

## ОПТИМИЗАЦИЯ ПОДБОРА ПРЕДШЕСТВЕННИКОВ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ В СЕВООБОРОТАХ ЛЕСОСТЕПИ ПОВОЛЖЬЯ

**Тойгильдин Александр Леонидович**, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры «Земледелие и растениеводство»

**Подсевалов Михаил Ильич**, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры «Земледелие и растениеводство»

**Тойгильдина Ирина Александровна**, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры «Почвоведение, агрохимия и агроэкология»

ФГБОУ ВО Ульяновская ГСХА

432017, г. Ульяновск, бульвар Новый Венец, 1; тел.: 8(8422)55-95-75;

e-mail: zemledelugsha@yandex.ru

**Ключевые слова:** озимая пшеница, предшественники, чистый пар, горох, подбор предшественников, моделирование, линейное программирование.

Статья посвящена оценке преимуществ и недостатков чистого пара в севооборотах. По нашим данным, урожайность озимой пшеницы по чистому пару выше, чем после гороха, но оценка продуктивности звеньев показывает больший выход зерна в звеньях с горохом, поэтому в условиях лесостепной зоны Поволжья актуально рассматривать возможность замены чистых паров на другие предшественники.

### Введение

Сельскохозяйственное производство характеризуется как открытая сложная динамическая система, сельское хозяйство имеет ряд отличительных особенностей, главная из которых то, что оно является биологическим производством и связано с почвой, растениями и живыми организмами.

Исторически сложилось так, что земледелие рассматривается как система, которая призвана решать комплекс задач: формирование урожайности полевых культур и производство продукции растениеводства в объемах общественного потребления, рациональное использование земли, управление почвенным плодородием, охрана окружающей среды и создание устойчивых агроландшафтов.

Ключевым элементом системы земледелия является структура посевных площадей, так как она предопределяет направление специализации хозяйства, объемы производства продукции растениеводства, учитывая конъюнктуру рынка. Структура посевных площадей определяет систему севооборотов. Следует отметить, что в современном земледелии особая функция севооборота состоит в регулировании режима

органического вещества за счет биогенных ресурсов, создаваемых в агроэкосистемах. Возрастает роль севооборота в оптимизации фитосанитарного состояния посевов. Севооборот является аналогом сукцессии – последовательной смены фитоценозов в агроландшафтных экосистемах. В этом смысле севооборот рассматривается с позиций агроэкосистемы, а главный механизм ее развития – биотический круговорот вещества и превращения энергии. Здесь просматривается экологическая сущность севооборота. Севооборот напрямую связан со структурой посевных площадей, что предопределяет его экономическую сущность [1, 2].

Зерновое хозяйство - ведущая отрасль аграрного сектора экономики, развитие которого определяет успешность продовольственного рынка и обеспеченность питания населения. Зерновое производство обеспечивает существенную часть выручки от реализации продукции сельского хозяйства. Повышение продуктивности, устойчивости и эффективности зерновой отрасли - приоритетная задача в системах земледелия региона.

В условиях Ульяновской области в производстве зерна озимые зерновые занима-

ют 17-26% от посевных площадей и обеспечивают 26-63% валового производства<sup>1</sup>.

Целью данной работы явилось определение методологии по оптимизации подбора предшественников для озимой пшеницы как ведущей зерновой культуры для условий лесостепи Поволжья.

#### **Объекты и методы исследований**

Изучение продуктивности сельскохозяйственных культур и севооборотов проводится в стационарном полевом опыте кафедры земледелия и растениеводства Ульяновской ГСХА. Экспериментальные 6-польные севообороты (зернопаровой и зернотравяные) изучаются с 2002 года, они развернуты в пространстве, размещены в 6 ярусов методом расщепленных делянок [3].

Многолетние исследования в стационарных опытах позволяют всецело использовать процесс моделирования. Нами для построения модели использовались данные, полученные в экспериментальных севооборотах по озимой пшенице, которая размещалась после чистого и занятых паров (в данной статье рассматриваются данные звена горох - озимая пшеница).

Наблюдения, учеты и анализы в опыте проводились общепринятыми методиками [4].

Математическая обработка полученных данных проводилась методом линейного программирования [5, 6] корреляционно-регрессионного анализов.

#### **Результаты исследований**

Формирование урожая зерна озимых культур в значительной степени обусловлено появлением своевременных всходов и развитием растений в осенний период, что определяется комплексом факторов. По данным многих ученых, в условиях Среднего Поволжья лучшим предшественником для озимых культур является чистый пар [7, 8, 9, 10, 11], аргументируют это следующим:

– в засушливые годы размещение озимых культур по чистому пару позволяет уменьшить отрицательное влияние засухи за счет сохранения влаги в почве;

– чистые пары имеют большое значение в борьбе с сорными растениями, болезнями и вредными организмами;

– наличие чистого пара расширяет временной интервал внесения органических удобрений на поля;

– поле чистого пара в севообороте дает возможность размещать рентабельные, но требовательные к увлажнению культуры;

– увеличение площади чистого пара - это условие перехода к короткоротационным севооборотам, отвечающим условиям крестьянско-фермерских хозяйств с узкой специализацией и ограниченной земельной площадью;

– наличие чистого пара позволяет без нарушения севооборота менять структуру посевных площадей применительно к складывающейся конъюнктуре рынка.

Наряду с преимуществами, введение чистых паров имеет следующие недостатки:

– в чистом пару в результате усиления минерализации органического вещества отмечаются некомпенсируемые потери гумуса;

– ряд авторов указывает на потери азота вследствие миграции нитратов за пределы корнеобитаемого слоя в чистых парах;

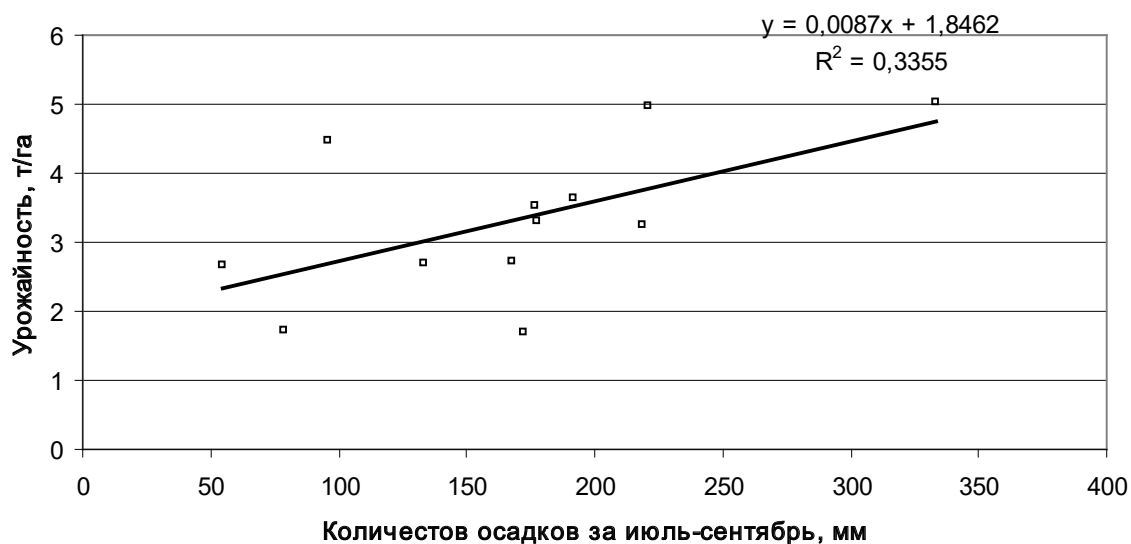
– введение в севообороты поля чистого пара не отвечает требованиям принципа уплотненного использования пашни, а в отдельных регионах замена чистых паров занятыми увеличивает продуктивность севооборотов;

– интенсивная механическая обработка почвы в чистом пару приводит к разрушению ее структуры, распылению и уплотнению;

– в чистых парах повышается эрозийная опасность, проявляется дефляция почвы.

Впервые районирование паров было проведено в 1931 г, тогда было принято решение о том, что в условиях Среднего Поволжья 50% озимых культур рекомендуется размещать по занятым парам [12]. Следует учесть, что единственной озимой культурой

<sup>1</sup>По данным Федеральной службы государственной статистики за 2010-2014 гг. <http://uln.gks.ru/>



**Рис.1 - Зависимость урожайности озимой пшеницы после гороха от количества осадков в предшествующем году (за 2003-2015 гг.)**

в то время выступала озимая рожь.

Исследованиями Шульмейстера К.Г. [13] установлено, что оптимальной долей озимых зерновых культур для условий лесостепи Поволжья является 20-23 % от площади пашни, озимые зерновые целесообразно размещать по чистым парам только 40-50 % площади (10-12 % от всей пашни). Однако в засушливых районах Среднего Поволжья по чистым парам размещают 100% площади посева озимых культур, особенно озимую пшеницу [14].

В рекомендациях для условий Ульяновской области отмечено, что для повышения зернового производства от 60 % (Западная зона) до 100 % (Южная зона) озимых культур рекомендуется размещать по чистым парам [10].

При высокой культуре агротехники, при оптимизации питательного режима почвы за счет внесения удобрений, применении средств защиты растений в условиях достаточной влагообеспеченности роль чистого пара снижается, а с точки зрения экономической эффективности его введение не целесообразно и преимущество остается за звеньями с занятыми парами.

Получение высоких урожаев озимой пшеницы по занятым парам возможно в годы с достаточным количеством осадков в период июль-август, что обеспечивает полу-

чение своевременных и дружных всходов, поэтому посев озимой пшеницы можно производить только по тем занятым парам, которые к севу озимых культур накапливают достаточное количество влаги.

При сопоставлении урожайных данных по занятым и чистым парам с метеорологическими данными В.М. Бейлис [15] получил биометрические связи, позволяющие установить агроклиматический показатель целесообразности введения чистых паров, представляющий собой величину увлажненности почвы, который может быть вычислен по формуле:

$$K = P_{\text{июль}} + P_{\text{август}} + P_{\text{сентябрь}},$$

где P – осадки по месяцам, мм

Наши расчеты показали, что урожайность озимой пшеницы в занятом пару (после гороха) имела прямую среднюю зависимость от количества осадков в период июль-август предшествующего года ( $R=0,58$ ), что представлено на рис. 1.

В условиях лесостепи Поволжья ценными культурами для размещения в занятых парах являются зерновые бобовые, а одним из лучших - горох.

По мнению В.И. Морозова [16], севооборотные звенья с горохом следует рассматривать как «генетически связанные с

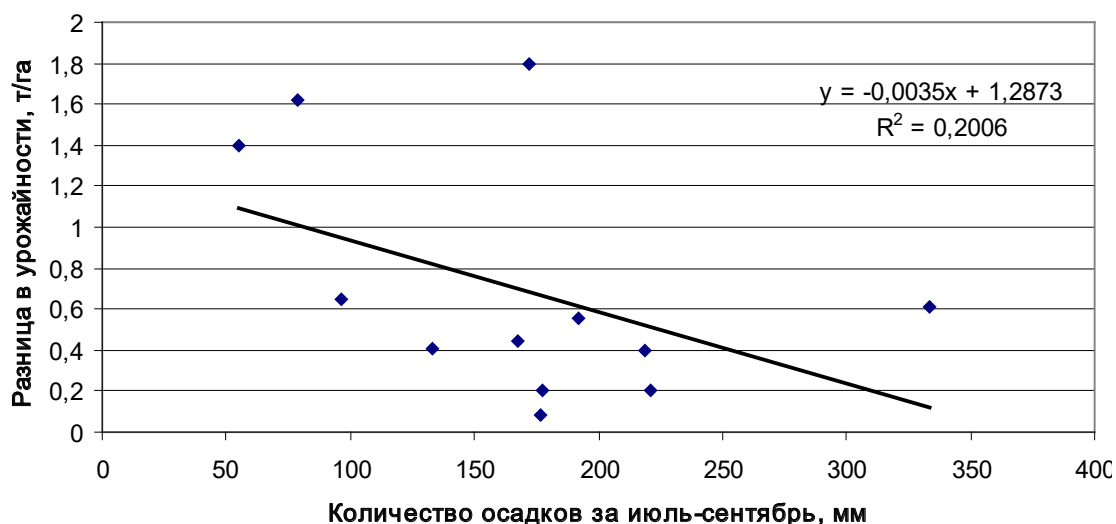


Рис. 2 - Связь прибавки урожайности озимой пшеницы от чистого пара с количеством осадков в предшествующем году (за 2003-2015 гг.)

плодосменом», что ослабляет отрицательное влияние повторных посевов зерновых культур, снижает поражение корневыми гнилями.

Сельскохозяйственные предприятия лесостепи Поволжья в недалеком прошлом лидировали по производству зернобобовых культур. По данным В.И. Морозова [17], в среднем за 1971-1980 гг. зернобобовые культуры в Ульяновской области занимали 240 тыс. га (12,9 %). При этом на долю гороха приходилось 207 тыс. га (11,9 % от площади пашни). Валовой сбор зернобобовых достигал 306-350 тыс.т., или 16-19 % к общему валовому сбору зерновых. Накопление ресурсов растительного белка за счет интенсификации культуры зернобобовых растений оказывало позитивное влияние на развитие животноводства и удовлетворение потребностей населения в продуктах питания животного происхождения.

Из истории известно, что в странах Западной Европы переход от паровой и зерновой систем земледелия к плодосмену произошел значительно быстрее, чем в России, что объясняется развитием науки и ростом народонаселения, это в конечном итоге привело к повышению урожайности зерновых культур в 2 раза [18].

Плодосмен рассматривается как следствие из всеобщего закона единства растительных организмов и среды их обитания.

Плодосмен рассматривается как следствие из всеобщего закона единства растительных организмов и среды их обитания.

Таблица 1

Урожайность озимой пшеницы и ее вариация по различным предшественникам за 2003 - 2015 гг.

Предшественник	Средняя урожайность, 2003-2015 гг.	Варьирование урожайности, т/га		V, %
		min	max	
Без учета 2010 года <sup>2</sup>				
Чистый пар	4,01	3,09	5,65	19,7
Занятый пар (горох)	3,31	1,72	5,04	30,6
С учетом 2010 года				
Чистый пар	3,42	0,41	5,65	35,5
Занятый пар (горох)	2,86	0,16	5,04	43,7

<sup>2</sup>В 2009-2010 году отмечена гибель озимой пшеницы по всем предшественникам. При пересеве погибших посевов яровой пшеницей было получено 0,16-0,41 т/га зерна из-за сильной засухи в течение вегетации 2010 года.

Таблица 2

**Продуктивность звеньев севооборотов с озимой пшеницей за 2003-2015 гг. (по данным полевого опыта кафедры земледелия)**

№ п/п	Звено севооборота	Урожайность гороха, т/га	Урожайность озимой пшеницы, т/га	Выход зерновых единиц, тыс./га	V, %
1	Чистый пар - озимая пшеница	-	4,01	2,00	19,7
2	Горох - озимая пшеница	1,95	3,31	3,02	26,0

М.И. Сидоров [19] отмечал, что «...плодосмен по влиянию на свойства почвы подобен фитоценозам, но проявляет свое действие во времени». На этом основании ряд авторов считает, что необходимость чередования сельскохозяйственных культур на основе плодосмена является законом земледелия.

Учитывая вышеизложенное, можно констатировать, что занятый пар следует рассматривать как альтернативу чистому пару, а подбор видового состава предшественников определяются конкретными почвенно-климатическими условиями.

Анализ полученных данных в стационарном полевом опыте кафедры земледелия позволил выявить среднюю ( $r = -0,447$ ) обратную зависимость прибавки урожайности озимой пшеницы по чистому пару (в сравнении с занятым гороховым) от количества осадков в период июль-сентябрь. Выявлено, что при сумме осадков  $> 150$  мм за указанный период различия в урожайности озимой пшеницы по чистому и занятому пару минимизируются и не превышают 0,6 т/га (рис. 2).

Анализ урожайности озимой пшеницы по чистому пару показал, что она изменялась от 3,09 до 5,65 т/га (отмечена гибель посевов 7,7% лет), при этом коэффициент вариации составил 19,7%, что характеризуется как средняя вариабельность. После гороха урожайность озимой пшеницы варьировала от 1,72 до 5,04 т/га, при коэффициенте вариации 30,6%.

В среднем за 12 лет наблюдений урожайность озимой пшеницы изменялась в зависимости от предшественников от 3,31 до 4,01 т/га с преимуществом чистого пара на 0,7 ц/га. Таким образом, урожайность озимой пшеницы по чистому пару была выше,

чем после занятого пара горохом и более устойчива по годам (таблица 1).

Данный факт объясняется более высокой влагообеспеченностью посевов озимой пшеницы по чистому пару в период посева и осеннего развития. Посредством корреляционно-регрессионного анализа нами установлена положительная связь ( $r = 0,633$ ) между содержанием продуктивной влаги перед посевом озимой пшеницы ( $x$ , мм) и урожайностью зерна озимой пшеницы ( $y$ , т/га), что характеризуется уравнением регрессии:  $y = 0,025x + 0,401$ .

Несмотря на выше отмеченное, при оценке продуктивности прослеживается существенное преимущество звеньев севооборотов с горохом. По нашим исследованиям, выход условных зерновых единиц в звене с горохом составил соответственно 3,02 тыс./га, что больше чем в звене с чистым паром на 1,02 тыс./га (табл. 2).

Моделирование систем земледелия и ее элементов основано на экономико-математических методах, однако они применяются не часто, хотя имеется определенный опыт их разработки и внедрения [20, 21, 22].

Одним из способов оптимизации структуры посевных площадей сельскохозяйственных культур является решение задач линейного программирования [23].

Постановка задачи сводилась к определению оптимального звена севооборота (с чистым и занятым паром) - доли чистого пара в качестве предшественника озимой пшеницы, которая бы обеспечивала получение максимальной денежной выручки от произведенной зерновой продукции в звене севооборота.

Для решения данной проблемы была разработана экономико-математическая модель. Искомыми величинами в ней явля-

Таблица 3

Исходные данные для построения модели по оптимизации звена севооборота

№ п/п	Показатель	Чистый пар - озимая пшеница	Горох - озимая пшеница	Объемы ограничений
1	Производственные затраты, тыс.руб./ 1 га	15,1	27,5	Не более 25,0
2	Выход зерна, т/га	2,00	3,02	Не менее 2,5
3	Выручка от реализации продукции, тыс.руб. с 1 га	23,6	40,8	Целевая функция стремится к max

лись площади посевов озимой пшеницы в звеньях с чистым и занятым парами ( $x_1, x_2$ ).

$x_1$  – площадь посева чистый пар - озимая пшеница;

$x_2$  – площадь посева горох - озимая пшеница;

Ограничения задачи были составлены из условий, описывающих структуру посевных площадей зерновых культур, условий, отражающих условия возделывания, а также по расчету технико-экономических показателей. Общий размер задачи составил две переменные и наиболее значимые условия-

ограничения (таблица 3).

За целевую функцию был принят показатель - получение выручки от реализации получаемой продукции в звеньях севооборотов, за ограничивающие факторы, такие показатели, как производственные затраты, урожайность озимой пшеницы и выход зерна в звене севооборота, потери гумуса, накопление влаги перед посевом, проективное покрытие почвы.

Цель задачи сводилась к определению такой доли чистого и занятого паров в качестве предшественников для озимой пшеницы, которая обеспечивала бы максимальное значение функции:

$$F(X) = 23,6 x_1 + 40,8 x_2 \rightarrow \max$$

при следующих условиях:

По общей площади пашни:

$$x_1 + x_2 = 1$$

По суммированию производственных затрат:

$$15,1x_1 + 27,5x_2 \leq 25,0$$

По производству зерновой продукции:

$$2,00x_1 + 3,02x_2 \geq 2,5$$

$$4,01x_1 + 3,31x_2 \geq 3,65$$

В результате решения задачи была построена область допустимых решений, т.е. решена графически система неравенств. Для этого построены прямые и определены полуплоскости, заданные неравенствами.

В результате построения прямой, отвечающей значению функции  $F = 0$ :  $F = 23,6x_1 + 40,8x_2 = 0$  и построения вектора-градиента, составленного из коэффициентов целевой функции, указывается направление максимизации  $F(X)$ .

Прямая  $F(x) = \text{const}$  пересекает область в точке А. Так как точка А получена в результате пересечения прямых (1) и (3), то ее координаты удовлетворяют уравнениям этих

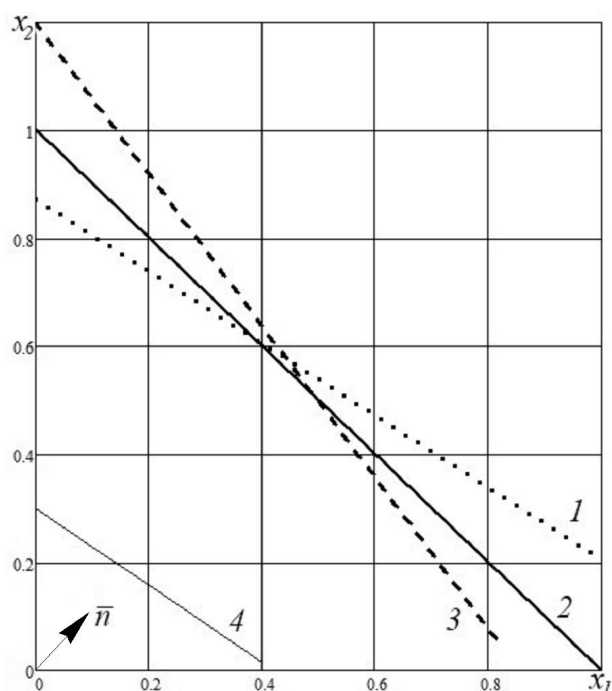


Рис. 3 – Графическое изображение решения задачи

1 - решение уравнения по оптимизации производственных затрат.

2 - доля  $x_1$  – чистого пара;  $x_2$  - доля занятого пара горохом.

3 - решение уравнения по производству зерновой продукции с единицы площади

прямых (рис. 3):

$$\begin{aligned}x_1 + x_2 &= 1 \\ 2,00x_1 + 3,02x_2 &\geq 2,6\end{aligned}$$

Решив систему уравнений, получены значения:  $x_1 = 0,4$ ,  $x_2 = 0,6$

Откуда найдено максимальное значение целевой функции:

$$F(X) = 23,6 * 0,4 + 40,8 * 0,6 = 33,9$$

Сумма планируемой денежной выручки от реализации зерновой продукции может составить 33,9 тыс. руб. с 1 га.

Таким образом, решение задачи линейного программирования показывает, что оптимальное соотношение чистого и занятого пара в качестве предшественников озимой пшеницы, по данным многолетних полевых исследований, в условиях лесостепи Поволжья составляет соответственно 0,4:0,6.

#### Выводы

Севооборот выполняет комплекс важнейших организационно-хозяйственных и агротехнических функций в системах земледелия. Структура севооборотов, количество полей и набор культур определяют такие условия, как специализация, почвенно-климатические и социально-экономические условия ведения хозяйства.

Чистые пары в севооборотах имеют преимущества и недостатки, поэтому их доля определяется, прежде всего, уровнем интенсификации и почвенно-климатическими условиями. По нашим данным (в среднем за 12 лет), урожайность озимой пшеницы по чистому пару составила 4,01 т/га, что на 0,7 т/га больше, чем после гороха (3,31 т/га), но выход зерна в звене с горохом составил 3,02 т/га, что на 1,02 т/га, или 50,1%, больше. В этой связи актуально определить оптимальное соотношение доли чистого и занятого паров-предшественников для озимой пшеницы. Нами предлагается метод линейного программирования с включением в модель показателей производственных затрат и продуктивности звеньев по выходу зерна с целью получения максимальной выручки от реализации получаемой продукции. Решение задачи линейного программирования показывает, что оптимальное соотношение предшественников для озимой пшеницы

*чистый пар : занятый пар*, по нашим многолетним данным, в условиях лесостепи Поволжья составляет соответственно 0,4:0,6.

#### Библиографический список

1. Морозов, В.И. Биологизация севооборотов и их синергетическая эффективность в управлении плодородием в лесостепи Поволжья / В.И. Морозов // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. -2012. -№ 1. -С. 36-40
2. Лошаков, В.Г. Севооборот и плодородие почвы / В.Г. Лошаков // - М.: Изд. ВНИИА, 2012. - 512 с.
3. Морозов, В.И. Полевой опыт как метод познания и практического освоения инновационных технологий/ В.И. Морозов, А.Л. Тойгильдин // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. -2012. - №1. -(17). - С. 40-44.
4. Кирюшин, Б.Д. Основы научных исследований в агрономии / Б.Д. Кирюшин, Р.Р. Усманов, И.П. Васильев. - М.: КолосС, 2009. - 398 с.
5. Светлов, Н.М. Стохастические модели динамического программирования для оптимизации севооборотов и их использование в системе моделей перспективного планирования производственной структуры сельскохозяйственных предприятий / Н.М. Светлов. - М., 1997. - 8 с.
6. Орлова, И.В. Экономико-математическое моделирование: практическое пособие по решению задач. - М.: Вузовский учебник, 2004. - 144 с.
7. Морозов, В.И. Водный баланс полей севооборотов зерновой специализации / В.И. Морозов, М.И. Подсевалов // Ускорение научно-технического прогресса в агропромышленном комплексе. Тезисы докладов. - 1986. - С. 8-9.
8. Потушанский, В.А. Озимая пшеница в лесостепи Поволжья / И. Ф. Тимергалиев, С. Н. Немцев. - Ульяновск, 2003. - 86 с.
9. Асмус, Александр Анатольевич. Биологизация севооборотов и продуктивность паровых звеньев с озимой пшеницей на черноземе выщелоченном лесостепи Поволжья: автореф. дис. ... канд. сельскохозяйственных наук: 06.01.01 / А.А. Асмус. - Ки-

нель, 2009. - 19с.

10. Адаптивно-ландшафтная система земледелия Ульяновской области. – Ульяновск: ООО Колор-Принт, 2013. - 354 с.

11. Плескачев, Ю.Н. О севооборотах в Нижнем Поволжье/ Ю.Н. Плескачев, А.Н. Сухов// Земледелие. – 2013. - № 2. - С. 3-5.

12. Гордеев, А.В. Биоклиматический потенциал России: теория и практика /А.В. Гордеев, А.Д. Клещенко, Б.А. Черняков, О.Д. Сиротенко - М. 2006. - 512 с.

13. Шульмейстер, К.Г. Избранные труды. Том 2 / К.Г. Шульмейстер.- Волгоград, 1995. - 480 с.

14. Кащеев, А.Н. Севообороты и обработка почвы в интенсивном земледелии: учебное пособие / А.Н. Кащеев, А.Н. Орлов. – Пенза: РИО ПГСХА, 2007. – 153с.

15. Бейлис, В.М. Агроклиматическое районирование паров и силосных культур/ В.М. Бейлис, Г.Н. Любарский. - М.: Колос, 1966. - 200 с.

16. Морозов, В.И. Продуктивность севооборотов и воспроизводство биогенных ресурсов земледелия в лесостепи Поволжья / В.И. Морозов, М.И. Подсевалов, Е.А. Петухов // Плодородие почвы - основа высокоэффективного земледелия. Материалы межрегиональной научно-практической конференции. - 2000. - С. 114-115.

17. Морозов, В.И. Дифференциация систем земледелия и их практическое освоение в лесостепи Поволжья / В.И. Морозов

// Дифференциация систем земледелия и плодородие чернозема лесостепи Поволжья. Тематический сборник научных трудов.- Ульяновск, 1996. - С. 12-31.

18. Прянишников, Д.Н. Севооборот и его значение в деле поднятия наших урожаев / Д.Н. Прянишников.– М.: ТСХА, 1945. – 35 с.

19. Сидоров, М.И. Научные и агротехнические основы севооборотов / М.И. Сидоров, Н.И. Зезюков. - Воронеж, 1993.- 104 с.

20. Овсянников, В.И. Моделирование систем земледелия на основе многолетних полевых экспериментов / В.И. Овсянников, А.Н. Сухорукова, С.М. Овсянникова и др. // Сиб. вестн. с.-х. науки. –1983. С. 1-8.

21. Фрумин Игорь Лазаревич. Моделирование земледелия Южного Зауралья: автореферат дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.01.01-Общее земледелие: /И.Л. Фрумин // Челябинск, 2004, 40 с.

22. Образцов, А.С. Системный метод: применение в земледелии / А.С. Образцов, А.В. Образцов // – М.: Агропромиздат, 1990. –303 с.

23. Светлов, Н.М. Стохастическая постановка задачи динамического программирования и её применение для оптимизации севооборота / Н.М. Светлов / Тр. Независимого Аграрно-Экономического Общества России - М.: МСХА, 2002. - Вып. I: Проблемы формирования аграрного рынка России. - С. 1-3.