают участие устьицы. Устьица представляют собой щель в подустьичную полость, которая окаймлена двумя замыкающими клетками серповидной формы. Устьица играют важную роль в газообмене между листом и атмосферой, так как являются основным путем для водяного пара, углекислого газа и кислорода.

Устьица находятся на обеих сторонах листа. Есть виды растений, у которых устьица располагаются только на нижней стороне листа. В среднем число устьиц колеблется от 50 до 500 на 1 мм².

Транспирация через устьица идет почти с такой же скоростью, как и с поверхности чистой воды. Это объясняется тем, что через малые отверстия скорость диффузии газов пропорциональна не площади отверстия, а диаметру или длине окружности. Поэтому, хотя площадь устьичных отверстий мала по отношению к площади всего листа (0,5-2 %), испарение воды через устьица идет очень интенсивно.

Основным фактором, влияющим на открывание и закрывание устьиц, является содержание воды в листе, в том числе и в замыкающих клетках устьиц. Клеточные стенки замыкающих клеток имеют неодинаковую толщину. Внутренняя часть стенки, примыкающая к устьичной щели, более толстая, а внешняя – более тонкая. По мере того, как замыкающая клетка осмотически поглощает воду, более тонкая и эластичная часть ее клеточной стенки растягивается и оттягивает внутреннюю часть стенки. Замыкающие клетки принимают полукруглую форму и устьица раскрываются. При недостатке воды замыкающие клетки выпрямляются и устьичная щель закрывается.

Состояние устьиц зависит от углекислого газа. Если концентрация CO₂ в подустьичной полости падает ниже 0,03 %, тургор замыкающих клеток увеличивается и устьица открываются. Повышение концентрации CO₂ в воздухе вызывает закрытие устьиц. Это происходит в межклетниках листа ночью, когда в результате отсутствия фотосинтеза и продолжающегося дыхания уровень углекислого газа в тканях повышается. Такое влияние углекислого газа объясняет, почему ночью устьица закрыты и открываются с восходом солнца.

Сдвиг pH в щелочную сторону вследствие уменьшения концентрации CO₂ увеличивает активность ферментов, участвующих в распаде крахмала, тогда как при кислом pH при повышении содержания CO₂ в межклетниках повышается активность ферментов, катализирующих синтез крахмала.

В отличие от других клеток эпидермиса замыкающие клетки устьиц содержат хлоропласты. Синтез углеводов в процессе фотосинтеза в замыкающих клетках увеличивает их сосущую силу и вызывает поглощение воды, способствуя этим открыванию устьиц.

На свету замыкающие клетки устьиц содержат значительно больше калия, чем в темноте. При открывании устьиц содержание калия в замыкающих клетках увеличивается в 4 раза при одновременном снижении его содержания в сопутствующих клетках.

Установлено также повышение содержания АТФ (аденозинтрифосфорная кислота) в замыкающих клетках устьиц в процессе их открывания. АТФ, образованная в процессе фотосинтетического фосфорилирования в замыкающих клетках, используется для усиления поступления калия. Усиленное поступление ионов калия повышает осмотическое давление замыкающих клеток. В темноте ионы калия выделяются из замыкающих клеток и устьица закрываются.

Периодичность суточного хода транспирации наблюдается у многих растений, но у разных видов растений устьица функционируют неодинаково. У деревьев, теневыносливых растений, многих злаков и других гидростабильных видов с совершенной регуляцией устьичной транспирации испарение воды начинается на рассвете, достигает максимума в утренние часы. В полдень транспирация снижается и вновь увеличивается в предвечерние часы при снижении температуры воздуха. Такой ход транспирации приводит к незначительным суточным изменениям осмотического давления и содержания воды в листьях.

У видов растений, способных переносить резкие изменения содержания воды в клетках в течение дня, наблюдается одновершинный суточный ход транспирации с максимумом в полуденные часы. В обоих случаях ночью транспирация минимальна или полностью прекращается.

Транспирация включает два процесса: передвижение воды в листе из сосудов ксилемы по симпласту и, преимущественно, по клеточным стенкам, так как в стенках транспорт воды встречает меньшее сопротивление; испарения воды из клеточных стенок в межклетники и подустьичные полости с последующей диффузией в окружающую атмосферу через устьичные щели.

В результате потери воды в ходе транспирации в клетках листьев возрастает осмотическое давление, которое приводит к усилению поглощения клетками листа воды из сосудов ксилемы и передвижению воды по ксилеме из корней в листья.

Транспирация предохраняет растение от перегрева. Температура сильно транспирирующего листа может примерно на 7°C быть ниже температуры нетранспирирующего завядшего листа. Кроме того, транспирация участвует в возникновении непрерывного тока воды с растворенными минеральными и органическими соединениями из корневой системы к надземным органам растения.

Величина транспирации характеризуется количественными показателями. Интенсивность транспирации – это количество воды, испаряемой растением в г за единицу времени с поверхности в дм^2 .

Транспирационный коэффициент – это количество воды в г, испаряемой растением при накоплении им 1 г сухого вещества.

Продуктивность транспирации – это величина, обратная транспирационному коэффициенту и равна количеству сухого вещества в г, накопленного растением за период, когда оно испаряет 1 кг воды.

Относительная транспирация – это отношение воды, испаряемой листом, к количеству воды, испаряемой со свободной водной поверхности той же площади за один и тот же период времени.

В таблице 15 приведены рассчитанные значения показателей транспирации посевов озимой ржи в 2006-2014 гг. Коэффициент использования ФАР рассчитан по формуле (13), суммарная транспирация - по формуле (14), коэффициент транспирации - по формуле (15), относительная транспирация - по формуле (16).

Таблица 15 - Количественные показатели транспирации посевов озимой ржи в период весенне-летней вегетации в годы, характеризующиеся периодически промывным и промывным типом водного режима почв

Вариант	2007	2008	2010	2014	Среднее	2006	2009	2011	2012	2013	Среднее
Масса абс.-сухого зерна, т/га											
1	3,67	4,02	3,46	3,84	3,75	4,61	4,33	4,73	4,81	3,83	4,46
2	3,42	4,14	3,17	3,8	3,63	4,31	4,28	4,45	4,72	3,89	4,33
3	2,65	3,59	3,06	3,67	3,24	3,45	3,58	4,11	4,3	3,68	3,82
4	2,31	2,66	2,64	2,55	2,54	3,08	2,62	3,51	2,86	2,56	2,93
$K_{\text{ФАР}}, \%$											
1	0,95	1,34	1,24	1,4	1,23	0,99	1,61	1,74	1,71	1,18	1,45
2	0,88	1,38	1,13	1,39	1,19	0,93	1,59	1,63	1,68	1,2	1,41
3	0,68	1,2	1,09	1,34	1,08	0,74	1,33	1,51	1,53	1,14	1,25
4	0,6	0,89	0,94	0,93	0,84	0,66	0,97	1,29	1,02	0,79	0,95
$\sum_{\text{в}} E_{\text{T}}, \text{мм}$											
1	189	214	175	201	195	215	197	225	241	183	212
2	175	220	159	199	188	202	195	211	237	186	206
3	135	191	154	192	168	161	163	195	216	177	182
4	119	142	133	133	132	143	119	167	144	122	139
К.т. по зерну											
1	515	532	506	523	519	466	455	476	501	478	475
2	512	531	502	524	517	469	456	474	502	478	476
3	509	532	503	523	517	467	455	474	502	481	476
4	515	534	504	522	519	464	454	476	503	477	475
$\alpha = \sum_{\text{в}} E_{\text{T}} / \sum_{\text{в}} E_{\text{о}}$											
1	0,38	0,54	0,5	0,56	0,49	0,4	0,64	0,69	0,68	0,47	0,58
2	0,35	0,55	0,45	0,55	0,47	0,37	0,63	0,65	0,67	0,48	0,56
3	0,27	0,48	0,4	0,53	0,42	0,3	0,53	0,6	0,61	0,46	0,5
4	0,24	0,36	0,38	0,37	0,34	0,26	0,39	0,51	0,41	0,31	0,38

1/К.т., г/кг воды											
1	1,94	1,88	1,98	1,91	1,93	2,15	2,2	2,1	2	2,09	2,10
2	1,95	1,88	1,98	1,91	1,93	2,13	2,19	2,11	1,99	2,09	2,10
3	1,96	1,88	1,99	1,91	1,93	2,14	2,2	2,11	1,99	2,08	2,10
4	1,94	1,87	1,98	1,92	1,93	2,16	2,2	2,1	1,99	2,1	2,11

Примечание: 1, 2, 3, 4- варианты опыта.

1-N₁₂₀P₁₂₀K₁₂₀+N₄₅, 2-N₉₀P₉₀K₉₀+N₄₅, 3-N₆₀P₆₀K₆₀+N₄₅, 4-N₀P₀K₀

Установлено, что количественные показатели урожайности и транспирации зависят от типа водного режима почв. В гидрологические годы, характеризующиеся промывным типом водного режима ($KY > 1,33$), эти показатели выше, чем в годы с периодически промывным ($KY = 1$). Средняя урожайность зерна озимой ржи за годы исследований на первом, втором, третьем и четвертом вариантах при промывном водном режиме почв превышала урожайность при периодически промывном соответственно на 0,11; 0,7; 0,58; 0,39 т/га. Поскольку на четвертом варианте не вносились минеральные удобрения, следовательно, удобрения на 1, 2 и 3 вариантах повысили урожайность зерна на 0,32; 0,31; 0,19 т/га по сравнению с контролем.

На окультуренных агросерых лесных почвах с их высоким содержанием фосфора и калия прибавка урожая зерна от внесения минеральных удобрений была меньше, чем от более высоких запасов продуктивной влаги в метровом слое почвы при промывном типе водного режима почв. Например, максимальное значение урожайности при промывном типе водного режима наблюдалось в 2012 г. на первом варианте, равное 4,81 т/га, на контроле - 2,86 т/га. Разница в урожайности зерна составила 2,5 т/га.

Максимальная урожайность при периодически промывном типе водного режима почв наблюдалась в 2008 г., на первом варианте-4,01 т/га, на контроле-2,6 т/га. Разница в урожайности зерна составила 2,36 т/га.

Коэффициент использования ФАР служит показателем синтеза органических веществ в продукции. Значение $K_{ФАР}$ при промывном водном режиме почв превосходило это значение при периодически промывном на вариантах с внесением минеральных удобрений в 1,2 раза, тогда как на контроле в 1,1 раза. Эти цифры указывают на то, что действие удобрений при оптимальном водном режиме повышается.

Максимальное значение $K_{ФАР}$ наблюдалось в 2011 году на первом варианте (1,74%), минимальное значение - на контроле в 2007 г. (0,6%).

Транспирация посевов озимой ржи при промывном водном режиме почв выше, чем при периодически промывном на 14-18 мм в зависимости от дозы внесения удобрений, на контроле - на 7 мм.

Транспирация снижается по мере уменьшения дозы внесенных минеральных удобрений. Максимальное значение транспирации наблюдалось на первом варианте в 2012 г. (241 мм), минимальное - на контроле в 2007 г. (119 мм) и в 2009 г. (119 мм).

В таблице 16 приведены сравнительные данные величины транспирации на вариантах с внесением удобрений (1,2,3) и на контроле.

Таблица 16 - Отношение величины транспирации на вариантах с внесением удобрений (1,2,3) и на контроле

Промывной тип водного режима						Среднее по годам	Периодически промывной тип водного режима				Среднее по годам
Год	2006	2009	2011	2012	2013		2007	2008	2010	2014	
1	1,5	1,65	1,35	1,67	1,5	1,53	1,59	1,51	1,32	1,51	1,48
2	1,41	1,64	1,26	1,65	1,52	1,5	1,47	1,55	1,19	1,5	1,43
3	1,13	1,37	1,17	1,5	1,45	1,32	1,13	1,34	1,16	1,44	1,27

Примечание: 1,2,3 - варианты опыта. 1 - $N_{120}P_{120}K_{120}+N_{45}$; 2 - $N_{90}P_{90}K_{90}+N_{45}$; 3 - $N_{60}P_{60}K_{60}+N_{45}$

Данные приведенные в таблице 16, свидетельствуют что с увеличением дозы минерального удобрения повышается отношение величин транспирации по сравнению с контролем. При промывном типе водного режима отношение транспирации на вариантах 1,2,3 несколько выше, чем на контроле и выше, чем при периодически промывном.

Минеральные удобрения, независимо от типа водного режима почв, повышают транспирацию посевов озимой ржи. В условиях Брянской области в годы, характеризующиеся периодически промывным типом водного режима почв, в среднем с одного га посевов озимой ржи на 1; 2; 3 и 4 вариантах испаряется соответственно 1950; 1880; 1680; 1320 тонн воды.

В годы, характеризующиеся промывным типом водного режима почв, в среднем с одного га посевов на 1; 2; 3; 4 вариантах испаряется соответственно 2120; 2060; 1820; 1390 тонн воды. Сравнение цифр указывает на то, что на контроле, независимо от типа водного режима почв, испаряется приблизительно равное количество воды. Эти данные показывают, что посевы озимой ржи регулируют транспирацию в зависимости от содержания элементов питания и воды в почве.

Коэффициент транспирации по зерну ниже при промывном типе водного режима почв. К.т. по зерну не зависит от дозы внесенного минерального удобрения. На всех вариантах в годы исследований К.т. по зерну имел постоянное или мало изменяющееся значение. В среднем при промывном водном режиме почв значение К.т. по зерну составило 475 тонн воды на 1 тонну зерна, тогда как при периодически промывном- 518 тонн воды на 1 тонну зерна. По данным работ [29,30] К.т. по зерну озимой ржи изменяется в пределах 340-600 тонн воды на 1 тонну зерна.

Величина относительной транспирации является показателем биодоступности воды посевам культур. Величина α в годы исследований зависела от типа водного режима почв и изменялась в интервале значений 0,24-0,69. Значение α изменялось при снижении дозы минерального удобрения и на контроле достигало минимальное значение. Отсюда следует, что мине-

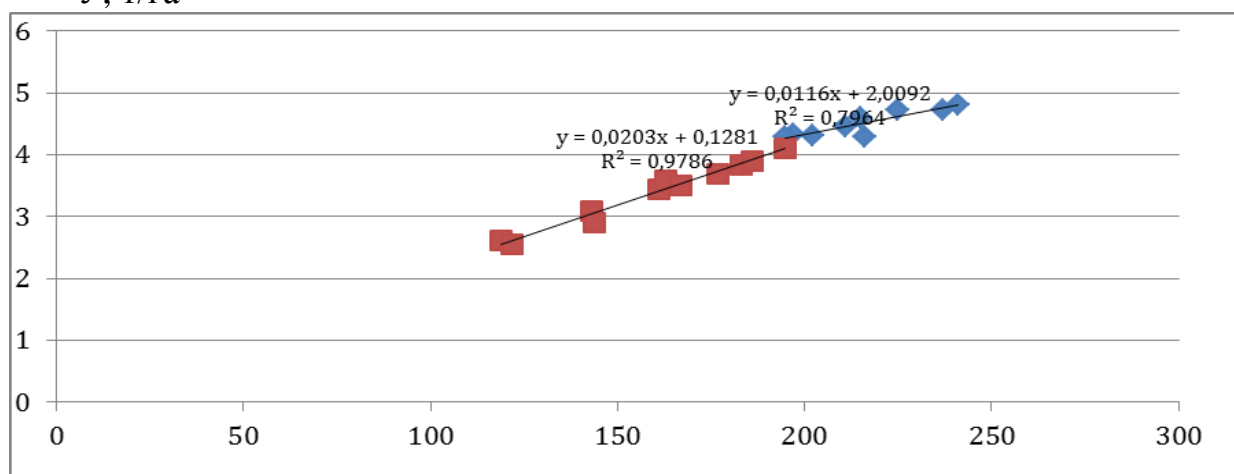
ральные удобрения повышают по сравнению с контролем биодоступность воды посевам озимой ржи. Максимальное значение α (0,69) наблюдалось в 2011 году, на варианте с максимальной дозой удобрений, тогда как минимальное значение α (0,24) наблюдалось на контроле без внесения минеральных удобрений.

Продуктивность транспирации (1/К.т., грамм/кг воды) также зависит от типа водного режима почв, при промывном водном режиме значение 1/К.т. несколько выше, чем при периодически промывном типе водного режима почв.

Таким образом, транспирация посевов озимой ржи, и ее количественные показатели зависят от типа водного режима почв. Поэтому была рассмотрена зависимость урожайности зерна озимой ржи от транспирации при разных типах водного режима почв.

На рис. 10 и 11 представлены зависимости урожайности озимой ржи от транспирации для двух типов водного режима почв.

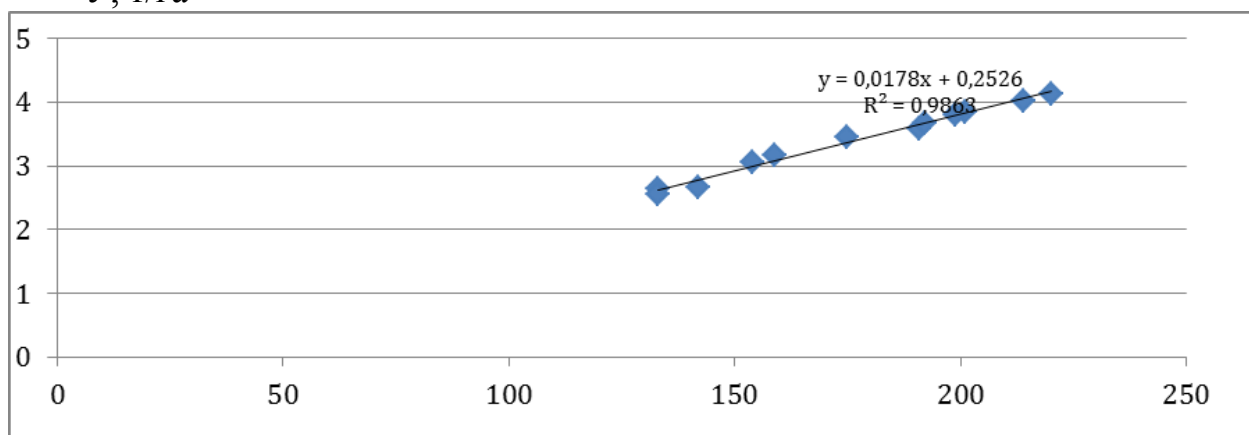
У, т/га



ΣвЕт, мм

Рисунок 10 - Зависимость урожайности озимой ржи от транспирации в условиях промывного режима почв

У, т/га



ΣвЕт, мм

Рисунок 11 - Зависимость урожайности озимой ржи от транспирации в условиях непромывного режима почв

Как следует из рис. 10,11, графики функции урожайности озимой ржи от транспирации отличаются друг от друга в зависимости от типа водного режима.

В условиях промывного водного режима функция $Y=f(\sum_v E_T)$ распадается на два отрезка (рис. 10). Первый отрезок (верхний) отражает формирование урожая при достатке элементов питания (варианты 1;2) и достатке доступной почвенной влаги. Относительная транспирация на этих вариантах составляла в среднем за 5 лет 0,53. При повышенной дозе минеральных удобрений и содержании доступной влаги, близкой к оптимальному значению ($\alpha=0,69$), имеет место максимальное поглощение солнечной радиации и ускорение процесса транспирации. Транспирация на первом варианте достигает максимальной величины за годы проведения исследований и составляет $2500 \text{ м}^3/\text{га}$ воды.

Второй отрезок функции $Y=f(\sum_v E_T)$ отражает формирование урожая зерна при внесении минеральных удобрений в минимальной дозе (вариант 3), без внесения удобрений и достатке доступной влаги. Относительная транспирация (α) или биодоступность воды снижается на этих вариантах и составляет в среднем за 5 лет (2006; 2009; 2011; 2012; 2013) 0,44. Максимальное и минимальное значение α на 3 и 4 вариантах составили соответственно 0,61 и 0,3.

Разрыв функции $Y=f(\sum_v E_T)$ наблюдается при транспирации, равной 195мм. В точке разрыва функция не имеет определенного значения. Так, транспирации, равной 195 мм, могут соответствовать значения урожайности зерна от 43 ц/га до 37 ц/га. Таким образом, без внесения удобрений и недостатке элементов питания резко снижается биодоступность воды даже при достатке почвенной влаги.

Как следует из таблицы 15, соблюдается линейная зависимость между $\sum_v E_T$ и дозой полного минерального удобрения.

Линейный характер функции $\sum_v E_T = f(N_{уд})$, независимый от внешних факторов (сорт, норма высева семян, запас продуктивной влаги, радиационный баланс, ФАР), указывает на участие осмотического механизма регулирования тургорного давления в замыкающих устьица клетках эпидермы ионами, входящими в состав удобрений. Механизм работы устьиц обусловлен тем, что только замыкающие клетки эпидермы содержат хлоропласты. На свету процесс фотосинтеза протекает только в замыкающих клетках, образующиеся сахара повышают концентрацию клеточного сока, вызывая открытие устьиц в замыкающих клетках и поступление воды в эти клетки. Вместе с водой поступают различные ионы, которые дополнительно повышают осмотическое давление, увеличивая транспирацию.

Согласно закону осмотического давления, которое выражается следующей формулой $P_{осм} = iCRT$, величина P , создаваемая раствором, зависит от количества, а не от химической природы растворенных в нем веществ. Здесь, $i = 1+a(n-1)$; a – степень диссоциации электролита, n – количество ионов в молекуле, c – молярная концентрация раствора, $\text{моль}/\text{м}^3$; R – универсальная газовая постоянная, T – температура раствора.

Из закона следует, что при внесении в почву определенного удобрения величина $P_{осм}$ и, следовательно, E_T будет зависеть от дозы и вида внесенного удобрения [47].

В условиях периодически промывного режима почв функция $Y=f(\Sigma_v E_T)$ не имеет разрывов и является непрерывной (рис. 11). Во все годы (2007, 2008, 2010, 2014) урожай зерна озимой ржи формировался при дефиците влаги (таблица 14). Среднее значение относительной транспирации за 4 года равнялось 0,43. Максимальное и минимальное значение α составили соответственно 0,56 и 0,36. При недостатке влаги посеvy озимой ржи снижают поглощение солнечной радиации для предотвращения перегрева листовой поверхности. С сокращением расхода влаги на транспирацию уменьшается биодоступность элементов питания даже на вариантах 1; 2 и снижается урожайность. Функция $Y=f(\Sigma_v E_T)$ приобретает непрерывный характер.

В корреляционной матрице отражена теснота связи между урожайностью зерна озимой ржи и транспирацией. Коэффициенты корреляции (r) между этими величинами на линейных отрезках составляют соответственно 0,89; 0,98; 0,99. Так как $r > 0,7$, связь между урожайностью зерна и транспирацией озимой ржи достаточно тесная.

Коэффициент детерминации (r^2) для отрезков функции $Y=f(\Sigma_v E_T)$ составляет соответственно 0,80; 0,98; 0,98. Это означает, что более 80%, 98% изменений в урожайности обусловлено изменениями в транспирации и только 20%, 2%, 2% изменений связано с другими факторами.

Коэффициент регрессии для отрезков составляет соответственно 0,0116; 0,0203; 0,178. Это означает, что при изменении транспирации на 10мм, урожайность зерна изменяется при промывном водном режиме почв и достатке влаги, элементов питания на 1ц/га; при недостатке влаги и недостатке, а также достатке элементов питания на 2 ц/га.

По данным И.С. Шатилова [49] при увеличении транспирационного расхода влаги на 10 мм урожайность зерна озимой пшеницы увеличивается на 2,8 ц/га.

Анализ данных, представленных на рис. 10, 11, позволяет заключить, что посеvy озимой ржи регулируют поглощение солнечной радиации, воды, элементов питания в течение весенне-летней вегетации.

7 ЗАВИСИМОСТЬ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТРАНСПИРАЦИИ ОТ ФИТОКЛИМАТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

Транспирационный коэффициент, продуктивность транспирации, относительная транспирация используются для описания водного обмена растений. Поэтому представляется целесообразным рассмотреть зависимость количественных характеристик транспирации от фитоклиматических показателей.

Как следует из таблицы 15, коэффициент транспирации по зерну (К.т. по зерну) не зависит от уровня минерального питания посеvов озимой ржи. При разных дозах внесения минеральных удобрений и даже без внесения, на кон-

троле, К.т. по зерну сохраняет постоянное значение. Однако его значение изменяется в зависимости от типа водного режима почв. При промывном типе водного режима почв значение К.т. по зерну меньше, чем при периодически промывном.

Учитывая, что основными факторами транспирации и урожайности культур являются радиационный баланс и ФАР, были рассчитаны значения $\sum B_c / \sum Q_\phi$ для каждого года исследований (2006-2014 гг.).

Для расчета были использованы данные таблицы 12. Среднее значение $\sum B_c / \sum Q_\phi$ для периодически промывного типа водного режима почв и промывного составили соответственно 1,59 и 1,46, а их отношение равно 1,09. Отношения значений К.т. по зерну для двух типов водного режима также равно 1,09 (518/475). Из равенства $(\sum B_c / \sum Q_\phi)_1 / (\sum B_c / \sum Q_\phi)_2 = (К.т.)_1 / (К.т.)_2$ следует, что величина К.т. по зерну озимой ржи зависит от отношения величин радиационного баланса и ФАР.

Энергия ФАР используется для регулирования водного обмена растений, влияет на биодоступность почвенной влаги. На рис. 12 представлены зависимости между величинами ФАР и относительной транспирации на контроле и при внесении минеральных удобрений.

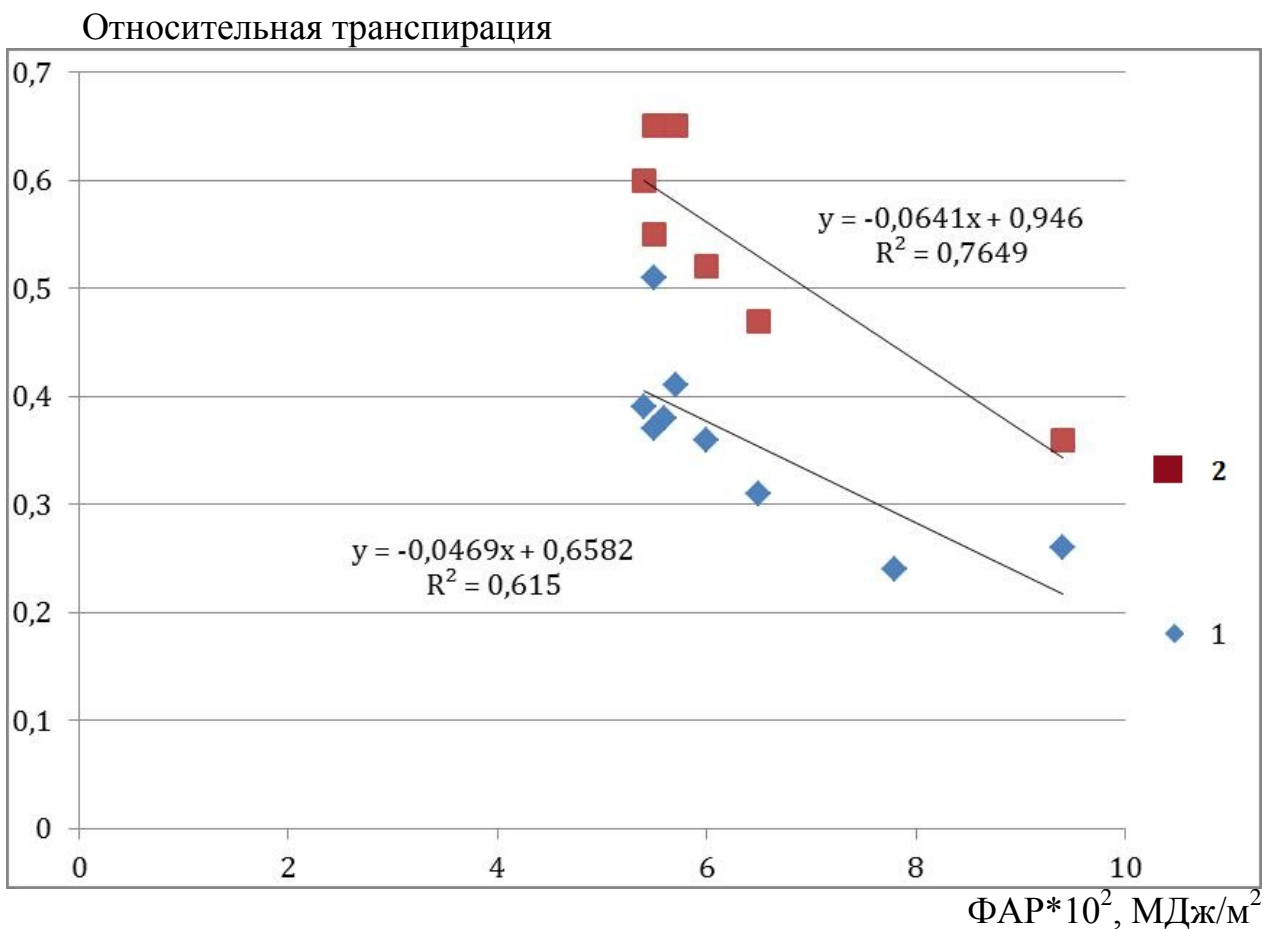


Рисунок 12 - Влияние ФАР на величину относительной транспирации.
1-контроль, 2-внесение минеральных удобрений

Соблюдается линейная зависимость между значениями ФАР и относительной транспирацией. Минеральные удобрения значительно повышают транспирацию и, следовательно, биодоступность воды посевам озимой ржи. При одном значении ФАР величина относительной транспирации выше на вариантах с внесением удобрений, чем на контроле. С увеличением ФАР разность ($\alpha_y - \alpha_k$) уменьшается. С увеличением ФАР относительная транспирация снижается из-за возросшей испаряемости (E_0).

Коэффициент использования ФАР ($K_{\text{ФАР}}$) посевами озимой ржи изменяется в большом интервале значений. В годы с периодически промывным типом водного режима почв интервал значений $K_{\text{ФАР}}$ составил 1,4-0,6%, с промывным- 1,74 – 0,66%.

Учитывая зависимость $K_{\text{ФАР}}$ от типа водного режима почв, была рассмотрена связь между $K_{\text{ФАР}}$ и относительной транспирацией ($\alpha = \sum_{\text{в}} E_{\text{Т}} / \sum_{\text{в}} E_0$). На рисунке 13 представлена зависимость $K_{\text{ФАР}}$ от относительной транспирации на разных вариантах опыта.

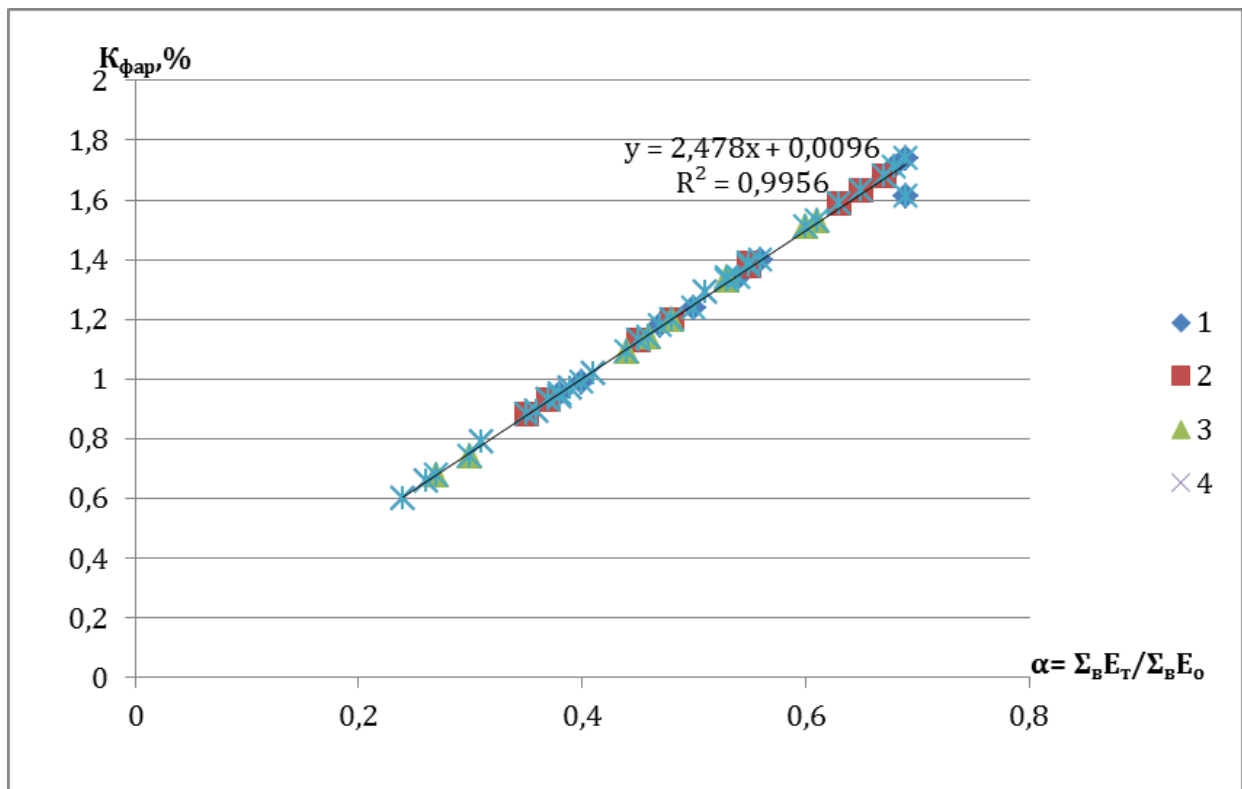


Рисунок 13 - Зависимость коэффициента поглощения ФАР ($K_{\text{ФАР}}$, %) от относительной транспирации ($\alpha = \sum_{\text{в}} E_{\text{Т}} / \sum_{\text{в}} E_0$). 1, 2, 3, 4- варианты опыта

Соблюдается линейная зависимость между значениями $K_{\text{ФАР}}$ и $\sum_{\text{в}} E_{\text{Т}} / \sum_{\text{в}} E_0$ при разных дозах внесения минеральных удобрений. Коэффициент корреляции составил 0,997, что указывает на очень тесную связь между величинами. Коэффициент детерминации r^2 составил 0,9956. Это означает, что 99,6 процента изменений $K_{\text{ФАР}}$ обусловлено изменениями в относительной транспирации и только 0,4% изменений связано с другими факторами.

$K_{\text{ФАР}}$ зависит от степени доступности почвенной влаги растениям в процессе транспирации.

Энергия ФАР используется растениями для биосинтеза белка, крахмала и других органических соединений. На рис. 14 представлены кривые содержания белка (%) в зерне озимой ржи в зависимости от величины ФАР на контроле и при разных дозах внесения минеральных удобрений.

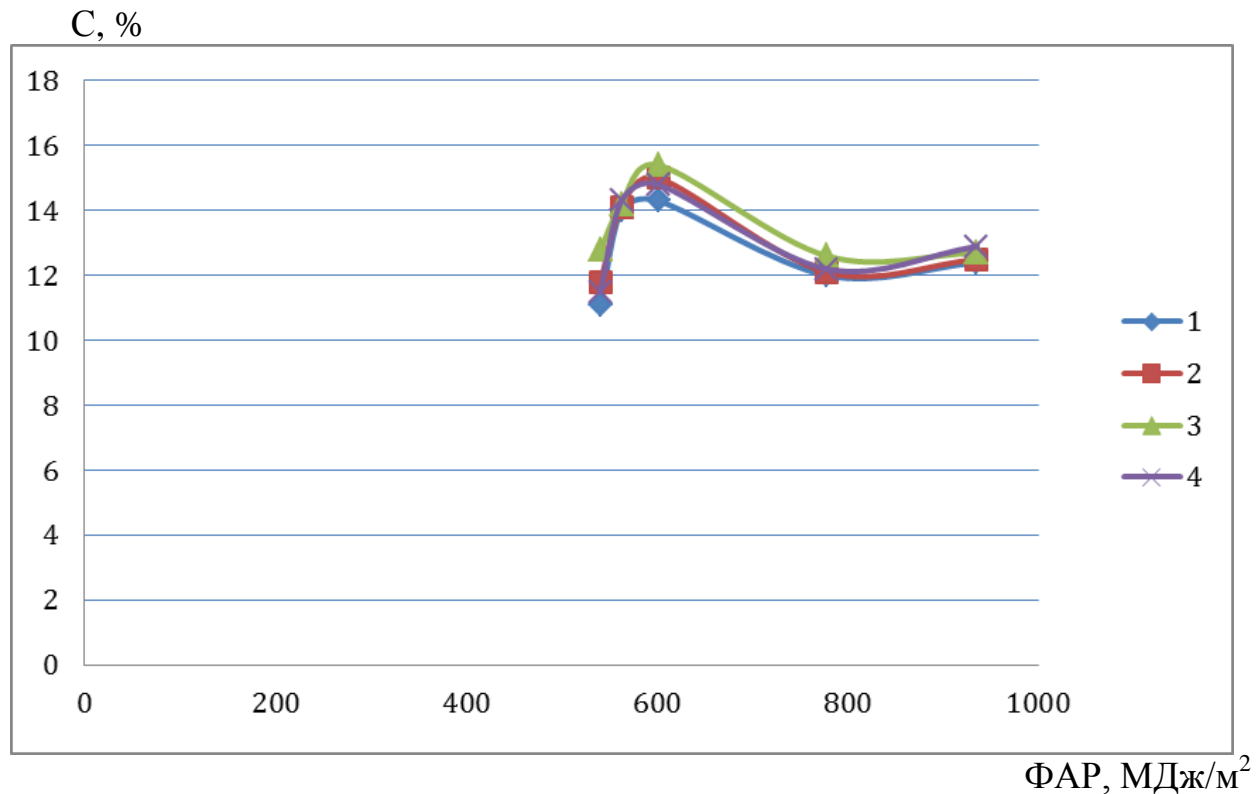


Рисунок 14 - Влияние ФАР на содержание сырого белка в зерне озимой ржи (%). 1-контроль, 2,3,4 – внесение минеральных удобрений

Установлено, что все кривые имеют одинаковый ход, сдвигаясь вверх по сравнению с контролем до 2-х % в зависимости от дозы внесенного удобрения.

Самое низкое содержание белка в зерне наблюдалось при значении ФАР, равном 541 МДж/м² (2009 г.), которое при небольшом повышении ФАР, равном 563 МДж/м² (2010 г.), несколько увеличиваясь, достигало максимума, равного 14,3; 15; 15,4; 14,8% соответственно на контроле и на вариантах с внесением удобрений при ФАР, равном 602 МДж/м² (2008 г.). Затем при увеличении ФАР до 779 МДж/м² (2007 г.) содержание белка резко снижалось до 12,0; 12,1; 12,6; 12,2 % соответственно на контроле и вариантах с внесением однократной (N₇₀P₃₀K₆₀), двукратной и трехкратной доз удобрений. При дальнейшем повышении ФАР до 936 МДж/м² сохраняло минимальные значения.

Таким образом, оптимальное значение ФАР для биосинтеза белка в зерне озимой ржи наблюдалось в 2008 г. и составило 602 МДж/м². КУ в пе-

риод весенне-летней вегетации в 2008 г. равнялся 0,6. При больших и меньших значениях ФАР и КУ имело место снижение содержания белка в зерне озимой ржи.

На рис. 15 представлены кривые содержания крахмала (%) в зерне озимой ржи в зависимости от величины ФАР при разных дозах внесения минеральных удобрений и на контроле.

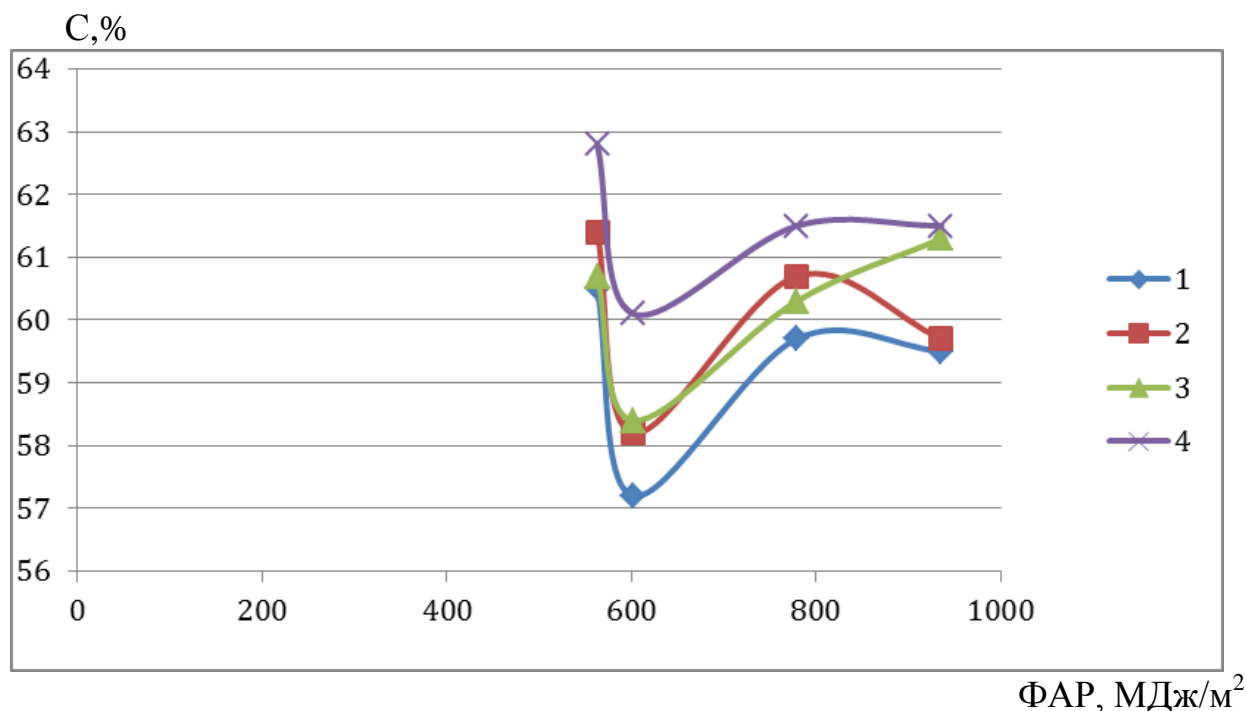


Рисунок 15 - Влияние ФАР на содержание крахмала в зерне озимой ржи (%).
1-контроль; 2,3,4-внесение минеральных удобрений

Ход кривых содержания крахмала в зерне противоположен ходу содержания сырого белка в зерне озимой ржи. Максимальному содержанию белка при ФАР, равном 600 МДж/м² и КУ, равном 0,6, соответствует минимальное содержание крахмала в зерне. Максимальное содержание крахмала в зерне озимой ржи получено при значении ФАР, равном 563 МДж/м² (2010 г.), при внесении высокой дозы минеральных удобрений (N₂₁₀P₉₀K₁₈₀). Содержание крахмала в зерне озимой ржи зависит от дозы минеральных удобрений, увеличиваясь с повышением дозы до 3% по сравнению с контролем.

Из рис. 14 и 15 следует, что процессы образования белка и крахмала в зерне озимой ржи протекают одновременно, но с разной интенсивностью в зависимости от величины ФАР и биодоступности воды. При значениях ФАР, меньших и больших 600 МДж/м², а также при КУ, большем и меньшем 0,6, содержание белка в зерне озимой ржи резко снижается от максимального значения.

В отличие от белка, содержание крахмала в зерне не подвержено резкими колебаниям в зависимости от ФАР и КУ. Интенсивное накопление крахмала в зерне наблюдается во всем интервале значения ФАР (541-936 МДж/м²)

и КУ (0,3-0,89) в течение весенне-летней вегетации. Даже при высоком значении ФАР (936 МДж/м²) и недостатке влаги (КУ=0,3) образующиеся в процессе фотосинтеза углеводы полимеризуются в хлоропластах и формируют крахмальные зерна.

За последние 9 лет оптимальные условия для получения зерна озимой ржи с высоким содержанием белка и пониженным содержанием крахмала сложились, кроме 2008 года, в 2013 году.

Широкое использование зерна озимой ржи в хлебопекарной промышленности обуславливает ряд специфических требований, предъявляемых к его качеству. Установлено, что с увеличением белка в зерне ржи свыше 11% ухудшается качество ржаного хлеба. Содержание сырого белка в зерне озимой ржи, предназначенное для выпечки хлеба, не должно превышать 11,5% [20]. Этому требованию соответствует зерно озимой ржи, полученное лишь в 2009г., при ФАР, равном 541 МДж/м² и КУ, равном 0,89.

Выращенный урожай озимой ржи в зависимости от сложившегося фито-климатического режима может быть использован для разных целей. Зная значение суммы ФАР от периода весеннего кущения до восковой спелости, можно заранее планировать использование полученного урожая зерна в текущем году.

8 ЭВАПОТРАНСПИРАЦИЯ ПОСЕВОВ ОЗИМОЙ РЖИ

Эвапотранспирация (суммарное испарение, водопотребление) – количество воды, переходящей в атмосферу в виде пара в результате транспирации растений и физического испарения из почвы и с поверхности растений [32].

Количество воды, затрачиваемое на синтез единицы зерна, принято называть коэффициентом эвапотранспирации (коэффициентом водопотребления).

К настоящему времени во всех регионах возделывания зерновых культур исследована зависимость урожаев зерна разных зерновых культур от эвапотранспирации. Недостаточно рассмотрены вопросы, связанные с исследованием зависимости урожайности от эвапотранспирации при разных уровнях минерального питания и влагообеспеченности посевов культур, а также вклады транспирации и физического испарения с поверхности почвы под пологом растительного покрова в суммарный расход влаги в почвенно-климатических условиях Брянской области.

Полевые опыты по изучению процесса эвапотранспирации проводились на опытах с посевами озимой ржи в 2011-2014 гг. Отбор образцов почвы на определение влажности в каждом слое, равном 10 см, до глубины одного метра проводили в первую декаду апреля, после уборки урожая и в фазы развития озимой ржи. По окончании опыта рассчитывали запасы влаги в метровом слое почвы.

Расчет эвапотранспирации проводился по формуле:

$$\Sigma_{\text{в}} E_{\text{эт}} = (V_{\text{о}} - V_{\text{к}}) + \Sigma_{\text{в}} H, \quad (17)$$

где $V_{\text{о}}$, $V_{\text{к}}$ – соответственно запасы влаги в метровом слое почвы в начале и конце весенне-летней вегетации (мм),

$\Sigma_{\text{в}} H$ – сумма осадков за период весенне-летней вегетации (мм).

Коэффициент эвапотранспирации по зерну рассчитывался по формуле:

$$K_{\text{эт}} = \Sigma_{\text{в}} E_{\text{эт}} / Y, \quad (18)$$

где Y – урожай абсолютно-сухого зерна, т/га. Физическое испарение определялось как разность между эвапотранспирацией и рассчитанными по формуле (14) значениями транспирации посевов озимой ржи.

Сравнительные данные между эвапотранспирацией посевов озимой ржи и физическим испарением воды из почвы приведены в таблице 17.

Таблица 17 - Соотношение между эвапотранспирацией посевов озимой ржи и физическим испарением воды из почвы под пологом растительного покрова

Год	Осадки, мм, $\Sigma_{\text{в}} H$	Испаряемость, мм	КУ	Эвапотранспирация, мм, $\Sigma_{\text{в}} E_{\text{эт}}$				Физическое испарение, мм, $\Sigma_{\text{в}} E_{\text{п}}$				$\Sigma E_{\text{п}} / \Sigma_{\text{в}} E_{\text{эт}}$, %				К. эт. по зерну			
				1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
2011	237	364	0,65	367	393	355	341	142	182	160	174	39	46	45	51	776	658	864	971
2012	326	352	0,92	428	432	430	466	187	195	214	322	44	45	50	69	890	915	1000	1629
2013	240	388	0,62	286	348	348	294	103	162	171	172	36	47	49	58	747	895	946	1148
2014	173	359	0,48	313	360	360	384	112	161	168	251	36	45	47	65	815	947	981	1506

Примечание: $\Sigma_{\text{в}} H$ – сумма осадков за период вегетации, мм; $\Sigma_{\text{в}} \Sigma_{\text{о}}$ – суммарная испаряемость за период вегетации; КУ – коэффициент увлажнения в период вегетации, равный отношению суммы осадков к испаряемости; $\Sigma_{\text{в}} \Sigma_{\text{эт}}$ – эвапотранспирация (водопотребление), мм; $\Sigma_{\text{в}} \Sigma_{\text{п}}$ – физическое испарение воды под пологом растительного покрова озимой ржи за период вегетации, мм; К. эт. по зерну – коэффициент эвапотранспирации по зерну, равный отношению водопотребления к урожаю зерна озимой ржи. 1, 2, 3, 4 – варианты опыта: 1- $N_{120}P_{120}K_{120}+N_{45}$; 2- $N_{90}P_{90}K_{90}+N_{45}$; 3- $N_{60}P_{60}K_{60}+N_{45}$; 4- $N_0P_0K_0$.

Установлено, что эвапотранспирация зависит от количества осадков и испаряемости, достигая максимального значения, в среднем равного 439 мм, при коэффициенте увлажнения в период весенне-летней вегетации, равном 0,92. При КУ, равном 0,6 и 0,5, эвапотранспирация изменяется в небольшом интервале значений в среднем по вариантам, равном 319 – 354 мм.

Физическое испарение воды под пологом посевов озимой ржи зависит от уровня минерального питания растений. На всех вариантах опыта физическое

испарение влаги из почвы увеличивается с уменьшением дозы внесения минеральных удобрений, достигая максимума на контроле. С уменьшением доз минеральных удобрений снижается сплошность растительного покрова и соответственно повышается доля физического испарения от эвапотранспирации. В среднем за 2011-2014 гг. расход почвенной влаги на физическое испарение на 1, 2, 3, 4 вариантах составил соответственно 39; 41; 48; 61 % от эвапотранспирации.

Коэффициент эвапотранспирации по зерну или суммарный расход воды на фоне удобрений (1, 2, 3 варианты) составил соответственно 807, 854, 948, тогда как на контроле – 1313.

И.С. Шатилов (1978) отмечал: «В тех случаях, когда нет сведений о транспирационном расходе воды, кажется, что удобрения способствуют растениям более экономно расходовать воду, в действительности оказывается, что коэффициент транспирации в зависимости от культуры по фонам питания в два – пять раз меньше коэффициента эвапотранспирации и почти не зависит от уровня минерального питания» [49]. Как следует из таблицы 15, коэффициент транспирации посевов озимой ржи не зависит от дозы минеральных удобрений. Это различие между транспирацией и эвапотранспирацией можно объяснить тем, что на фоне минеральных удобрений значительно снижается физическое испарение под пологом растительного покрова и повышается доля воды, расходуемая растением на транспирацию. К. эт. превосходил К. т. по зерну на 1, 2, 3, 4 вариантах в среднем за годы исследований в 1,6; 1,7; 1,9; 2,6 раза.

В таблице 18 приведено соотношение между транспирацией и эвапотранспирацией.

Таблица 18 - Соотношение между эвапотранспирацией посевов озимой ржи и транспирацией

Год	$\Sigma_v E_{эт} / \Sigma_v E_o$				$\Sigma_v E_{эт} / (\Sigma_v E_{эт})_к$				$\Sigma_v E_t / \Sigma_v E_{эт}, \%$				К.эт/ К.т. по зерну			
	1	2	3	4	1	2	3	сред- нее	1	2	3	4	1	2	3	4
2011	1,0	0,80	0,97	0,94	1,35	1,26	1,17	1,26	61	54	55	49	1,63	1,39	1,82	2,04
2012	1,0	1,0	1,0	1,0	1,67	1,65	1,5	1,61	56	55	50	31	1,78	1,82	1,99	3,24
2013	0,74	0,9	0,9	0,76	1,5	1,52	1,45	1,49	64	53	51	42	1,56	1,87	1,97	2,41
2014	0,68	0,78	0,78	0,83	1,51	1,5	1,44	1,48	64	55	53	35	1,56	1,81	1,81	2,88
Сред- нее значе- ние	0,85	0,87	0,91	0,88	1,51	1,48	1,39		61	54	52	39	1,63	1,72	1,9	2,64

Примечание: $\Sigma_v E_{эт}$ – эвапотранспирация, мм; $\Sigma_v E_o$ – испаряемость за весенне-летний период вегетации, мм; $\Sigma_v E_t$ – транспирация, мм; 1, 2, 3, 4 – варианты опыта. 1- $N_{120}P_{120}K_{120}+N_{45}$; 2- $N_{90}P_{90}K_{90}+N_{45}$; 3- $N_{60}P_{60}K_{60}+N_{45}$; 4- $N_0P_0K_0$.

На 1, 2, 3, 4 вариантах доля транспирации от эвапотранспирации в годы исследований составила соответственно 61, 59, 52, 39 %. Следовательно, име-

ет место снижение доли транспирации от эвапотранспирации при снижении дозы минеральных удобрений.

Сравнение эвапотранспирации с испаряемостью показывает, что при КУ в период весенне-летней вегетации, равном 0,65; 0,92 (2011, 2012 гг.), сумма расходов влаги на эвапотранспирацию приближается к суммарной испаряемости. Это означает, что под пологом растительного покрова озимой ржи в течение вегетации сохраняется увлажненная поверхность почвы.

В интервале значений КУ, равном 0,48 – 0,62 (2013, 2014 гг.), под пологом растительного покрова озимой ржи формируется просохший слой почвы, который, как мульча, снижает физическое испарение. В эти годы отношение эвапотранспирации к испаряемости уменьшается и становится равным 0,8.

Сравнение транспирации на варианте с внесением минеральных удобрений и на контроле показывает, что в среднем за годы исследований отношение транспирации к транспирации на контроле равно 1,4 – 1,5. Следовательно, внесение минеральных удобрений значительно ускоряет процесс транспирации по сравнению с контролем.

На рисунке 16 представлены зависимости урожаев зерна яровой пшеницы и кукурузы от используемых ими в период вегетации количеств воды на полях с высокой агротехникой и глубоким стоянием грунтовых вод [41].

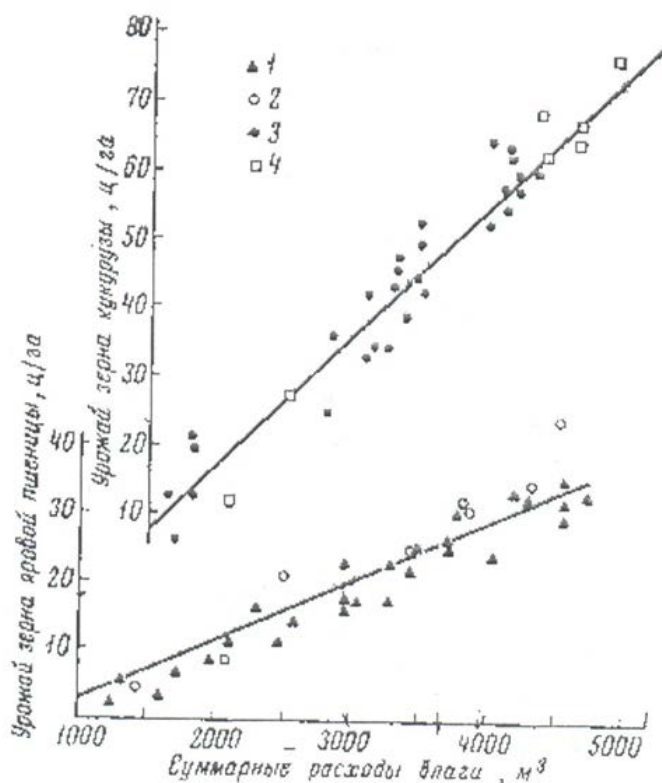


Рисунок 16 - Зависимость урожаев зерна кукурузы и яровой пшеницы от суммарных расходов влаги за период вегетации на полях с высокой агротехникой и глубоким стоянием грунтовых вод. 1 - Кулундинская степь, 2 - Оренбургская степь, 3 - Поволжье, 4 – Северный Кавказ [41]

Установлено, что во всем интервале суммарного испарения влаги (100-500 мм), независимо от достатка почвенной влаги, соблюдается непрерывная, линейная зависимость между урожаем зерна и эвапотранспирацией.

На рисунке 17 приведены зависимости урожайности озимой ржи от эвапотранспирации при разных дозах внесения минеральных удобрений и равном достатке почвенной влаги.

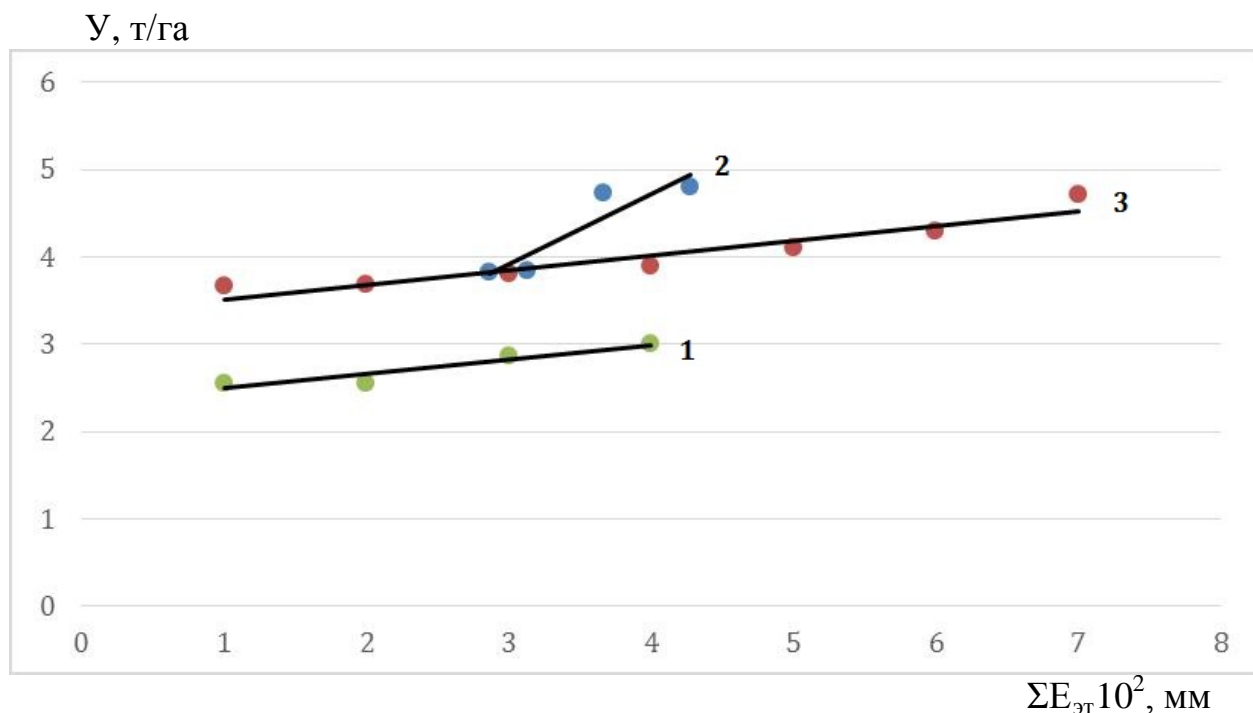


Рисунок 17 - Зависимости урожаев озимой ржи от эвапотранспирации на разных вариантах опыта. 1- Контроль, 2-Максимальная доза внесения минеральных удобрений, 3- Уменьшенная доза минеральных удобрений

Как следует из рисунка 17, для каждого уровня минерального питания растений, при одном и том же интервале значений эвапотранспирации, равном 200-500 мм, соблюдается отдельная функция урожайности от транспирации. Это означает, что минеральные удобрения коренным образом изменяют процессы транспирации и физического испарения и, следовательно, формирование урожайности озимой ржи.

9 ВЛИЯНИЕ ТРАНСПИРАЦИИ НА УДЕЛЬНУЮ АКТИВНОСТЬ РАДИОЦЕЗИЯ В ЗЕРНЕ ОЗИМОЙ РЖИ

После катастрофы на ЧАЭС (26 апреля 1986 г.) радионуклиды выпали в составе топливных и конденсационных частиц. К топливным относят частицы ядерного топлива или урановой руды. С топливными частицами выпал весь Pu, 5% Sr и Cs. Конденсационные частицы образовались после взрыва путем взаимодействия разных газов. При высокой температуре, достигающей 1 млн. градусов, вещества превратились в пар. После реакции и остывания

образовались новые соединения, такие как SrCO_3 , CsCO_3 . Топливные и конденсационные частицы, выпавшие из атмосферы с дождями, осели на поверхность почвы. Конденсационные и топливные частицы под действием почвенного раствора начинают растворяться. В почвенный раствор переходят растворимые соединения Sr-90 и Cs-137.

Поведение радионуклидов, входящих в состав растворимых соединений, определяется адсорбционными свойствами почвы или ППК, основную часть которого составляют коллоиды. Чем больше в почве илистых и коллоидных частиц, тем выше емкость поглощения почвы и больше величина адсорбции Sr и Cs. Емкость поглощения зависит от механического состава, pH, содержания гумуса, минералогического состава коллоидных частиц. Наиболее прочно Sr и Cs закрепляются в черноземах, наименее прочно в дерново-подзолистых почвах.

Сорбция радионуклидов почвами снижает размеры их поступления в растения. Чем полнее радионуклиды поглощаются ППК, тем в меньших количествах присутствуют в почвенном растворе и в меньших количествах поступают в растения.

Вынос радионуклидов за пределы пахотного слоя снижает размеры накопления их в урожае с.-х. культур.

Аккумуляция сорбированных радионуклидов в пахотном слое, слое наибольшего распространения корней, приводит к загрязнению урожая.

Соединения Sr и Cs находятся в почвах в 4 формах:

1. Водорастворимая, вытесняется из почвы водой, находится в виде водорастворимых солей: $\text{Sr}(\text{HCO}_3)_2$, CsHCO_3 .

2. Обменная (адсорбционная), катионы Sr^{2+} и Cs^+ вытесняются из почвы катионом $\text{NH}_4^+(\text{CH}_3\text{COONH}_4)$.

3. Необменная (извлекается из почвы $b_n \cdot \text{HCl}$). Sr и Cs входят в состав труднорастворимых соединений.

4. Прочнофиксированная, не вытесняется никакими экстрагентами. Катион Cs входит в состав кристаллической решетки минералов: глинные минералы, гидрослюды, замещая в них K^+ , NH_4^+ , Na^+ .

В отличие от ^{90}Sr ^{137}Cs в больших количествах (70%) переходит в прочносвязанное состояние.

Формы нахождения ^{90}Sr и ^{137}Cs определяют их дальнейшее поведение в почвенном профиле. Поскольку 70% ^{137}Cs от общего его количества может быть связано почвой, миграция его по профилю менее выражена, чем ^{90}Sr . При этом следует отметить что ^{90}Sr , в отличие от ^{137}Cs , не образует прочносвязанных форм.

Радионуклиды не влияют на величину и технологическое качество урожая, однако могут накопиться в нем в таком количестве, что он станет не пригоден для пищевого использования по нормам радиационной безопасности.

В связи с этим во всех хозяйствах, расположенных на загрязненных землях, должны проводиться специальные мероприятия, которые позволяют сни-

зять уровень радиоактивного загрязнения производимой продукции до допустимых величин.

Комплекс мероприятий, направленных на получение продукции, отвечающей радиологическим стандартам, включает организационные, агротехнические, технологические, агрохимические приемы.

В работах Н.М. Белоуса с соавторами [3], Г.П. Малявко и И.Н. Белоуса [19, 20] исследовалось влияние 10 технологий возделывания озимой ржи на урожайность и удельную активность ^{137}Cs в зерне. Технологии включали внесение разных доз органических и минеральных удобрений, обработку посевов пестицидами, дробное внесение минеральных удобрений в разные фазы развития озимой ржи. Исследования проводили в многолетнем стационарном полевом опыте на Новозыбковской сельскохозяйственной опытной станции ВНИИ люпина.

Почва опытного участка – дерново-подзолистая, рыхлопесчаная, сформированная на древнеаллювиальной супеси, подстилаемой связным песком. Мощность гумусового горизонта составляет 20-22 см. Исходные показатели агрохимической характеристики почвы пахотного слоя следующие: содержание органического вещества 2,4-2,5%; pH_{KCl} - 6,7-6,9; гидролитическая кислотность (по Каппену-Гильковичу) - 0,58-0,73 мг-экв/100 г почвы; сумма поглощенных оснований - 7,18-16,88 мг-экв/100 г почвы; содержание подвижного P_2O_5 и обменного K_2O (по Кирсанову) соответственно 38,5-51,0 и 6,9-11,7 мг на 100 г почвы. Плотность загрязнения почвы ^{137}Cs колебалась в пределах 526-666 кБк/м².

Опыт развернут в плодосменном севообороте со следующим чередованием культур: картофель – овес – люпин на зеленый корм - озимая рожь. Севооборот заложен в 1993 году, с 2009 года началась пятая ротация.

Объект исследований – сорт озимой ржи Пуховчанка.

В эксперименте применялся системный подход к исследованиям. В качестве единственного различия выступал не отдельный агроприём, а завершённая технология. Сравнивали и объективно оценивали 10 технологий возделывания озимой ржи, отличающиеся между собой уровнем интенсификации.

В качестве органического удобрения использовали подстилочный навоз крупного рогатого скота с удельной активностью ^{137}Cs в среднем 890 Бк/кг, химический состав навоза следующий (%): влаги в среднем 77,2; азота - 0,53; фосфора - 0,25; калия - 0,57. Из минеральных удобрений применяли: аммиачную селитру (34,4% N), суперфосфат двойной гранулированный (45,4% P_2O_5); калий хлористый (55,8% K_2O). Всю расчетную дозу фосфорных удобрений вносили в предпосевную культивацию почвы. Азотные и калийные удобрения применяли дробно: $\text{N}_{70}\text{K}_{60} \rightarrow \text{N}_{30}\text{K}_{30}$ до посева с осени + $\text{N}_{40}\text{K}_{30}$ - весеннее возобновление вегетации; $\text{N}_{140}\text{K}_{120} \rightarrow \text{N}_{30}\text{K}_{30}$ до посева с осени + $\text{N}_{70}\text{K}_{90}$ - весеннее возобновление вегетации + N_{40} - выход в трубку; $\text{N}_{210}\text{K}_{180} \rightarrow \text{N}_{30}\text{K}_{30}$ до посева с осени + $\text{N}_{90}\text{K}_{150}$ - весеннее возобновление вегетации + N_{90} - выход в трубку.

Система защиты растений озимой ржи предусматривала применение следующих пестицидов: фундазол 50% с.п. - 0,6 кг/га осенью в фазу кущения; кампозан М - 4 л/га и байлетон 25% с.п. - 0,6 кг/га в фазу выход в трубку - колошение; децис 25% к.э. - 0,3 л/га – в фазу цветения.

Повторность вариантов опыта четырехкратная, посевная площадь делянки 90 м², учетная – 70 м². Расположение делянок систематическое. Агротехника возделывания озимой ржи в опытах соответствовала общепринятой для юго-запада Центрального региона России.

В таблице 19 приведены данные урожайности зерна озимой ржи в течение 2006-2010 гг.

Таблица 19 - Влияние технологий возделывания на урожайность зерна озимой ржи, т/га

Технология		Год					Среднее	Прибавка
		2006	2007	2008	2009	2010		
1	Экстенсивная (контроль)	0,69	0,55	0,67	0,68	0,63	0,64	-
2	Биологизированная (последствие навоза 80 т/га)	1,02	0,83	1,05	0,99	1,01	0,98	+ 0,34
3	Альтернативная 1 (последствие навоза 40 т/га + N ₇₀ P ₃₀ K ₆₀)	2,23	1,43	1,50	1,78	1,22	1,63	+ 0,99
4	Умеренная 1 (N ₇₀ P ₃₀ K ₆₀)	1,71	1,27	1,27	1,53	1,12	1,34	+ 0,70
5	Переходная 1 (N ₁₄₀ P ₆₀ K ₁₂₀)	2,61	1,82	1,63	2,54	1,42	2,00	+ 1,36
6	Интенсивная 1 (N ₂₁₀ P ₉₀ K ₁₈₀)	2,43	0,98	1,25	2,01	1,52	1,64	+ 1,00
7	Альтернативная 2 (последствие навоза 40 т/га + N ₇₀ P ₃₀ K ₆₀ + пестициды)	2,49	2,02	1,86	2,02	1,55	1,99	+ 1,35
8	Умеренная 2 (N ₇₀ P ₃₀ K ₆₀ + пестициды)	1,85	1,16	1,43	1,84	1,01	1,46	+ 0,82
9	Переходная 2 (N ₁₄₀ P ₆₀ K ₁₂₀ + пестициды)	2,92	1,55	2,18	2,63	1,55	2,17	+ 1,53
10	Интенсивная 2 (N ₂₁₀ P ₉₀ K ₁₈₀ + пестициды)	2,91	1,46	2,26	2,20	1,33	2,03	+ 1,39
НСР ₀₅		0,22	0,20	0,20	0,18	0,22	-	-

Установлено, что максимальный урожай зерна был получен в 2006 году. Гидрологический 2005/06 г. характеризовался промывным типом водного режима почв, КУ=1,54. В следующие гидрологические годы 2006/07, 2007/08, 2008/09, 2009/10 КУ составил соответственно 1,00; 1,14; 1,45; 1,11 (таблица 1).

В 2006 году транспирация посевов озимой ржи на вариантах изменялась в интервале значений 41,2 – 117,2 мм., тогда как в другие годы не достигала этих значений.

По степени влияния на урожайность зерна озимой ржи все технологии можно расположить в следующую последовательность: 5, 6, 7, 9, 10 > 3, 4, 8 > 2 > 1. Из этой последовательности следует, что высокий урожай зерна озимой ржи можно получить путем внесения больших доз минеральных удобрений с использованием пестицидов и без использования или путем совместного использования умеренных доз органических и минеральных удобрений при условии применения пестицидов. Применение больших доз органических удобрений без внесения минеральных не приводит к желаемому результату.

В таблице 20 приведены данные удельной активности ^{137}Cs в зерне озимой ржи.

Таблица 20 - Влияние технологий возделывания озимой ржи на удельную активность ^{137}Cs в зерне, Бк/кг

Технология		Год					Среднее	Ксн
		2006	2007	2008	2009	2010		
1	Экстенсивная (контроль)	46	40	35	69	170	72	-
2	Биологизированная (последствие навоза 80 т/га)	23	33	25	44	88	43	1,7
3	Альтернативная 1 (последствие навоза 40 т/га + N ₇₀ P ₃₀ K ₆₀)	13	30	21	30	50	29	2,5
4	Умеренная 1 (N ₇₀ P ₃₀ K ₆₀)	13	36	19	36	31	27	2,7
4	Переходная 1 (N ₁₄₀ P ₆₀ K ₁₂₀)	10	34	18	30	27	24	3,0
6	Интенсивная 1 (N ₂₁₀ P ₉₀ K ₁₈₀)	14	28	19	32	23	23	3,1
7	Альтернативная 2 (последствие навоза 40 т/га + N ₇₀ P ₃₀ K ₆₀ + пестициды)	12	28	21	30	41	26	2,7
8	Умеренная 2 (N ₇₀ P ₃₀ K ₆₀ + пестициды)	15	33	23	35	27	27	2,7
9	Переходная 2 (N ₁₄₀ P ₆₀ K ₁₂₀ + пестициды)	11	19	22	26	31	22	3,3
10	Интенсивная 2 (N ₂₁₀ P ₉₀ K ₁₈₀ + пестициды)	10	21	23	24	16	19	3,8

Минимальная удельная активность ^{137}Cs в зерне наблюдалось лишь в 2006 году. Лучшие условия влагообеспеченности посевов, сложившиеся в этом году, значительно снизили биодоступность ^{137}Cs .

На рис. 18 приведена зависимость удельной активности ^{137}Cs в зерне озимой ржи от величины транспирации посевов в течение весенне-летней вегетации.

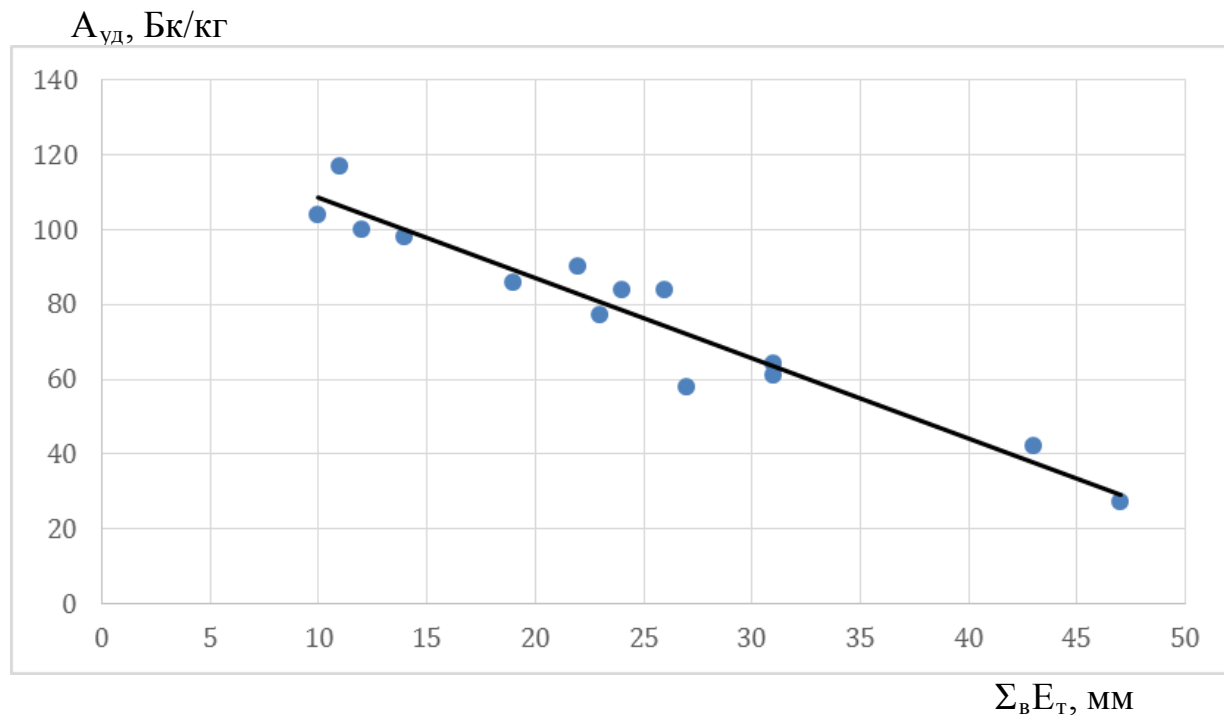


Рисунок 18 - Зависимость удельной активности ^{137}Cs в зерне озимой ржи от транспирации

Установлено, что имеет место линейная, обратно пропорциональная зависимость удельной активности ^{137}Cs в зерне озимой ржи от транспирации посевов. Чем больше величина транспирации или биодоступности воды посевам, тем меньше удельная активность ^{137}Cs в зерне.

Уменьшение биодоступности воды растениям связано с размером пор, заполненных почвенным раствором. С уменьшением размера пор возрастает объем жидкости, в которой расположен двойной электрический слой (ДЭС), по сравнению с жидкостью за пределами ДЭС [33]. ДЭС имеет повышенную по сравнению с объемной жидкостью концентрацию катионов. Поэтому, с уменьшением влажности почвы и транспирации посевов возрастает биодоступность адсорбированных ионов ^{137}Cs и соответственно удельная активность ^{137}Cs в зерне озимой ржи.

Аккумуляция ^{137}Cs в корнях растений, в отличие от зерна, прямо пропорциональна массе корней, зависит от продолжительности формирования корневой системы и может превосходить в сто раз активность ^{137}Cs в наземной фитомассе [44].

На рис. 19 представлена зависимость массовой активности ^{137}Cs в урожае зерна от транспирации. Массовая активность ^{137}Cs в урожае зерна рассчитывалась путем умножения удельной активности ^{137}Cs в зерне на урожай зерна [кг/м²].

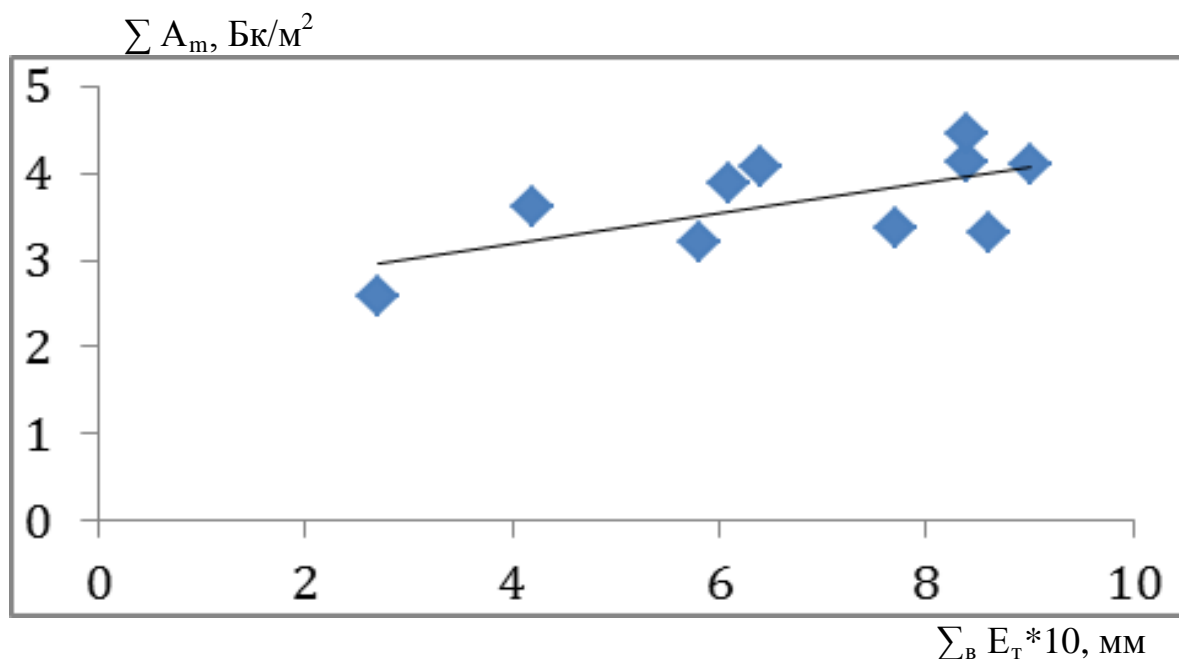


Рисунок 19 - Зависимость массовой активности ^{137}Cs в зерне озимой ржи от транспирации

Массовая активность ^{137}Cs в урожае зерна прямо пропорциональна величине транспирации. Чем выше транспирация посевов озимой ржи, тем в большей степени аккумулируется ^{137}Cs в урожае зерна.

Противоположный ход функций $A_{\text{уд}} = f(\sum_{\text{в}} E_{\text{т}})$ и $A_{\text{м}} = f(\sum_{\text{в}} E_{\text{т}})$ указывает на наличие постоянного источника ^{137}Cs , из которого в течение роста и развития растений пополняется радиоцезий во всей биомассе. Таким постоянным источником в течение вегетации посевов является почва с начальной в опыте удельной активностью, равной 2,1 – 2,7 кБк/кг.

Были рассчитаны коэффициенты накопления во всей биомассе растений, включая корни. Коэффициент накопления равен отношению активности радионуклида в единице сухой (или с естественной влажностью) массе растительности к ее активности в единице воздушно-сухой массе почвы.

Для расчета Кн была взята формула С. М. Пакшиной [47], которая имеет следующий вид:

$$K_n = \{ \exp[(\lambda_k - \lambda_p)] \sum E_{\text{т}} - 1 \} P_{\text{т}} n / P, \quad (19)$$

где $P_{\text{т}}$ – вес испарившейся в процессе транспирации почвенной влаги с 1 га посева, кг/га;

P – вес пахотного слоя на площади, равной 1 га, кг/га; n – доля активности доступных радионуклидов от общей активности радионуклидов в пахотном слое;

$\Sigma_v E_T$ – транспирация за время вегетации;

λ_k, λ_p – соответственно, коэффициенты ионопроводности корней растений и почвы.

Выражение для λ , имеет следующий вид:

$$\lambda = 1,8 \cdot 10^3 \Gamma Z_1 \sqrt{(Z_1 + Z_2)/2} / ST, \text{ м}, \quad (20)$$

где Γ – емкость поглощения почвы, корней растений, мэкв/100 г;

Z_1, Z_2 – соответственно валентности аниона и катиона соли;

S – удельная поверхность почвы, корней, м²/г;

T – температура почвы, корней растений [30].

Формула (19) получена из модели транспирации, учитывающей межфазные потенциалы на границах раздела корни – раствор и почва – раствор [27]. Экспериментальная проверка формулы (19) по данным многолетних полевых опытов в 10-польном севообороте приведена в работе А. Б. Железной [10], согласно которой относительная ошибка рассчитанных значений биовыноса ¹³⁷Cs составила 4%.

В таблице 21 приведены рассчитанные по формуле (19) значения K_n в фитомассе растений, включая корни, в десяти вариантах опыта. Расчет K_n выполнен при значениях n, λ_k и λ_p , соответственно равных 0,05; 9,3 м⁻¹; 5,3 м⁻¹. При расчете фитомассы, включая корни, использовался коэффициент перехода от фитомассы зерна, равный 4. Этот коэффициент получен в работе И. С. Шатилова [49].

Таблица 21 - Средние за пять лет исследований (2006-2010 гг.) показатели процесса транспирации посевов озимой ржи, удельной и массовой активности ¹³⁷Cs в зерне

Варианты опыта										
Показатели	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
У, т/га	0,55	0,84	1,31	1,19	1,72	1,58	1,71	1,25	1,86	1,75
$K_{\text{ФАР}}, \%$	0,17	0,26	0,39	0,36	0,52	0,47	0,51	0,38	0,56	0,53
$\Sigma_v E_T, \text{ мм}$	7	42	64	58	84	77	84	61	90	86
К.т.	491	500	488	487	288	487	491	488	484	491
Ауд, Бк/кг	47	43	31	27	24	23	26	31	22	19
$\Sigma A_m, \text{ зерно}$ Бк/м ²	2,58	3,61	4,06	3,21	4,13	3,63	4,45	3,87	4,09	3,32
$K_n 0,01$	0,1	0,15	0,37	0,3	0,67	0,55	0,67	0,34	0,77	0,7
Фитомасса, включая корни, т/га	3,2	3,36	5,24	4,76	6,88	6,32	6,84	5	7,44	7

Примечание: У – урожайность зерна, т/га; $K_{\text{ФАР}}$ – коэффициент использования ФАР, %; $\Sigma_v E_T$ – суммарный за весенне-летнюю вегетацию расход воды на транспирацию, мм; К.т. – коэффициент транспирации; Ауд – удельная активность зерна, Бк/кг; A_m – массовая

активность урожая зерна, Бк/м²; Кн – коэффициент накопления ¹³⁷Cs в фитомассе озимой ржи, включая корни.

Установлено, что максимальные значения Кн и фитомассы посевов, включая корни, имеют место на вариантах 5, 6, 7, 9, 10. На этих вариантах посевы имели развитую, мощную корневую систему с повышенной в несколько раз по сравнению с надземной фитомассой удельную активность ¹³⁷Cs. Чем больше масса корней с высокой активностью ¹³⁷Cs, тем выше массовая активность надземной фитомассы.

Коэффициент использования ФАР посевами озимой ржи, возделываемой на дерново-подзолистой почве, значительно ниже, чем при возделывании на агросерой лесной легкосуглинистой почве. К_{фар} изменялся в интервале значений 0,17-0,56%. Как следует из таблицы 15, интервал значений К_{фар} озимой ржи, возделываемой на агросерой лесной почве, составил 0,60-1,74%.

Коэффициент транспирации (К.т.) не зависел от технологии возделывания озимой ржи и составил в среднем 489. При возделывании озимой ржи на агросерой лесной легкосуглинистой почве К.т. составил 475 при промывном типе водного режима и 518 при непромывном. Приблизительно равные значения К.т. озимой ржи, возделываемой на разных типах почв, и независимость его от доз и вида удобрений указывает на то, что К.т. является важным показателем биологических особенностей культуры.

10 ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ ПРОДУКЦИОННОГО ПРОЦЕССА ПОСЕВОВ ОЗИМОЙ РЖИ

Фотосинтез – процесс преобразования энергии света в энергию химических связей органических веществ на свету фотоавтотрофами при участии фотосинтетических пигментов (хлорофилл у растений, бактериохлорофилл и бактериородопсин у бактерий). В современной физиологии растений под фотосинтезом чаще понимается фотоавтотрофная функция – совокупность процессов поглощения, превращения и использования энергии квантов света в различных эндэргонических реакциях, в том числе превращения углекислого газа в органические вещества.

Первые опыты по изучению фотосинтеза были проведены Джозефом Пристли в 1770 – 1780-х годах, когда он обратил внимание на «порчу» воздуха в герметичном сосуде горящей свечой (воздух переставал поддерживать горение, а помещённые в него животные задохнулись) и «исправление» его растениями. Пристли сделал вывод, что растения выделяют кислород, который необходим для дыхания и горения, однако не заметил, что для этого растениям нужен свет. Это показал вскоре Ян Ингенхауз.

Позже было установлено, что помимо выделения кислорода, растения поглощают углекислый газ и при участии воды синтезируют на свету органическое вещество. В 1842 г. Роберт Майер на основании закона сохранения энергии

постулировал, что растения преобразуют энергию солнечного света в энергию химических связей. В 1877 г. В. Пфедфер назвал этот процесс фотосинтезом.

Хлорофиллы были впервые выделены в 1818 г. П. Ж. Пельтье и Ж. Кавенту. Разделить пигменты и изучить их по отдельности удалось М. С. Цвету с помощью созданного им метода хроматографии. Спектры поглощения хлорофилла были изучены К. А. Тимирязевым (1903). К.А. Тимирязев показал, что именно поглощённые лучи позволяют повысить энергию системы, создав вместо слабых связей С-О и О-Н высокоэнергетические С-С. До этого считалось, что в фотосинтезе используются жёлтые лучи, не поглощаемые пигментами листа. Сделано это было благодаря созданному Тимирязевым К.А. методу учёта фотосинтеза по поглощённому CO_2 . В ходе экспериментов по освещению растения светом разных длин волн (разного цвета) оказалось, что интенсивность фотосинтеза совпадает со спектром поглощения хлорофилла.

Окислительно-восстановительную сущность фотосинтеза (как оксигенного, так и аноксигенного) постулировал Корнелис ван Ниль. Это означало, что кислород в фотосинтезе образуется полностью из воды, что экспериментально подтвердил в 1941 г. А. П. Виноградов в опытах с изотопной меткой. В 1937 г. Роберт Хилл установил, что процесс окисления воды (и выделения кислорода), а также ассимиляции CO_2 можно разобщить. В 1954–1958 гг. Д. Арнон установил механизм световых стадий фотосинтеза, а сущность процесса ассимиляции CO_2 была раскрыта Мелвином Кальвином с использованием изотопов углерода в конце 1940-х гг.

Фотосинтез растений осуществляется в хлоропластах: полуавтономных двухмембранных органеллах, относящихся к классу пластид. Хлоропласты могут содержаться в клетках стеблей, плодов, чашелистиков, однако основным органом фотосинтеза является лист. Лист сформировался в ходе эволюции и анатомически приспособлен к поглощению энергии света и ассимиляции углекислоты. Плоская форма листа, обеспечивающая большое отношение поверхности к объёму, позволяет более полно использовать энергию солнечного света. Вода, необходимая для поддержания тургора и протекания фотосинтеза, доставляется к листьям из корневой системы по ксилеме развитой сети проводящих пучков (жилок) листа и стебля. Потеря воды в результате испарения через устьицы и в меньшей степени через кутикулу (транспирация) служит движущей силой транспорта по сосудам. Однако избыточная транспирация является нежелательной и у растений в ходе эволюции сформировались различные приспособления, направленные на снижение потерь воды.

Отток ассимилятов, необходимый для функционирования цикла Кальвина (цикл фиксации CO_2), осуществляется по флоэме проводящих пучков (жилок) и флоэме стебля. При интенсивном фотосинтезе углеводы могут полимеризоваться и при этом в хлоропластах формируются крахмальные зёрна. Газообмен (поступление углекислого газа и выделение кислорода) осуществляется путём диффузии через устьица, некоторая часть газов движется через кутикулу.

Поскольку дефицит углекислого газа значительно увеличивает потери ассимилятов при фотодыхании, необходимо поддерживать высокую концен-

трацию углекислоты в межклеточном пространстве, что возможно при открытых устьицах. Однако, поддержание устьиц в открытом состоянии при высокой температуре приводит к увеличению транспирационных потерь воды, что приводит к водному дефициту и также снижает продуктивность фотосинтеза.

Внутреннее пространство хлоропласта заполнено бесцветным содержимым (стромой) и пронизано мембранами (ламеллами), которые, соединяясь друг с другом, образуют тилакоиды, которые, в свою очередь, группируются в стопки, называемые гранами. Внутритилакоидное пространство отделено и не сообщается с остальной стромой, предполагается также, что внутреннее пространство всех тилакоидов сообщается между собой. Световые стадии фотосинтеза приурочены к мембранам, автотрофная фиксация CO_2 происходит в строме.

В хлоропластах имеются свои ДНК, РНК, рибосомы (70s типа), идёт синтез белка (хотя этот процесс и контролируется из ядра). Они не синтезируются вновь, а образуются путём деления предшествующих.

В ходе световой стадии фотосинтеза образуются высокоэнергетические продукты: АТФ (аденозинтрифосфорная кислота), служащая в клетке источником энергии, и НАДФ, использующийся как восстановитель. В качестве побочного продукта выделяется кислород.

В темновой стадии с участием АТФ и НАДФН (никотинамидадениндинуклеотидфосфат) происходит восстановление CO_2 до глюкозы ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$). Хотя свет не требуется для осуществления данного процесса, он участвует в его регуляции.

Фотосинтез является основой продуктивности сельскохозяйственных растений. Совершенствование технологий возделывания зерновых культур, определяемое общим уровнем культуры земледелия, тесно связано с фотосинтетической деятельностью посевов. Энергосберегающие технологии призваны создавать такие агрофитоценозы, которые способны обеспечивать наиболее эффективное усвоение энергии ФАР на образование продуктов фотосинтеза и оптимальное использование их в процессах метаболизма, транспорта, роста, органогенеза с участием элементов питания, обеспечивающих главным образом каталитические регуляторные функции [25,26]. Теория фотосинтетической продуктивности посевов дает возможность регулирования урожайности озимой ржи путем управления фотосинтетическими факторами продукционного процесса, к которым относятся листовой индекс, фотосинтетический потенциал агрофитоценозов (ФП), чистую продуктивность фотосинтеза (ЧПФ), коэффициент эффективности фотосинтеза [25,26].

Согласно теории фотосинтетической продуктивности, величина урожая определяется как размерами ассимиляционной поверхности, временем ее работы, интенсивностью и продуктивностью фотосинтеза, так и эффективностью использования поглощенной CO_2 на формирование массы растений и характером распределения пластических веществ между фотосинтезирующими и запасующими органами в процессе роста. Данное направление, организуемое в единое целое общие и частные вопросы физиологии растений с за-

просами растениеводства, стало фундаментальной основой теории формирования урожая [15,45].

В соответствии с основными положениями этой теории агротехнические приемы служат средством создания посевов, обеспечивающих наиболее полное использование солнечной энергии на формирование урожая. В конкретных условиях возделывания зерновых культур можно найти такое сочетание условий среды и агротехнологий, которое способно обеспечить наибольшую продуктивность культурных растений в соответствии с возможностями генотипа. На этой основе возможна разработка энергосберегающих технологий возделывания озимой ржи, обеспечивающих получение высоких урожаев с заранее заданными КПД ФАР в конкретных условиях. Одновременно можно выявить особенности технологий, способных сформировать более совершенные по структуре и результатам фотосинтетической деятельности агрофитоценозы.

В настоящее время научный поиск, направленный на получения экономически выгодной и экологически безопасной продукции должен базироваться на реализации потенциальных возможностей фотосинтеза как крупнейшего ароморфоза в системе биологических процессов и таким образом повысить фотосинтетическую продуктивность посевов озимой ржи.

Растения создают органическую массу на основе автотрофного типа питания – фотосинтеза. Воздушное питание происходит путем ассимиляции CO_2 вегетативными органами. У озимой ржи можно условно выделить стеблевой тип фотосинтеза [48]. Продукционный процесс включает также минеральное питание. Поглощение минеральных веществ и воды осуществляется корневой системой. Для нормального развития необходим приток ассимилянтов из надземной части, а рост побега зависит не только от притока минеральных веществ, но и от поступления образующихся в корнях метаболитов. Таким образом, трофическая регуляция и взаимодействие различных органов формируют целостность растительного организма.

Формирование урожая озимой ржи является сложной совокупностью процессов питания, роста, развития, обмена и превращения веществ и энергии в растениях, а его величина находится в тесной зависимости от площади листьев и интенсивности их фотосинтетической деятельности.

Ещё К.А. Тимирязев(1903) указывал, что лист растения является «зеленой лабораторией», в которой с той или иной интенсивностью создается органическое вещество, идущее на построение всего растительного организма.

Как известно, важное значение для повышения урожайности имеет полное использование посевами солнечной радиации. Коэффициент поглощения энергии растениями в посевах составляет всего лишь 10 – 20 % солнечной радиации, в то время как хорошо обеспеченные питанием, влагой и с оптимальной густотой стояния они могут поглощать её до 60 % [26].

Низкие показатели использования солнечной радиации бывают обусловлены тем, что площадь листьев в большинстве случаев не достигает оптимальной величины, а значительная часть падающей на посев энергии проходит мимо растения, попадая на почву. В процессе индивидуального развития зерно-

вых культур очень важно сформировать оптимальную площадь органов фотосинтеза. По мнению многих авторов [43,50] по площади листьев можно судить о продуктивности растений, так как она положительно коррелирует с массой зерна в колосе, числом зерен и их крупностью. Максимальный коэффициент корреляции между урожаем зерна и листовой поверхностью в фазу колошения составляет 0,84, между фитомассой и листовой поверхностью – 0,81.

Растения, не обеспеченные в достаточной степени минеральным питанием, не могут полностью развить фотосинтетический аппарат. Более высокому уровню плодородия почвы соответствует и более развитый листовой аппарат растений озимой ржи [18,23,43].

В работе М.Е. Николаева [24] было показано, что в загущенных посевах значительно снижается площадь листьев на одно растение, что связано с более ранним старением и отмиранием листьев, т.е. меньшей продолжительностью их жизни, чем в незагущенных посевах. При умеренной (оптимальной) густоте стояния лучше развивается листовой аппарат и используется солнечная энергия, озимые растения больше накапливают сахаров, содержат несколько меньше свободной воды в тканях и поэтому лучше перезимовывают, чем редкие посевы и слабо развивающиеся растения.

В результате исследований установлено, что, начиная с периода возобновления весенней вегетации и до фазы колошения, площадь листовой поверхности озимой ржи интенсивно нарастает. После фазы колошения за счет отмирания листьев происходит уменьшение фотосинтезирующей поверхности. Однако в зависимости от технологии возделывания выявлены различия формирования ассимиляционного аппарата растений озимой ржи.

Максимальных значений площадь листовой поверхности достигла в фазу колошения (10.2) - 36,3-56,4 тыс. м²/га. По норме высева семян 6,0 млн шт/га она имела показатели 42,5 - 56,4 тыс. м²/га. При уменьшении нормы высева до 4,5 млн шт/га данная величина практически не изменялась, составляя 42,0-52,5 тыс. м²/га. Минимальные значения 36,3-43,0 тыс. м²/га получены в технологиях со сниженной на 50 % нормой высева семян, что объясняется уменьшением общего количества растений. Полной компенсации по этому показателю за счет увеличения как общей, так и продуктивной кустистости на разреженных посевах не происходило. Данная закономерность четко прослеживается при учете и в последующие фазы развития растений.

В технологиях с применением минеральных удобрений и химических средств защиты растений площадь листовой поверхности была значительно выше, по сравнению с альтернативными. Наиболее высокие показатели площади листьев озимой ржи формировались в интенсивных и умеренных технологиях.

В частности, в фазу колошения они составили по интенсивным технологиям 43,0-56,4, умеренным - 43,0-55,9 тыс. м²/га, что соответственно на 12,5 - 32,7 и 18,5 - 31,5 % выше по сравнению с альтернативными. Применение агрохимических средств способствовало увеличению продолжительности фото-

синтетической деятельности листьев, что объясняется улучшением условий питания и произрастания растений.

Таблица 22 - Фотосинтетическая деятельность посевов озимой ржи при разных технологиях возделывания (1998-2000 гг.)

Технологии	Площадь листьев и накопление сухого вещества (фазы по шкале Фикеса)						ФП, тыс. м ² /га x сутки	ЧПФ, г/м ² x сутки	ПРЛ, кг зерна/ тыс. ед.ФП
	2	5	8	10.2	10.5.1	11.1			
Норма высева семян 6,0 млн. шт/га									
Интенсивная	<u>5.5</u> 5,2	<u>25.8</u> 33,0	<u>43.7</u> 74,6	<u>56.4</u> 94,0	<u>48.1</u> 112,5	<u>34.7</u> 128,6	2454	4,1	2,1
Умеренная	<u>5.4</u> 5,2	<u>25.7</u> 33,4	<u>44.2</u> 73,7	<u>55.9</u> 92,8	<u>47.5</u> 110,7	<u>35.4</u> 127,4	2430	4,1	2,1
Биологическая	<u>5.0</u> 5,1	<u>24.7</u> 32,8	<u>43.2</u> 73,3	<u>55.3</u> 91,2	<u>47.6</u> 108,9	<u>35.3</u> 126,5	2403	4,2	1,8
Альтернативная	<u>5.1</u> 4,6	<u>21.5</u> 26,4	<u>36.4</u> 52,8	<u>42.5</u> 84,5	<u>35.0</u> 99,6	<u>24.8</u> 116,6	1867	4,6	1,7
Норма высева семян 4,5 млн. шт/га									
Интенсивная	<u>5.1</u> 4,7	<u>19.1</u> 23,7	<u>37.6</u> 62,9	<u>52.5</u> 89,0	<u>45.7</u> 107,0	<u>34.3</u> 119,2	2210	4,2	2,2
Умеренная	<u>4.9</u> 4,8	<u>19.9</u> 23,4	<u>37.9</u> 62,0	<u>53.1</u> 88,9	<u>46.4</u> 106,8	<u>35.5</u> 119,0	2250	4,2	2,2
Биологическая	<u>4.5</u> 4,9	<u>19.8</u> 21,2	<u>37.5</u> 57,2	<u>50.8</u> 86,6	<u>44.3</u> 104,2	<u>33.6</u> 117,4	2169	4,4	1,9
Альтернативная	<u>4.7</u> 4,7	<u>18.2</u> 20,7	<u>32.6</u> 53,7	<u>42.0</u> 80,0	<u>36.3</u> 95,6	<u>28.0</u> 105,9	1845	4,7	1,7
Норма высева семян 3,0 млн. шт/га									
Интенсивная	<u>5.3</u> 4,5	<u>16.5</u> 21,6	<u>33.2</u> 52,7	<u>43.0</u> 72,4	<u>37.9</u> 88,6	<u>28.9</u> 112,3	1872	4,6	2,7
Умеренная	<u>5.3</u> 4,1	<u>16.3</u> 21,5	<u>33.2</u> 52,2	<u>43.0</u> 72,0	<u>37.8</u> 8,1	<u>29.2</u> 111,9	1873	4,6	2,6
Биологическая	<u>4.1</u> 4,1	<u>15.8</u> 21,3	<u>31.7</u> 50,7	<u>40.5</u> 70,3	<u>36.2</u> 85,6	<u>28.5</u> 109,2	1796	4,8	2,4
Альтернативная	<u>4.1</u> 4,0	<u>15.0</u> 19,9	<u>27.8</u> 46,0	<u>36.3</u> 67,2	<u>31.6</u> 81,3	<u>24.6</u> 103,0	1594	4,9	1,9

Примечание: в числителе – ассимиляционная площадь листьев, тыс. м²/га; в знаменателе – накопление сухого вещества, ц/га; ЧПФ представлена за межфазный период 10.2-10.5.1.

Данная закономерность четко прослеживалась при снижении нормы высева семян. Наименьшая площадь листьев 36,3 - 42,8 тыс. м²/га формировалась по альтернативным технологиям без использования минеральных удобрений и химических средств защиты растений. Корреляционная зависимость между площадью листьев и урожайностью изменялась по фазам развития: средней ($r = 0,46 - 0,61$) она была в фазу кущения (2), в остальные – сильной ($r = 0,79 - 0,95$).

На рисунке 20 представлены зависимости листового индекса (ω) от сухой надземной массы посевов озимой ржи при разной норме высева семян и внесении минеральных и органических удобрений. Листовой индекс – без-

размерная величина, равная отношению листовой поверхности в тыс. м² на площадь 1 га (10 000 м²).

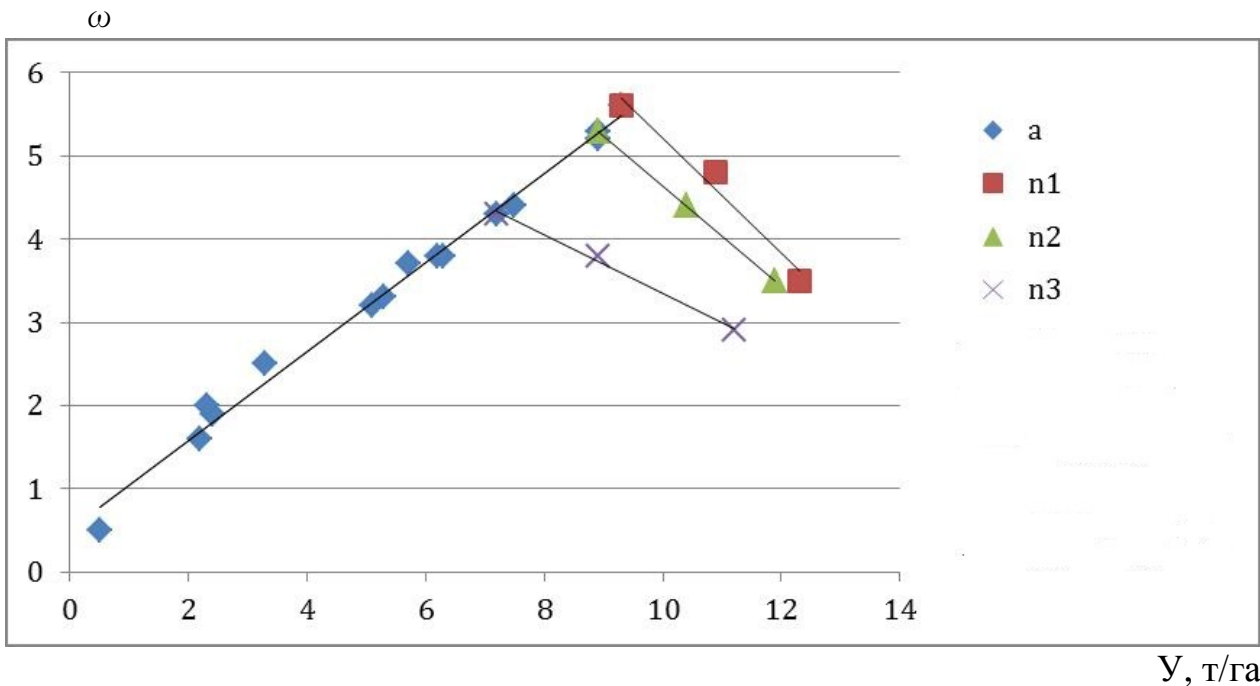


Рисунок 20. Зависимость листового индекса от сухой фитомассы озимой ржи при внесении минеральных и органических удобрений до (а) и после (1;2;3) фазы 10.2 по шкале Фикеса. Нормы высева семян: 1-6 Мшт/га; 2-4,5 Мшт/га; 3-3Мшт/га

Как следует из рисунка, функции $\omega=f(Y)$ имеют разрыв при значении шкалы Фикеса, равном 10,2; при котором графики распадаются на два отрезка.

До точки разрыва функции $\omega=f(Y)$ возрастают, тогда, как после точки разрыва убывают. Длина отрезков на графиках функций зависит от нормы высева семян. Чем выше норма высева семян, тем длиннее отрезок и соответственно больше фитомасса посевов озимой ржи. До точки на шкале Фикеса, равной 10,2, соблюдается линейная зависимость между значениями ω и сухой фитомассой.

Это позволяет установить связь между сухой надземной массой растения и листовым индексом. На первом отрезке при нормах высева семян, равных 6;4,5;3 Мшт/га, максимальные величины $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ и Y_1, Y_2, Y_3 имеют соответственно следующие значения: 5,59; 5,21; 4,22 и 9,27; 8,82; 7,16 т/га. Уменьшение ω_2 и ω_3 по сравнению с ω_1 в 1,07 и 1,32 раза вызывает уменьшение Y_2 и Y_3 в 1,05 и 1,34 раза. Отсюда следует, что до точки, равной 10,2 (фаза колошение) по шкале Фикеса, величина фитомассы и соответственно транспирации в основном определяется листовым индексом, однако в фазах

по шкале Фикеса, превышающих 10,2, при резком снижении листового индекса наблюдается увеличение фитомассы посевов.

Расчеты отношений фитомассы к листовому индексу (Y/ω) показывают, что до точки 10,2 по шкале Фикеса при нормах высева семян, равных 6; 4,5; 3 Мшт/га, и внесении минеральных и органических удобрений значения Y/ω составили соответственно 1,66; 1,69; 1,74 т/га и на контроле 1,99; 1,9; 1,85 т/га.

От точки 10,2 до точки 11,1 по шкале Фикеса при норме высева семян, равных 6; 4,5; 3 Мшт/га, и внесении минеральных и органических удобрений, значение Y/ω составили соответственно 1,68; 1,72; 2,99 и на контроле 1,81; 1,85; 3,06 т/га.

Сравнение полученных данных показывает, что значение Y/ω от точки 10,2 до точки 11,1 по шкале Фикеса, не снижается, а при норме высева семян равной 3 Мшт/га, повышается.

Снижение листовой поверхности от фазы по шкале Фикеса, равной 10,2, составляет около 35% от максимального значения, но, несмотря на существенное снижение листовой поверхности, наблюдается увеличение фитомассы посевов озимой ржи. Полученные данные указывают на повышение роли стеблевого фотосинтеза после высыхания листьев, особенно в более изреженном растительном покрове (норма высева 3 Мшт/га).

На рисунке 21 представлены зависимости ω от сухой надземной массы посевов озимой ржи при разных нормах высева семян на контроле.

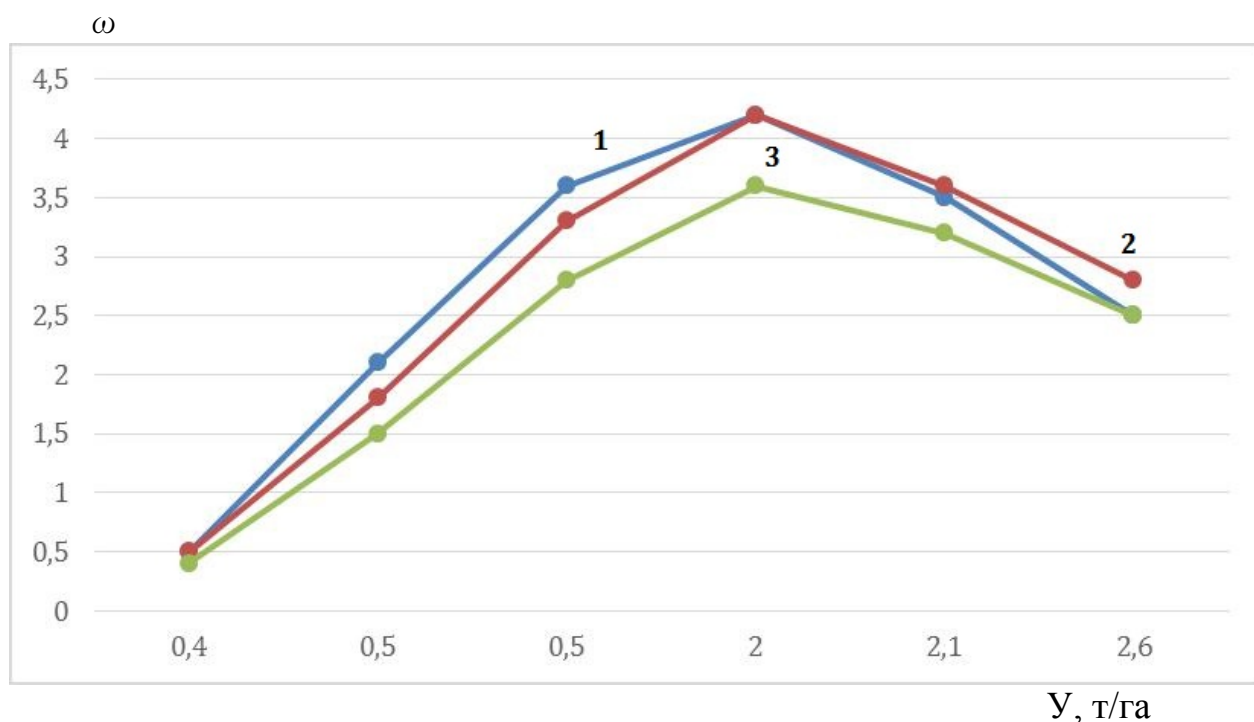


Рисунок 21 - Зависимость листового индекса от сухой фитомассы озимой ржи на контрольных вариантах

В отличие от рис. 20, на контрольных вариантах норма высева семян не влияла на ход функций $\omega = f(Y)$. Точки разрыва трех функций совпали со значением фитомассы, равным 2 т/га.

Недостаток элементов питания оказывает более существенное влияние на формирование листовой поверхности, чем нормы высева семян. На контроле формируется растительный покров с минимальными значениями ω независимо от нормы высева семян.

Известно, что 90-95 % сухой массы создается за счет продуктов фотосинтеза, к которым относятся богатые энергией вещества, составляющие основную, наиболее ценную часть урожая, количество и качество которого находится в тесной зависимости от роста и размеров площади листьев, от интенсивности и продуктивности их работы. Фотосинтез является процессом образования и накопления органического вещества растением и определяет урожайность сельскохозяйственных культур. В начале весенней вегетации накопление биомассы растениями озимой ржи не имело значительных различий в зависимости от технологии возделывания. Различия начали проявляться с наступлением фазы начала выхода в трубку и сохранялись до конца учетного периода. Основная часть надземной массы растений озимой ржи сформировалась в фазу колошения, достигая по вариантам опыта 67,2-94,0 ц/га. К середине молочной спелости зерна она достигла максимальных показателей 103,0-128,6 ц/га.

Запасы ассимилянтов, показателем которых является накопление сухого вещества, значительно возрастали при переходе от альтернативной к биологической технологии, меньшая зависимость наблюдалась от биологической - к умеренной и нивелировалась от умеренной к интенсивной. С увеличением уровня применения средств химизации от альтернативного до интенсивного по норме высева семян 6,0 млн шт/га сбор сухой биомассы возрастал от 116,6 до 128,6, при 4,5 млн шт/га от 105,9 до 119,2, и 3,0 млн шт/га от 103,0 до 112,3 ц/га.

Связь между накоплением сухого вещества и урожайностью отмечалась во все фазы развития (коэффициент корреляции колебался от 0,72 до 0,91), наибольшая зависимость отмечалась в период выход в трубку – молочная спелость зерна, коэффициент корреляции 0,87-0,99.

Большое значение для накопления органического вещества имеет не только величина листьев, но и продолжительность их работы, то есть фотосинтетический потенциал (ФП).

Фотосинтетический потенциал – обобщающий показатель биологических особенностей культуры, действия агротехнических приемов возделывания, влияния почвенных и погодных условий. Следовательно, задачей энергосберегающих технологий возделывания озимой ржи является формирование посевов, фотосинтетический потенциал которых обеспечивал бы получение высоких урожаев зерна. Установлено, что каждая тысяча единиц ФП в зависимости от технологии обеспечивает получение зерна озимой ржи в интервале 1,7-3,0 кг [17,18,43].

В наших опытах ФП озимой ржи изменялся под влиянием технологий возделывания и находился в прямой зависимости от площади фотосинтезирующего аппарата. Прямо пропорционально площади листьев более высокие значения ФП 1867-2454 тыс. м² х дней/га отмечены в технологиях с нормой высева 6,0 млн всхожих семян на 1 га, при снижении которой до 4,5 и 3,0 млн шт/га они уменьшились соответственно на 2-10 и 4-24%. В интенсивной и умеренной технологиях величина ФП была максимальной 1872-2454 и 1873-2430 тыс.м²/га х сутки. Фотосинтетический потенциал довольно тесно коррелирует с урожайностью независимо от нормы высева семян ($r = 0,76 - 0,94$).

Известно, что большие объемы накопления фотосинтетической массы далеко не всегда способны сформировать высокий урожай зерна, что связано с различной активностью донорно-акцепторных отношений у разных генотипов. Одним из принципов регулирования и программирования урожаев, сформулированных в работе [51], является определение величины урожая по результатам фотосинтетической деятельности посевов. Величина биологического урожая зависит от размера фотосинтетической поверхности и степени преобладания интенсивности фотосинтеза над дыханием. Чем больше эта разница, тем продуктивнее работает фотосинтезирующий аппарат, тем выше будет показатель чистой продуктивности фотосинтеза (ЧПФ), определяемый, как количество граммов сухого вещества, синтезируемого 1 м² поверхности листьев за сутки (г/м² х сутки). Этот показатель, рассматриваемый в процессе онтогенеза, характеризует динамику накопления биологического урожая в связи с фотосинтетической активностью растений.

Величина ЧПФ в сочетании с площадью листьев предопределяет различные суточные привесы сухой биомассы, которые обуславливают ход накопления сухого вещества растениями. В агрономических исследованиях, где оценка ЧПФ заменяет оценку интенсивности фотосинтеза, по мнению многих исследователей, не наблюдается четкой зависимости между чистой продуктивностью фотосинтеза и величинами биологического и хозяйственного урожая [43]. Это обусловлено отсутствием связи между интенсивностью фотосинтеза и урожаем, а также различным фотосинтетическим типом растений. Особенно сложно установить также корреляционные связи у культур с побеговым типом ассимиляции, к которым относится рожь.

Анализ эффективности фотосинтеза по его чистой продуктивности показывает, что данный показатель в значительной степени определялся как уровнем норм высева семян, так и уровнем интенсификации агротехнологий. Наиболее высокая ЧПФ за межфазный период 10.2-10.5.1. была отмечена на разреженных посевах 4,6-4,9 г/м² в сутки, при увеличении нормы высева семян величина данного показателя снижалась. Усиление фона питания, способствующее получению более высоких значений показателей ассимиляционной поверхности, в основном приводило к взаимному затенению листьев, что в большинстве случаев не позволяло в полной мере реализовать фотосинтетический потенциал и приводило к снижению ЧПФ. Следовательно, показатели ЧПФ озимой ржи увеличивались на биологических с минимальным

уровнем применения средств химизации и альтернативных технологиях, что объясняется улучшением светового режима. По альтернативным технологиям чистая продуктивность фотосинтеза посева озимой ржи достигла максимальных значений 4,6-4,9 г/м² в сутки в расчете на фотосинтезирующую поверхность листьев. В связи с этим наблюдается обратная зависимость между чистой продуктивностью фотосинтеза и урожайностью ($r = - 0,53$).

Одним из немаловажных показателей эффективности деятельности листового аппарата является продуктивность работы листьев (ПРЛ), которая выражается в массе зерна, сформированного культурой на единицу фотосинтетического потенциала. Максимальные показатели ПРЛ были нами получены на разреженных посевах – 1,9-2,7 кг зерна/тыс. ед. ФП, увеличение нормы высева семян на 25 и 50% приводило к снижению данного показателя до 1,7-2,1 кг зерна/тыс. ед ФП - по фону с нормой высева семян 6,0 млн шт/га.

Возрастающие уровни минерального питания в сочетании с пестицидами оказали неоднозначное влияние на зерновую производительность ФП. Продуктивность работы листьев находилась на одном уровне по интенсивным и умеренным технологиям, по альтернативным выход зерна на тысячу единиц фотосинтетического потенциала был ниже на 19-30%.

Благодаря поддержанию на высоком уровне чистой продуктивности фотосинтеза, которая обуславливает более интенсивное накопление органического вещества и способствует увеличению выхода зерна на 1000 единиц фотосинтетического потенциала, достаточно высокая ПРЛ формируется по умеренной технологии с нормой высева семян 3,0 млн. шт/га.

Таким образом, максимальная площадь листовой поверхности 56,4 тыс. м²/га, накопление сухого вещества 128,6 ц/га и ФП 2454 тыс. м² х дней/га формировались по интенсивной технологии с нормой высева семян 6,0 млн. шт/га. Уменьшение нормы высева семян 6,0 млн шт/га на 25 % не приводило к резкому снижению фитометрических показателей посева. При минимальной норме высева формирование листовой поверхности, прирост надземной массы и фотосинтетический потенциал посева снижались. Однако благодаря поддержанию на высоком уровне чистой продуктивности фотосинтеза, которая обуславливает более интенсивное накопление органического вещества и способствует увеличению выхода зерна на 1000 единиц фотосинтетического потенциала, достаточно высокая ПРЛ 1,9-2,7 кг зерна/тыс. ед. ФП формируется в технологиях с нормой высева семян 3,0 млн шт/га. Следовательно, оптимальными параметрами фотосинтетической деятельности посевов озимой ржи можно считать показатели в умеренных технологиях с нормой высева семян 4,5 и 3,0 млн шт/га.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данном научном издании «Теоретические и практические аспекты возделывания озимой ржи в Брянской области» представлены результаты многолетних экспериментально-полевых исследований на посевах озимой ржи,

возделываемых на агросерых лесных легкосуглинистых и дерново-подзолистых песчаных почвах и дается интерпретация их с учетом последних достижений в разных областях знаний.

Почвы Брянской области характеризуются промывным и периодически промывным типами водного режима. Расчеты КУ по Н. Н. Иванову (1954), проведенные за 2006-2014 гг., показали, что из 9 гидрологических лет 5 имели промывной тип водного режима, а 4 года - периодически промывной. В годы с периодически промывным водным режимом почв ($KУ=1$) наблюдались более высокие значения радиационного баланса, ФАР, температуры воздуха, испаряемости, дефицита почвенной влаги и более низкие значения относительной влажности воздуха, величины осадков по сравнению с годами с промывным водным режимом ($KУ>1,33$).

Западинность агросерых лесных почв, обусловленная просадкой и размывом лессовидных суглинков, оказывает влияние на мощность гумусового горизонта и содержание илистых частиц на разных элементах микрорельефа.

Установлено, что содержание илистых частиц в метровом слое почвы увеличивается в микрозападине (13,4%) и уменьшается на микроповышении (11%). Средняя удельная поверхность почвы в метровом слое в микрозападине составляет 44,9 м²/г, тогда как на микроповышении - 39 м²/г. В условиях промывного типа водного режима почв имеет место не только вынос илистых частиц из верхних горизонтов в нижние, но и поверхностный перенос частиц с микроповышений в микрозападины.

Определение сопротивления почв размыву (R, Н) по методу Г.В. Бастракова (1994) показало, что величина R зависит от плотности поверхностных зарядов почвы, определяемой емкостью поглощения и удельной поверхностью почвы. Чем выше плотность поверхностных зарядов, тем меньше смыв почвы.

Микрорельеф агросерых лесных легкосуглинистых почв оказывает большое влияние на водный и питательный режимы в период вегетации озимой ржи. При промывном типе водного режима весенние (апрель) запасы влаги в метровом слое почвы в западине превышают или равны предельной полевой влагоемкости (ППВ), на микроповышении равны ППВ. После уборки урожая озимой ржи конечные запасы влаги в метровом слое почвы в микрозападине равны влажности разрыва капиллярных связей (ВРК), на микроповышении - ниже ВРК, но больше влажности завядания (ВЗ).

При периодически промывном типе водного режима начальные запасы влаги в метровом слое равны ППВ, не зависят от формы рельефа. Конечные запасы влаги в микрозападине меньше запасов влаги в метровом слое при ВРК, тогда как на микроповышении приближаются к запасам влаги при ВЗ. При периодически промывном типе водного режима посевы озимой ржи в большей степени испытывают недостаток влаги, чем в годы с промывным.

Описано явление растворения труднорастворимых фосфатов, входящих в состав фосфоритной муки, приготовленной из местных фосфоритов, непригодных для переработки в суперфосфат. Растворимость фосфатов, внесенных

с фосфоритной мукой, в осенне-зимне-весенний период резко повышается с увеличением влажности. При оптимальных условиях трансформации трудно-растворимых фосфатов фосфоритной муки к началу весенних полевых работ дополнительно в пахотный слой могут поступать до 150 мг/кг почвы. По содержанию легкорастворимого фосфора опытные поля БГАУ оцениваются как имеющие высокую и очень высокую обеспеченность.

В отличие от фосфатов трансформация калийных соединений незначительна в пахотном слое, но возрастает в слое, равном 21-100 см, увеличивая содержание доступного калия приблизительно до 50 мг /кг почвы. Увеличение запасов обменного калия в подпахотном слое вызвана более высоким содержанием илистых частиц в этом слое по сравнению с пахотным.

Трансформация органических веществ в осенне-зимне-весенний период незначительна.

Известно, что в подзолистых и дерново-подзолистых почвах фосфаты обладают низкой миграционной подвижностью из-за образования труднорастворимых соединений с полуторными окислами.

Было доказано, что в агросерой лесной легкосуглинистой почве на карбонатных лёссовидных суглинках при наличии растворимых бикарбонатов кальция ионы H_2PO_4^- в составе солей кальция мигрируют по профилю почвы и вымываются за пределы метрового слоя. По миграционной подвижности в агросерых лесных почвах питательные элементы располагаются в следующей последовательности: $\text{NO}_3^- > \text{H}_2\text{PO}_4^- > \text{K}^+, \text{NH}_4^+$.

Для уменьшения миграционных потерь элементов питания, вносимых с минеральными удобрениями осенью, разработана технология дробного внесения запланированной дозы. Вся расчетная доза фосфорных удобрений вносится в предпосевную культивацию почвы. Азотные и калийные удобрения применяются дробно: до посева с осени, при весеннем возобновлении вегетации, дополнительно азотные удобрения вносятся в фазу выход в трубку.

Показано, что количественные характеристики транспирации посевов озимой ржи и урожайность зависят от типа водного режима почв. В гидрологические годы с промывным типом водного режима эти показатели выше, чем в годы с периодически промывным. При промывном типе водного режима прибавка урожая зерна от внесения минеральных удобрений меньше, чем от более высоких запасов влаги в метровом слое почвы. Минеральные удобрения повышают транспирацию посевов озимой ржи независимо от типа водного режима почв.

Коэффициент транспирации по зерну (К.т. по зерну) посевов озимой ржи не зависит от дозы внесённого минерального удобрения, но зависит от типа водного режима почв. При промывном водном режиме К.т. по зерну составляет 475, тогда как при периодически промывном 500-518.

В данной работе подтверждена ранее установленная независимость К.т. по зерну от дозы минеральных удобрений и экспериментально доказана причина этого явления, заключающаяся в том, что величина К.т. по зерну зависит от радиационного баланса и ФАР, а его значение от их отношения в течение вегетации.

Показана зависимость относительной транспирации (α) от величины ФАР. Величина α зависит от дозы внесенного удобрения. При всех значениях ФАР на вариантах с внесением удобрений α_y выше, чем на контроле (α_k) из-за более высокой транспирации. Но с увеличением ФАР разность между значениями α_y и α_k уменьшается. Это явление объясняется тем, что с уменьшением влажности почвы снижается поток растворимых элементов питания, которые регулируют осмотическое давление в замыкающих устьищах клеток эпидермы.

Показана роль ФАР в биосинтезе белка и крахмала в зерне озимой ржи. Процессы образования белка и крахмала в зерне озимой ржи протекают одновременно, но с разной интенсивностью в зависимости от величины ФАР и биодоступности воды. При значениях ФАР, меньших и больших 600 МДж/м², а также при КУ, большем и меньшем 0.6, содержание белка в зерне резко снижается от максимального значения.

В отличие от белка содержание крахмала в зерне не подвержено резким колебаниям в зависимости от ФАР и интенсивное накопление наблюдается во всем интервале ФАР (541-936 МДж/м²) и КУ (0,3-0,89).

В условиях Брянской области эвапотранспирация зависит от КУ в период весенне-летней вегетации, достигая при КУ, равном 0.92, максимального значения, равного 450 мм. Физическое испарение воды под пологом посевов озимой ржи зависит от уровня минерального питания растений, увеличиваясь с уменьшением дозы внесения минеральных удобрений от 40% до 60% от эвапотранспирации. Зависимость физического испарения от уровня минерального питания или сплошности растительного покрова является причиной зависимости Кэт. по зерну от дозы внесенного удобрения.

Экспериментально доказано, что для каждого уровня минерального питания посевов озимой ржи в интервале значений эвапотранспирации, равном 200-500мм, соблюдается определенная функция урожайности зерна от эвапотранспирации. Это явление обусловлено изменением процесса физического испарения влаги из почвы, соответственно запасов продуктивной влаги и транспирации.

Обнаружена обратно пропорциональная зависимость между транспирацией посевов озимой ржи и удельной активностью ¹³⁷Cs в зерне. С уменьшением влажности почвы повышается концентрация порового раствора с последовательными адсорбционными слоями ионов. Поэтому с уменьшением транспирации возрастает удельная активность радиоцезия в зерне озимой ржи.

Массовая активность ¹³⁷Cs в зерне в отличие от удельной активности совпадает с прямопропорциональной зависимостью урожайности от транспирации. Чем выше транспирация посевов, тем больше массовая активность ¹³⁷Cs.

Показано, что при внесении удобрений и разной норме высева семян линейная функция листового индекса от фитомассы посевов озимой ржи является разрывной. Разрыв функции независимо от уровня минерального питания и нормы высева семян имеет место в фазу по шкале Фикеса, равной 10.2, которая соответствует колошению. Чем ниже норма высева семян, тем при меньшем значении фитомассы наблюдается разрыв линейной функции. После

разрыва функции листовой индекс резко снижается при дальнейшем увеличении фитомассы, особенно высокой при изреженном растительном покрове (норма высева семян, равная 3 Мшт/га).

Высказано предположение, заключающееся в том, что после прохождения фазы колошения в посевах озимой ржи возрастает стеблевой фотосинтез.

В работе З. Н. Бихеле [4] сформулировано положение о взаимосвязи поглощения радиации и достатка почвенной влаги. Приведенные в данной работе фактические данные подтверждают не только наличие взаимосвязи между поглощением радиации и водным режимом, но и питательным.

При недостатке элементов питания и влаги в почве поглощение радиации и расход ее на транспирацию минимальны.

При недостатке элементов питания и достатке влаги в почве поглощение радиации снижается из-за уменьшения осмотического давления в замыкающих устьица клетках, в результате часть доступной влаги расходуется на физическое испарение.

При недостатке влаги и достатке элементов питания поглощение радиации посевами озимой ржи снижается из-за возможности перегрева поверхности листьев и биодоступность элементов питания уменьшается.

При достатке элементов питания и почвенной влаги поглощение радиации и расход ее на транспирацию максимальны. Непрерывная линейная функция урожайности от транспирации разрывается, возникает новая функция. Это означает, что происходит коренное изменение продукционного процесса посевов озимой ржи, характеризующееся максимальной урожайностью. В условиях Брянской области радиационный баланс в отличие от водного и питательного режимов почвы не является лимитирующим урожайность озимой ржи фактором.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Афанасьева Е.А. Водно-солевой режим обыкновенных и южных чернозёмов Юго-Востока Европейской части СССР. М.: Изд-во «Наука», 1980. 217 с.
2. Бастраков Г.В. Эрозионная устойчивость рельефа и противоэрозионная защита земель. Брянск: БГПИ им. акад. И.Г. Петровского, 1994. 260 с.
3. Белоус Н.М., Малявко Г.П., Шаповалов В.Ф. Влияние систем удобрений и средств защиты растений на фитосанитарное состояние посевов озимой ржи // *Агрехимический вестник*. 2009. № 3. С. 24-25.
4. Бихеле З.Н., Х. Молдау, Ю.К. Росс Математическое моделирование транспирации и фотосинтеза растений при недостатке почвенной влаги. Ленинград.: Гидрометеиздат, 1980. 223 с.
5. Будаговский А.И. Испарение почвенных вод // *Физика почвенных вод*. М.: Наука, 1981. С. 13-96.
6. Воробьев, Г.Т. Почвы Брянской области. Брянск: «Грани», 1993. 160 с.
7. Ганжара Н.Ф. Почвоведение. М.: Агроконсалт, 2001. 392 с.
8. Географическое распределение фотосинтетически активной радиации (ФАР) на территории Европейской части СССР / Х. Молдау, Ю. Росс, Х. Томинг, Н. Ундла. Фотосинтез и вопросы продуктивности растений. М.: Изд-во АН СССР, 1963. С. 149-158.
9. Димо В.Н. Тепловой режим почв СССР. М.: Колос, 1972. 360 с.
10. Железная А.Б. Формулы Волобуева - Пакшиной и их использование. М.: 2006. 80 с.
11. Иванов Н.Н. Об определении величины испаряемости // *Изв. Всесоюз. геогр. о-ва*. 1954. Т. 86, вып. 2. С. 189-196.
12. Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос, 1977. 223 с.
13. Климатические ресурсы солнечной энергии Московского региона / Г.М. Абакумова, Е.В. Горбаренко, Е.И. Незваль, О.А. Шиловцева. М.: Книжный дом «Либроком», 2012. 312 с.
14. Косарев В.П., Андрищенко Т.Т. Лесная метеорология с основами климатологии: учебное пособие / под ред. Б.В. Бабикова. СПб.: Изд-во «Лань», 2007. 288 с.
15. Кулаков В.П. Совершенствование систем защиты зерновых культур от болезней и вредителей. М.: Агропромиздат, 1984. 64 с.
16. Лурье Ю.Ю. Справочник по аналитической химии. М.: «Химия», 1989. 447 с.
17. Ляхов В.А. Продуктивность зерновых культур в условиях биологизации земледелия юго-запада Центрального района России: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Брянск, 2002. 27 с.
18. Малявко Г.П. Наумова М.П., Сорокин А.Е. Агроэкологические основы повышения урожайности зерна озимой ржи в севообороте // *Достижения науки и техники АПК*. 2003. № 12. С. 12-15.
19. Малявко Г.П., Белоус И.Н. Возделывание озимой ржи на радиоактивно загрязнённых почвах // *Агрехимический вестник*. 2012. № 5. С. 17-19.

20. Малявко Г.П. Эколого-агрохимическое обоснование технологий возделывания озимой ржи на Юго-Западе России: автореф. дис. ... на соиск. ученой степ. д-ра с.-х. наук. Брянск. 2009. 41 с.
21. Метеостанция БГАУ // Агрометеорологический бюллетень 2005-2014 гг.
22. Минеев В.Г. Агрохимия. 2-е изд перераб. и доп. М.: Изд-во МГУ, 2004. 720 с.
23. Наумова М.П., Малявко Г.П. Урожайность озимой ржи в зависимости от норм высева и агрохимикатов // Главный агроном. 2006. № 8. С. 33-35.
24. Николаев, М.Е. Формирование высоких урожаев озимой ржи в зависимости от норм высева и фонов питания в условиях Северо-восточной части БССР: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Горки, 1969. 24 с.
25. Ничипорович А.А. Фотосинтез и теория получения высоких урожаев: XV Тимирязевское чтение. М.: Изд-во АН СССР, 1956. 93 с.
26. Ничипорович А.А. Фотосинтетическая деятельность растений как основа продуктивности в биосфере и земледелии // Фотосинтез и продукционный процесс. М., 1988. С. 9-28.
27. Пакшина С.М., Петухов В.Р. Влияние двойных электрических слоёв поверхности корня и почвенных частиц на доступность питательных элементов растениям // Агрохимия. 1976. № 5. С. 97-102.
28. Пакшина С.М. Передвижение солей в почве. М.: Наука, 1980. 120 с.
29. Пакшина С.М. Задержка солей пленочной влагой почвы и способы воздействия на это явление в мелиорации орошаемых земель // Доклады ВАСХНИЛ. 1981. № 8. С. 25-76.
30. Пакшина С.М. Закономерности движения и распределения солей в почве. М.: 1994. 138 с.
31. Пакшина С.М. Расчет коэффициента перехода радионуклидов в продукцию растениеводства // Аграрная наука. 2001. № 9. С. 5-6.
32. Пакшина С.М., Демихов В.Т., Сквородникова Н.А. Влияние плотности поверхностных зарядов на сопротивление почв размыву: материалы V съезда почвоведов им. В.В. Докучаева. Ростов-на-Дону, 2008. С. 27.
33. Пакшина С.М. Использование данных метеостанции Брянской ГСХА для оценки изменчивости урожайности культур, выращиваемых на опытном поле // Вестник БГСХА. 2010. № 1. С. 29-41.
34. Пакшина С.М. Исследование процессов трансформации соединений элементов питания растений в серых лесных легкосуглинистых почвах / С.М. Пакшина // Агрохимический вестник. 2012. № 5. С. 13-16.
35. Пакшина С.М. Передвижение элементов питания растений в серых лесных легкосуглинистых почвах в осенне-зимне-весенний период // Проблемы агрохимии и экологии. 2013. № 3. С. 7-15
36. Пенман Х. Круговорот воды. М.: «Мир», 1972. С. 60–72.
37. Петербургский А.В. Круговорот и баланс питательных веществ в земледелии. М.: Изд-во «Наука», 1979, 168 с.
38. Пивоварова З.И. Радиационная характеристика климата СССР. Л.: Гидрометеиздат, 1977. 335 с.

39. Почвоведение с основами растениеводства / А.П. Щербаков, Н.А. Протасова, А.Б. Беляев, Л.Д. Стахурлова. Воронеж.: Изд-во Воронежского университета, 1996. 236 с.
40. Почвы Кокинского совхоза-техникума Выгоничского района Брянской области и их использование. Брянск. 1980. 121 с.
41. Разумова Л.А. Об учете агрометеорологических факторов при проектировании мелиоративных мероприятий и эксплуатации мелиорируемых земель // Научные основы мелиорации почв. М.: Наука, 1972. С. 3-10.
42. Руководство гидрометеорологическим станциям по актинометрическим наблюдениям. Л.: Гидрометеиздат, 1973.
43. Система биологизации земледелия Нечерноземной зоны России / В.Ф. Мальцев, М.К. Каюмов, В.Е. Ториков и [и др.] / под ред. В.Ф. Мальцева и М.К. Каюмова. Ч. II. М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2002. 576 с.
44. Сковородникова Н.А. Миграция ¹³⁷Cs в почвах различных экосистем Брянского Полесья: автореф. дис. ... на соиск. степ. канд. с.-х. наук. Брянск, 2005. 20 с.
45. Тарчевский И.А. Фотосинтез различных органов пшеницы и отток из них ассимилянтов // Физиолого-биологические процессы, определяющие величину и качество урожая у пшеницы и других колосовых злаков: тез. докл. Всесоюз. семинара. Казань, 1972. С. 5-7.
46. Толковый словарь по почвоведению. М.: Наука, 1975 г. 286 с.
47. Ториков В.Е., Пакшина С.М., Ториков В.В. Устойчивость ярового ячменя к стрессовым факторам среды. Брянск: Изд-во Брянской ГСХА, 2014. 71 с.
48. Третьяков Н.И., Кошкин Е.И., Макрушин Н.М. Физиология и биохимия сельскохозяйственных растений. М.: Колос, 2000. 640 с.
49. Шатилов И.С. Водопотребление и транспирация растений в полевых условиях // Научные основы программирования урожая с.-х. культур. М.: Колос, 1978. С. 53-66.
50. Шатилов И.С., Замараев А.Г., Чалповская Г.В. Фотосинтетическая деятельность зерновых культур в интенсивном севообороте Центрального Нечерноземья. Фотосинтез и продукционный процесс. М.: Наука. 1988. С. 176-186.
51. Шатилов И.С. Балансовые полевые опыты в агроландшафтных исследованиях // Экологические основы повышения устойчивости и продуктивности агроландшафтных систем: сб. науч. тр. Орел: Изд. Орел ГАУ, 2001. С. 10-16.

Научное издание

Пакшина С.М., Малявко Г.П., Белоус И.Н., Колыхалина А.Е.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ
ОЗИМОЙ РЖИ В БРЯНСКОМ РЕГИОНЕ

монография

Авторская редакция

Редактор Осипова Е.Н.



Подписано к печати 21.07.2017 г. Формат 60x84 1/16.
Бумага печатная. Усл. п. л. 5,63. Тираж 1000 экз. Изд. № 5350.

Издательство Брянского государственного аграрного университета
243365 Брянская обл., Выгоничский район, с. Кокино, Брянский ГАУ