

## ВЛИЯНИЕ УДОБРЕНИЙ НА УРОЖАЙНОСТЬ И БИОЭНЕРГЕТИЧЕСКУЮ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЙ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР В СЕВОБОРОТЕ

**Никитин Сергей Николаевич**<sup>1</sup>, кандидат сельскохозяйственных наук, зам. директора по науке

ФГБНУ «Ульяновский НИИСХ»<sup>1</sup>

**Куликова Алевтина Христофоровна**<sup>2</sup>, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры «Почвоведение, агрохимия и агроэкология»

**Карпов Александр Викторович**<sup>2</sup>, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры «Почвоведение, агрохимия и агроэкология»

ФГБОУ ВО Ульяновская ГСХА<sup>2</sup>

<sup>1</sup>433315, Ульяновская область, Ульяновский район, пос. Тимирязевский, ул. Институтская, 19; тел.: 8(8422)41-81-55, e-mail: s\_nikitin@mail.ru

<sup>2</sup>432017, г. Ульяновск, бульвар Новый Венец, 1; тел.: 8(8422) 55-95-68, e-mail: agroec@yandex.ru

**Ключевые слова:** минеральные, органические и нетрадиционные удобрения, биоэнергетическая эффективность.

В длительном трехфакторном опыте установлена высокая эффективность удобрений в технологиях возделывания сельскохозяйственных культур в севообороте. Наиболее энергетически эффективными являются варианты с использованием сидерата и соломы, особенно с учетом затрат гумуса на формирование урожайности культур.

### Введение

Проблема повышения продуктивности земледелия при одновременном воспроизводстве и сохранении плодородия почвы остается глобальной для страны в целом и особенно она актуальна в Поволжье с его достаточно экстремальными условиями для производства сельскохозяйственной продукции. Современные агротехнологии возделывания полевых культур должны обеспечивать получение высоких урожаев с хорошим качеством растениеводческой продукции при условии сохранения и воспроизводства плодородия почвы. В основе его, прежде всего, лежит улучшение минерального питания растений за счет научно обоснованной системы применения минеральных и органических удобрений, средств биологизации земледелия.

В большинстве субъектов Российской Федерации плодородие пахотных почв по основным агрохимическим показателям за последние 20 лет существенно ухудшилось [1]. Формирование урожайности сельскохозяйственных культур, в том числе в Улья-

новской области, происходит в основном за счет почвенного плодородия. Крайне низкий уровень применения традиционных органических и минеральных удобрений не позволяет компенсировать постоянно отчуждаемые товарной продукцией элементы питания и приводит к дальнейшему снижению плодородия почв. В связи с этим необходим поиск дополнительных агрохимических ресурсов, которыми могут быть растительные и послеуборочные остатки, зеленые и бактериальные удобрения, осадки сточных вод, местные минерально-сырьевые ресурсы и т.д. Использование этих ресурсов позволит сохранить плодородие почвы, оптимизировать питание растений и получать стабильные урожаи качественной продукции, сохраняя экологический статус агроценозов. Кроме того, соответствующие агротехнологии должны быть экономически рентабельными и энергетически оправданы. Одним из важнейших направлений снижения энергопотребления в земледелии является биологизация систем удобрения,

направленная на использование соломы, биопрепаратов, органических и нетрадиционных удобрений.

В связи с этим целью исследований являлось изучение сравнительной эффективности различных средств химизации и биологизации, применяемых в севообороте, в том числе биоэнергетическая их оценка.

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

Изучение сравнительной эффективности различных видов удобрений (навоз, осадки сточных вод, NPK, солома, сидерат), внесенных в одинаковом количестве по азоту, применения диатомита (высококремнистой породы осадочного происхождения) и предпосевной обработки семян биопрепаратами (Ризоагрин, Флавобактерин, Ризоторфин) проводилось на стационарном участке опытного поля Ульяновской НИИСХ в 2004–2012 годы.

Севооборот зернопаровой со следующим чередованием культур: пар чистый – озимая пшеница 1 – яровая пшеница 1 – горох – озимая пшеница 2 – яровая пшеница 2 – ячмень.

Схема опыта включала 24 варианта (приведена в таблице при обсуждении данных), повторность 4-кратная в пространстве и во времени. Делянки с удобрениями разбивали поперек на 3 фона. Первый из них оставался как контроль (нулевой фон). На втором фоне вносили диатомит (Инзенского месторождения). На третьем фоне проводили в день посева обработку семян биологическими препаратами (озимая пшеница – Флавобактерин, яровая пшеница и ячмень – Ризоагрин, горох – Ризоторфин), изготовленными в НИИ сельскохозяйственной микробиологии (г. Пушкин Ленинградской области).

Навоз подстилочный крупного рогатого скота, солому, осадок сточных вод и диатомит заделывали в чистом пару (май–июнь) тяжелой дисковой бороной на глубину 10–20 см. Минеральные удобрения вносили под предпосевную культивацию согласно схеме опыта. Посевная площадь делянок 174 м<sup>2</sup> (5,8–30 м), учетная – 100 м<sup>2</sup> (4 × 25 м).

Почва опытного поля чернозем выщелоченный тяжелосуглинистый. Содержа-

ние гумуса в пахотном слое составляло 6,54 – 6,64 %, общего азота – 0,24–0,28 %, подвижных P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и K<sub>2</sub>O (по Чирикову) 208–221 и 98–108 мг/кг почвы, pH – 6,4–6,5, сумма поглощенных оснований 40–44 ммоль/100 г почвы, степень насыщенности основаниями 95–97 %.

Объектами исследования являлись:

- удобрения: навоз, осадки сточных вод (ОСВ), мочевины, суперфосфат двойной, хлористый калий, солома, сидерат (викоовсяная смесь), диатомит Инзенского месторождения Ульяновской области;

- биологические препараты: Ризоагрин, создан на основе штамма, относящегося к роду *Agrobacterium* (*A. Radiobacter*, штамм 204); Флавобактерин на основе штамма, относящегося к роду *Flavobacterium* sp. (штамм JT 30); Ризоторфин – основу препарата составляют клубеньковые бактерии, которые способны вступать в симбиоз с корневой системой гороха;

- сельскохозяйственные культуры: озимая и яровая пшеницы, ячмень и горох.

Организация полевых опытов, проведение наблюдений и лабораторных анализов, отбор почвенных и растительных образцов осуществлялись по соответствующим ГОСТам.

#### **Результаты исследований**

Продуктивность севооборота определяется урожайностью отдельных культур, которая, в свою очередь, зависела от действия и последствий отдельных видов удобрений (табл. 1).

При анализе данных таблицы, прежде всего, обращает на себя внимание, что сидерат и солома в качестве органического удобрения практически равноценны минеральным удобрениям, вносимым с расчетом на планируемый урожай и даже навоза и ОСВ в дозах 25 и 12,5 т/га. Так, прибавка урожайности зерна в среднем за ротацию севооборота составила: по варианту с внесением N<sub>140</sub>P<sub>95</sub>K<sub>175</sub> – 0,31 т/га, или 12 %; навоза 25 т/га – 0,40 т/га (16 %); ОСВ 12,5 т/га (14 %); сидерата – 0,35 т/га (14 %); соломы – 0,33 т/га (13 %).

И только внесение навоза 50 т/га и ОСВ 25 т/га обеспечивало формирование

Таблица 1

Среднегодовая урожайность культур севооборота при применении различных видов удобрений, т/га

Вариант		Озимая пше- ница 1, 2005- 2007 г.г.	Яровая пше- ница 1 2006-2008 г.г.	Горох, 2007-2009 г.г.	Озимая пше- ница 2, 2008- 2009 г.г.	Яровая пше- ница 2, 2009-2011 г.г.	Ячмень, 2010-2012 г.г.	Средняя по варианту
Фон	Удобрение							
О	1. Контроль	3,30	2,88	1,49	3,56	2,00	2,10	2,56
	2. N140 P95 K175	3,82	3,18	1,63	4,10	2,18	2,31	2,87
	3. Навоз 25 т/га	3,87	3,31	1,77	4,21	2,35	2,23	2,96
	4. Навоз 50 т/га	4,05	3,46	1,83	4,41	2,53	2,36	3,11
	5. ОСВ 12,5 т/га	3,87	3,38	1,79	4,12	2,21	2,15	2,92
	6. ОСВ 25 т/га	4,18	3,52	1,84	4,27	2,29	2,33	3,07
	7. Сидерат	3,78	3,36	1,74	4,10	2,24	2,22	2,91
	8. Солома + N115	3,79	3,28	1,69	3,93	2,30	2,34	2,89
Средняя по фону		3,83	3,30	1,72	4,09	2,26	2,26	2,91
Диатомит, 5 т/га	1. Контроль	3,92	3,23	1,66	3,63	2,25	2,57	4,87
	2. N140 P95 K175	4,03	3,31	1,80	4,17	2,48	2,85	3,11
	3. Навоз 25 т/га	4,25	3,46	1,98	4,26	2,53	2,73	3,20
	4. Навоз 50 т/га	4,45	3,67	2,04	4,44	2,69	2,98	3,38
	5. ОСВ 12,5 т/га	4,35	3,50	1,98	4,17	2,46	2,67	3,19
	6. ОСВ 25 т/га	4,62	3,76	1,99	4,37	2,57	2,81	3,35
	7. Сидерат	4,26	3,53	1,95	4,14	2,39	2,70	3,16
	8. Солома + N115	4,22	3,37	1,85	4,06	2,51	2,82	3,14
Средняя по фону		4,26	3,48	1,91	4,16	2,49	2,76	3,18
Предпосевная обработка семян биопрепаратами	1. Контроль	4,05	3,38	1,73	3,68	2,39	2,48	2,95
	2. N140 P95 K175	4,38	3,56	1,87	4,20	2,55	2,81	3,23
	3. Навоз 25 т/га	4,41	3,61	2,07	4,28	2,60	2,54	3,25
	4. Навоз 50 т/га	4,64	3,83	2,12	4,50	2,81	2,92	3,47
	5. ОСВ 12,5 т/га	4,51	3,77	2,06	4,21	2,62	2,63	3,30
	6. ОСВ 25 т/га	4,71	3,80	2,10	4,38	2,73	2,75	3,41
	7. Сидерат	4,39	3,69	2,06	4,14	2,52	2,66	3,24
	8. Солома	4,29	3,48	1,95	4,08	2,67	2,87	3,22
Средняя по фону		4,42	3,64	2,00	4,18	2,61	2,71	3,26
P, %		3,9	1,7	3,6	4,8	3,5	4,6	-
НСР <sub>05</sub> (вариант)		0,46	0,17	0,19	0,44	0,24	0,34	-
НСР <sub>05</sub> (фон)		0,16	0,06	0,07	0,15	0,09	0,12	-
НСР <sub>05</sub> (удобрение)		0,27	0,10	0,11	0,25	0,14	0,20	-
НСР <sub>05</sub> (взаимод.)		0,46	-	0,19	-	0,24	0,34	-

более высокой урожайности зерновых культур, где прибавка ее в среднем составила 0,35–0,36 т/га (20 – 21 %). Аналогичная закономерность сохранялась при возделывании культур на фоне диатомита 5 т/га и предпосевной обработки семян биологическими препаратами.

Высокая эффективность сидеральных паров доказана во многих исследованиях [2,3,4]. Поступление свежего органического вещества при заделке сидератов в почву оказывает сильное положительное воздействие на физические и физико-химические свойства (плотность сложения, структурное

состояние, микробиологическую деятельность и питательный режим), обеспечивая более благоприятные условия для произрастания возделываемых культур.

Что касается соломы зерновых культур, с тонной ее в почву поступает 810 кг органического вещества, 5–14 кг – азота, 0,7–2,4 кг – фосфора, 10–17 кг калия, 9–12 кг – кальция и 0,8–3,0 кг магния [5]. По улучшению свойств почвы она, по нашим данным, не уступает или превосходит сидеральные культуры. Применение соломы совместно с азотным удобрением позволяет значительно улучшить ее разложение и повысить ее эффективность на первой же культуре после заделки в качестве органического удобрения.

Внесение диатомита (однократное, под паровое поле вначале ротации севооборота) обеспечило прибавку урожайности на контрольном варианте в среднем за 7 лет 0,31 т/га (12 %), при совместном применении с навозом по отношению к абсолютному контролю от 0,29 до 0,51 т/га (11 – 20 %), ОСВ от 0,32 до 0,46 т/га (13 – 18 %), сидератом – 0,29 т/га (11 %), соломой – 0,27 т/га (11 %).

Последнее, несомненно, обусловлено высокой эффективностью диатомита как полифункционального кремниевого удобрения [6,7,8], тем более что почва опытного поля испытывает дефицит монокремниевой кислоты.

Использование биологических препаратов имеет высокую экологическую и экономическую значимость. Эффективность их по влиянию на урожайность растений и качество растениеводческой продукции эквивалентно внесению под все культуры азотных удобрений в дозах 30 – 40 кг д.в./га, фосфорных – 15 – 25 кг.д. в./га [9,10,11].

В наших исследованиях предпосевная обработка семян биопрепаратами по влиянию на формирование урожайности сельскохозяйственных культур практически равноценна внесению в почву диатомита в дозе 5 т/га.

Однако надо иметь в виду, что диатомит вносится (хотя и достаточно в больших дозах) один раз за ротацию севооборота,

биопрепараты же ежегодно, и формирование урожайности происходит только за счет почвенных ресурсов, которые со временем могут истощаться.

Следует также отметить, что наиболее отзывчивы на внесение как органических, так и минеральных удобрений требовательные к плодородию почвы озимая и яровая пшеница, диатомита – озимая пшеница и ячмень (наиболее кремнелюбивые культуры).

Все культуры хорошо отзываются на предпосевную обработку семян биопрепаратами. Урожайность зерна при этом по отдельным культурам и в отдельные годы может повышаться до 0,85 т/га (43 %, озимая пшеница 1).

Энергетическая оценка эффективности возделывания сельскохозяйственных культур заключается в соотношении количества накопленной растительным сообществом энергии с антропогенными затратами и позволяет более объективно и точно проводить это через энергетические эквиваленты, затрачиваемые на производство единицы сельскохозяйственной продукции независимо от ценовой политики. Энергетический подход представляет возможность количественно определить энергетическую оценку сельскохозяйственной продукции и технологий их возделывания [12,13].

Не трудно определить, что основным показателем, повлиявшим на энергетическую эффективность технологий возделывания в наших опытах, является урожай и накопленная в нем энергия. А так как варианты с использованием минеральных и органических удобрений являются заведомо более энергетически емкими, то наиболее эффективными являются варианты, где они либо совсем не применяются, либо их вовлечение в агроэкосистемы минимально (табл. 2). Так, можно выделить варианты с сидератом и соломой, эффективность которых превышает остальные варианты – коэффициент биоэнергетической эффективности 2,29 и 2,35 на фоне 0; 2,17 и 2,21 на фоне диатомита и 2,50 и 2,52 на фоне биопрепаратов; а также контрольные варианты, которые не уступают выше обозначенным вариантам

Таблица 2

**Биоэнергетическая эффективность технологий возделывания культур севооборота при применении различных источников химизации**

Вариант		Продуктивность севооборота, зерн. ед., т/га в год	Содержание энергии в продукции тыс. МДж/га	Коэфф. энергет. эффективности без учета затрат энергии гумуса	Коэфф. энергет. эффективности с учетом затрат энергии гумуса
Фон	Удобрение				
О	1. Контроль	2,02	39,25	2,27	0,84
	2. N <sub>140</sub> P <sub>95</sub> K <sub>175</sub>	2,24	43,52	2,15	1,50
	3. Навоз 25 т/га	2,33	45,27	2,24	2,24
	4. Навоз 50 т/га	2,44	47,41	2,09	2,09
	5. ОСВ 12,5 т/га	2,32	45,08	2,19	1,89
	6. ОСВ 25 т/га	2,37	46,05	1,96	1,96
	7. Сидерат	2,30	44,69	2,29	2,29
	8. Солома+ N <sub>115</sub>	2,30	44,69	2,35	2,35
Диатомит	1. Контроль	2,28	44,30	2,17	0,87
	2. N <sub>140</sub> P <sub>95</sub> K <sub>175</sub>	2,44	47,41	2,03	1,48
	3. Навоз 25 т/га	2,54	49,35	2,13	1,38
	4. Навоз 50 т/га	2,69	52,27	2,03	2,03
	5. ОСВ 12,5 т/га	2,55	49,55	2,10	1,29
	6. ОСВ 25 т/га	2,68	52,07	1,96	1,96
	7. Сидерат	2,52	48,96	2,17	2,17
	8. Солома+ N <sub>115</sub>	2,50	48,58	2,21	2,21
Инокуляция биопрепаратам	1. Контроль	2,36	45,85	2,56	1,06
	2. N <sub>140</sub> P <sub>95</sub> K <sub>175</sub>	2,55	49,55	2,38	1,88
	3. Навоз 25 т/га	2,61	50,71	2,46	1,95
	4. Навоз 50 т/га	2,76	53,63	2,31	2,31
	5. ОСВ 12,5 т/га	2,64	51,30	2,42	1,55
	6. ОСВ 25 т/га	2,71	52,66	2,20	2,20
	7. Сидерат	2,57	49,94	2,50	2,50
	8. Солома+ N <sub>115</sub>	2,51	48,77	2,52	2,52

по эффективности, а на фоне биопрепаратов даже превосходят все остальные (2,56). Наименее энергетически эффективным является вариант с внесением ОСВ в дозе 25 т/га, несмотря на достаточно высокий уровень продуктивности.

Однако методы энергетической оценки технологий возделывания сельскохозяйственных культур следует ориентировать с позиций влияния их на почвенное плодородие. В частности, учитывать динамику запасов гумуса, который составляет в нашей зоне около 95 % энергии от общего энергопотенциала почвы [14,15,16].

На рисунке приведены данные изменения содержания гумуса в почве при использовании удобрений на нулевом фоне в начале и конце ротации.

Отмечается достоверное снижение содержания гумуса в контрольном варианте, а также во втором варианте с внесением минеральных удобрений и в пятом – с использованием ОСВ в дозе 12,5 т/га.

Аналогичная картина наблюдается и на фоне с использованием диатомита и в вариантах с обработкой семян биопрепаратами.

При учете затрат энергии гумуса эффек-



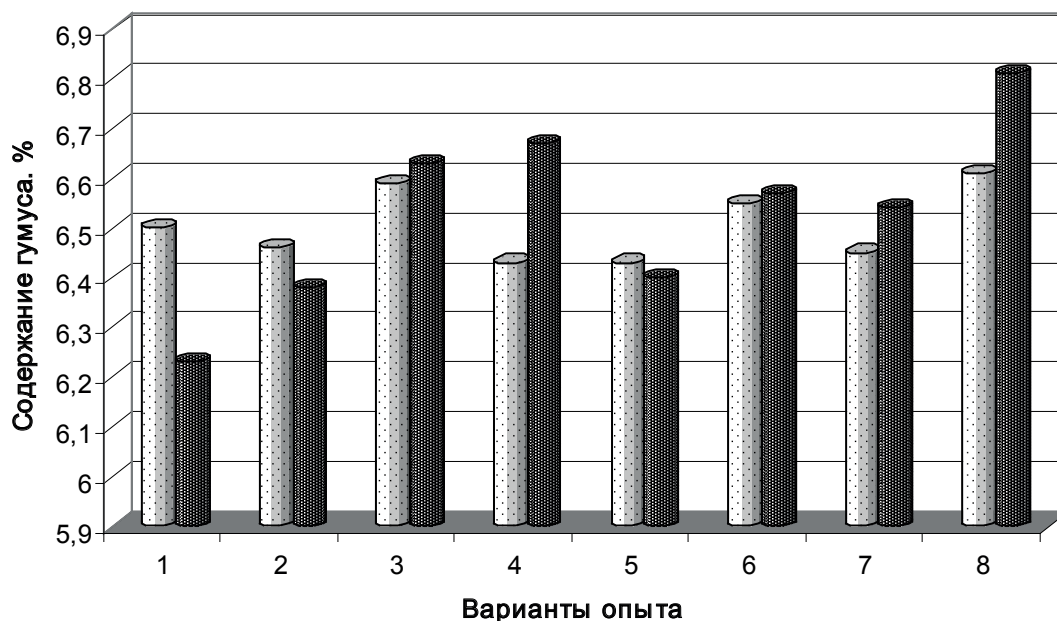




Рис. - 1 Динамика изменения содержания гумуса в почве при использовании удобрений на нулевом фоне в начале и конце ротации семипольного севооборота.

 – содержание гумуса в начале ротации;  
 – содержание гумуса в конце ротации.

тивность вариантов, в которых за период исследований произошло снижение содержания органического вещества, существенно падает и становится ниже остальных вариантов. Например, кардинальным образом изменяется эффективность контрольного варианта. Его эффективность падает в 2,4 – 2,7 раз. Например, если коэффициент энергетической эффективности контрольного варианта на фоне биопрепаратов составляла 2,56 и он выгодно выделялся среди других вариантов, то с учетом затрат энергии гумуса данный показатель составил всего 1,06. Это самый низкий показатель среди изучаемых вариантов. Такая же закономерность, хотя и в меньшей (по сравнению с контрольным вариантом) степени, характерна и для вариантов с внесением минеральных удобрений.

Таким образом, наиболее энергетически эффективными являются варианты с использованием сидератов и соломы на всех фонах исследований.

#### Выводы

1. Сидерат (викоовсяная смесь) и солома, применяемые в качестве органического

удобрения в семипольном севообороте: пар чистый – озимая пшеница 1 – яровая пшеница 1 – горох – озимая пшеница 2 – яровая пшеница 2 – ячмень по агрономической эффективности не уступают минеральным удобрениям, вносимым с расчетом на планируемую урожайность, а также навозу 25 т/га и ОСВ 12,5 т/га.

2. Энергетическую оценку технологий возделывания сельскохозяйственных культур следует проводить с учетом динамики запасов гумуса в почве. При учете затрат энергии гумуса на формирование урожайности культур наиболее энергетически эффективными являются варианты с использованием сидератов и соломы на всех фонах исследований.

3. Применение биопрепаратов позволяет получать значительную прибавку урожайности культур при относительно небольших энергетических затратах, связанных с их использованием.

#### Библиографический список

1. Сычев, В.Г. Современное состояние и динамика плодородия пахотных почв Рос-

сии / В.Г. Сычев, М.И. Лунев, А.В. Павлихина //Плодородие. –2012. – №4. – С. 5–7.

2. Беляк, В.Б. Эффективность сидеральных смесей /В.Б. Беляк, И.Н. Зеленик, А.В. Чернышов //Земледелие. –2008. – №4 – С. 28 – 29.

3. Таранов, А.Б. Сидеральные и занятые пары в севооборотах/ А.Б. Таранов, Л.В. Таранова //Земледелие. – 2008. – №3. – С. 16–17.

4. Эффективность систем обработки почвы в звене севооборота с сидеральным паром / А.Х. Куликова, А.В. Дозоров, Н.Г. Захаров, Н.В. Маркова, М.Г. Полняков //Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2012.–№3 (19). – С. 29–35.

5. Колсанов, Г.В. Солома как удобрение в зернопропашном севообороте на черноземе лесостепи Поволжья / Г.В. Колсанов // Агрохимия. – 2006. – № 5. – С. 30–40.

6. Матыченков, Владимир Викторович. Роль подвижных соединений кремния в растениях и системе почва – растение : автореф. дис. ...д-ра биологических наук /В.В. Матыченков. – Пушино, 2008. – 34 с.

7. Самсонова, Н.Е. Кремний в почвах и растениях /Н.Е. Самсонова //Агрохимия. – 2005. – № 6. – С. 76–86.

8. Козлов, А.В. Роль и значение кремния и кремнийсодержащих соединений в агроэкосистемах / А.В. Козлов, А.Х. Куликова, Е.А. Яшин // Вестник Мининского университета. –2015. – № 2 (10).- С. 56-61

9. Никитин, Сергей Николаевич. Совершенствование системы удобрения яровой пшеницы с использованием биопрепаратов и микроэлементов (ЖУСС-2) в условиях лесостепи Поволжья: дис. ...канд. сельскохозяйственных наук / С.Н. Никитин. – Улья-

новск, 2002. – 204 с.

10. Никитин, С.Н. Влияние средств химизации и биологизации на урожайность озимой пшеницы/ С.Н. Никитин // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. - 2014. - № 1. - С. 24–29.

11. Никитин, С.Н. Оценка эффективности применения биопрепаратов в Среднем Поволжье / С.Н. Никитин.- Ульяновск: Венец УлГТУ, 2014. - 135 с.

12. Ткачук, О.А. Сравнительная оценка энергетической эффективности агротехнических приемов в полевых севооборотах лесостепи среднего Поволжья / О.А. Ткачук, Е.В. Павликова // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 1. – С. 1692.

13. Булаткин, Г.А. Энергетическая эффективность земледелия и агроэкосистем: взаимосвязи и противоречия / Г.А. Булаткин, В.В. Ларионов // Агрохимия. – 1997. – №3. – С. 63–66.

14. Булаткин, Г.А. Энергетические проблемы сохранения плодородия пахотных почв / Г.А. Булаткин // Вестник сельскохозяйственных наук. – 1991. – С. 60– 66.

15. Куликова, А.Х. Энергетические проблемы сохранения плодородия почвы (на примере полевого опыта по изучению систем обработки) / А.Х.Куликова, А.В. Карпов // Проблемы повышения продуктивности и устойчивости земледелия лесостепи Поволжья: сборник научных трудов. -Ульяновск, 1999. – С. 20 – 25.

16. Агроэкологическая оценка плодородия почв среднего Поволжья и концепция его воспроизводства / А.Х. Куликова, А.В. Карпов, И.А. Вандышев, В.П. Тигин .- Ульяновск: Ульяновская государственная сельскохозяйственная академия, 2007. – 171 с.