

ВЛИЯНИЕ СИСТЕМ УДОБРЕНИЯ НА ПЛОДОРДИЕ ЧЕРНОЗЕМА ТИПИЧНОГО И УРОЖАЙНОСТЬ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ

Куликова Алевтина Христофоровна, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры «Почвоведение, агрохимия и агроэкология»

Волкова Елена Сергеевна, аспирант кафедры «Почвоведение, агрохимия и агроэкология»

Яшин Евгений Александрович, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры «Почвоведение, агрохимия и агроэкология»

Черкасов Евгений Андреевич, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры «Почвоведение, агрохимия и агроэкология»

ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ, 432017, Ульяновск, бульвар Новый Венец 1,
тел: 8(8422)55-95-68, e-mail: agroec@yandex.ru

Ключевые слова: озимая пшеница, цеолит, солома, биопрепарат, плодородие почвы, урожайность.

Статья посвящена изучению влияния систем удобрения на плодородие почвы и урожайность озимой пшеницы. Исследование проведено на опытном поле Ульяновского ГАУ имени П.А. Столыпина. Материалами исследования являлись: солома; биопрепарат «Биокомпозит-коррект»; цеолит; цеолит, обогащенный аминокислотами; озимая пшеница сорта Саратовская 17. Схема опыта включала 8 вариантов: 1. Контроль; 2. Солома; 3. Солома+N10кг/т; 4. Солома+ «Биокомпозит-коррект»; 5. «Биокомпозит-коррект»; 6. N₆₄P₃₂K₅₄ (NPK); 7. Цеолит, 500 кг/га; 8. Цеолит, обогащенный аминокислотами, 500 кг/га. Площадь учетной деланки- 20 м² (2*10), повторность опыта- четырехкратная. Почва опытного поля - чернозем типичный. Опыты проведены со строгим соблюдением всех методических требований, анализы по соответствующим ГОСТам. Установили, что совместное применение соломы и биопрепарата, а также удобрений на основе цеолита существенно улучшает физические (коэффициент структурности повысился на 0,3-2,1 единицы), биологические (степень разложения целлюлозы увеличилась на 14 - 27 относительных процента) и агрохимические (содержание в пахотном слое почвы минерального азота повышалось до 16 %, доступных соединений фосфора до 23 % и калия — до 12 %) свойства чернозема типичного. Урожайность озимой пшеницы при внесении в почву обогащенного аминокислотами цеолита в среднем за 3 года находилась на уровне 6,08 т/га, что не уступает варианту с минеральным удобрением. Повысить плодородие почвы, а также урожайность озимой пшеницы можно, используя приемы биологического земледелия. Экологически безопасное земледелие с использованием в основном органических удобрений и биологических средств позволит полностью отказаться или сократить дозы минеральных удобрений.

Исследования проводятся в соответствии с тематическим планом научно-исследовательских работ, выполняемых по заданию МСХ РФ в 2022 году. Регистрационный номер ЕГИСУ НИОКТР 1022041500051-7-4

Введение

Одной из важнейших проблем земледелия является разработка такой технологии возделывания сельскохозяйственных культур, при которой будут устранены противоречия между функционированием агроэкосистем и деятельностью человека для обеспечения продовольственной, экологической и экономической безопасности страны, а также сохранения и приумножения плодородия почвы. В решение данной проблемы большую роль играют органические удобрения, прежде всего, солома зерновых культур. Однако в силу химического своего состава (широкое отношение углерода к азоту) она трудно разлагается и возможно ее ингибирующее действие на растения в результате выделения токсических веществ при разложении. В связи с этим в свете органического сельского хозяйства поиск спосо-

бов, ускоряющих разложение соломы, является крайне важным. В этом отношении возможно применение биологических препаратов, способствующих активизации деятельности почвенных микроорганизмов. Следовательно, необходима разработка комплекса приемов, обеспечивающих оптимальную в данных почвенно-климатических условиях урожайность, получение экологически безопасной качественной продукции и сохранение плодородия почвы [1, 2, 3, 4, 5, 6].

Использование цеолита и органо-минеральных удобрений на его основе обусловлено высокой эффективностью кремниевых (силикатных) удобрений, которая определяется влиянием кремния на систему «почва-растение» с одной стороны, с другой - нехваткой его доступных соединений в почве из-за постоянного отчуждения сельскохозяйственными культурами. Установле-

но, что кремний, как и основные элементы питания растений (азот, фосфор, калий), является неотъемлемым фактором продуктивности сельскохозяйственных культур [7, 8, 9, 10, 11, 12].

Вышеизложенное определило цель наших исследований — изучить влияние систем удобрения на плодородие почвы и урожайность озимой пшеницы.

Задачи при этом следующие: провести полевые опыты с использованием в системе удобрения озимой пшеницы соломы, биологического препарата «Биокомпозит-коррект», минеральных удобрений, цеолита и цеолита, обогащенного аминокислотами; изучить влияние био-препарата «Биокомпозит-коррект» и удобрения на основе цеолита на свойства чернозема типичного, урожайность и качество зерна озимой пшеницы, в том числе экологическую безопасность продукции.

Материалы и методы исследований

Изучение сравнительной эффективности системы удобрений в технологии возделывания озимой пшеницы проводили на опытном поле Ульяновского государственного аграрного университета имени П.А. Столыпина.

В схему полевого опыта включали восемь вариантов: 1. Контроль; 2. Солома; 3. Солома+N10кг/т; 4. Солома+ «Биокомпозит-коррект»; 5. «Биокомпозит-коррект»; 6. N₆₄P₃₂K₅₄ (NPK); 7. Цеолит, 500 кг/га; 8. Цеолит, обогащенный аминокислотами, 500 кг/га.

Таким образом, возделывание озимой пшеницы проводилось на фоне: естественного плодородия (контроль, вариант 1), органических (варианты 2,4,5), минеральных (вариант 6,7) и органо-минеральных (варианты 3 и 8) удобрений.

Повторность опыта -четырёхкратная, учетная площадь делянок -20м² (2x10), размещение их- рендомизированное. Озимую пшеницу возделывали в 5-польном зерновом сидеральном севообороте: пар сидеральный (викоовсяная смесь) – озимая пшеница – просо – яровая пшеница – ячмень. Сорт озимой пшеницы Саратовская 17 отличается повышенной зимостойкостью, засухоустойчивостью, устойчив к полеганию. Потенциальная урожайность выше 6 т/га.

Солому предшественника (ячменя) заделывали под сидерат. Растительную массу (солома, пожнивно-корневые остатки) перед заделкой почвы обрабатывали биологическим препаратом «Биокомпозит-коррект» производства АО «Щелково Агрохим». Препарат представляет собой консорциум ценных штаммов нескольких видов полезных бактерий, обладающих фитопротектор-

ными, ростстимулирующими, деструктивными, азотфиксирующими и фосфатмобилизующими свойствами. В качестве минерального удобрения использовали нитрофоску с содержанием азота, фосфора и калия по 16 %, мочевины и хлористый калий. Доза удобрений рассчитана на получение 4,5 тонны зерна с 1 гектара.

В схему опыта были также введены два варианта с внесением в почву в качестве удобрения цеолита Юшанского месторождения Ульяновской области и органо-минерального удобрения на его основе, обогащенного аминокислотами. Последнее обусловлено тем, что в многочисленных исследованиях установлена эффективность природных кремнистых пород в улучшении почвенных свойств и получении экологически безопасной продукции [7,8,9,10,11]. Перспективным также является создание на их основе высокоэффективных органо-минеральных удобрений, наиболее полно отвечающих требованиям культур к питательному режиму.

Почва опытного поля-чернозем типичный среднемощный среднесуглинистый со следующими агрохимическими характеристиками: содержание гумуса в пахотном слое -4,7 %, доступного фосфора- 155 мг/кг почвы, калия -106 мг/кг, рН_{KCl} 6,7 единиц. Результаты исследований приведены ниже.

Результаты исследований

В таблицах и на рисунке представлены основные результаты, полученные в ходе исследования.

Таблица 1
Структурное состояние чернозема типичного под посевами озимой пшеницы в зависимости от применения удобрений

Вариант	Содержание агрегатов			Коэффициент структурности
	> 10мм	0,25-10	< 0,25	
Контроль	30,6	59,8	9,6	1,5
Солома	18,0	78,0	4,0	3,5
Солома+N10кг/т	18,2	77,6	4,2	3,5
Солома+«Биокомпозит-коррект»	16,7	78,5	4,8	3,6
«Биокомпозит-коррект»	16,5	77,1	6,4	3,4
NPK	24,2	62,4	13,4	1,7
Цеолит, 500 кг/га	26,4	64,0	9,7	1,8
Цеолит, обогащенный аминокислотами, 500 кг/га	23,3	69,5	7,2	2,3
HCP ₀₅	0,2	0,5	0,4	

Таблица 2

Интенсивность разложения льняного полотна под посевами озимой пшеницы

Вариант	Степень разложения целлюлозы, %	Отклонение от контроля, %	
		абсолютное	относительное
Контроль	35	-	-
Солома	41	+6	+15
Солома+N10кг/т	47	+12	+26
Солома+ «Биокомпозит-коррект»	48	+13	+27
«Биокомпозит-коррект»	45	+10	+22
NPK	42	+7	+17
Цеолит, 500 кг/га	40	+5	+14
Цеолит, обогащенный аминокислотами, 500 кг/га	46	+11	+24
НСР ₀₅	3	-	-

Таблица 3

Содержание доступных элементов питания в почве под посевами озимой пшеницы, мг/кг (среднее за вегетацию культуры)

Варианты	(N-NO ₃ +N-NH ₄)	P ₂ O ₅	K ₂ O
Контроль	13,1	147	126
Солома	14,0	153	140
Солома+N10кг/т	15,3	156	138
Солома+ «Биокомпозит-коррект»	15,6	152	141
«Биокомпозит-коррект»	14,8	157	130
NPK	16,4	170	147
Цеолит, 500 кг/га	15,2	180	102
Цеолит, обогащенный аминокислотами, 500 кг/га	15,8	181	103
НСР ₀₅	0,3	2	4

Таблица 4

Показатели качества зерна озимой пшеницы в зависимости от применения удобрений

Вариант	Содержание, %				ИДК, един.
	N	P2O5	K2O	клейковина	
Контроль	1,99	0,62	0,34	24,2	96
Солома	2,03	0,66	0,40	24,6	68
Солома + 10 кг N/т	2,08	0,66	0,40	25,4	99
Солома + Биокомпозит-коррект	2,10	0,64	0,39	25,2	99
Биокомпозит-коррект	2,03	0,64	0,34	24,8	64
NPK	2,10	0,73	0,37	24,8	95
Цеолит 500 кг/га	2,19	0,66	0,33	25,2	98
Цеолит, обогащенный аминокислотами, 500 кг/га	2,09	0,69	0,37	25,2	93
НСР ₀₅	0,02	0,03	0,03	0,2	4

Таблица 5

Содержание тяжелых металлов в зерне озимой пшеницы, мг/кг

Вариант	Zn	Cu	Pb	Cd
Контроль	18,8	1,70	0,48	0,040
Солома	17,5	1,35	0,42	0,025
Солома + 10 кг N/т	16,1	1,45	0,44	0,025
Солома + Биокомпозит-коррект	15,2	1,50	0,42	0,025
Биокомпозит-коррект	16,3	1,65	0,43	0,025
NPK	16,5	1,70	0,50	0,040
Цеолит 500 кг/га	16,5	1,30	0,20	0,015
Цеолит, обогащенный аминокислотами, 500 кг/га	14,0	1,60	0,32	0,015
НСР ₀₅	0,3	0,04	0,03	0,005

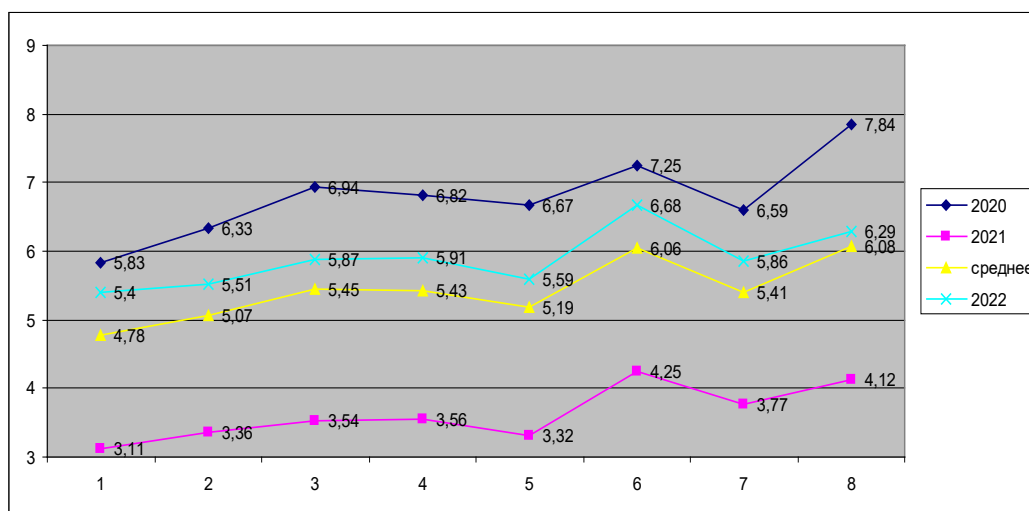
Обсуждение

Содержание агрономически ценных агрегатов размерами от 10 до 0,25 мм при сухом просеивании определяет условия протекания почвенных физико-химических процессов, устойчивость почвы к водной и ветровой эрозии, относительную устойчивость к уплотняющему воздействию сельскохозяйственной техники. Содержание водопрочных агрегатов крупнее 0,25 мм характеризует устойчивость создаваемого обработкой сложения почвы во времени. Как свидетельствуют данные таблицы 1, количество агрономически ценных агрегатов размерами 0,25-10 мм при применении органической системы удобрения существенно повышается (на 17,3 - 18,7 %). При применении минеральных удобрений и удобрения на основе цеолита структурное состояние чернозема типичного также улучшается, но в меньшей степени.

Улучшение физических свойств почвы сопровождалось усилением деятельности почвенных микроорганизмов.

Нет сомнения в том, что усиление деятельности почвенных микроорганизмов способствует улучшению питательного режима почвы, поскольку они являются главными агентами, способствующими переводу труднодоступных форм элементов в доступные для растений соединения.

В полевых опытах под посевами озимой пшеницы биологическую активность почвы определяли аппликационным методом. Льняные полотна закладывали весной в начале возобновления вегетации озимой пшеницы в 4-х кратной повторности. Выемку их проводили перед уборкой озимой пшеницы. Результаты их представлены в таблице 2.



1- Контроль, 2 – Солома, 3 - Солома+N10кг/т, 4 - Солома+ «Биокомпозит-коррект», 5 - «Биокомпозит-коррект», 6 – NPK, 7 - Цеолит, 500 кг/га, 8 - Цеолит, обогащенный аминокислотами, 500 кг/га

Рис.- Влияние удобрений на урожайность зерна озимой пшеницы, 2020-2022 гг.

Применение биопрепарата «Биокомпозит-коррект», в состав которого входят в том числе микроорганизмы — целлюлозолитики, является эффективным средством ускорения разложения соломы.

В связи с этим для повышения биогенности почвы и ускорения степени разложения соломы перед заделкой ее в почву следует широко использовать микробиологические препараты, в частности «Биокомпозит-коррект».

Влияние кремниевых соединений (удобрений) на эффективное плодородие почвы, прежде всего, связывают с положительным действием на содержание доступного растениям фосфора. В многочисленных исследованиях доказано, что кремниевые соединения (в данном случае аморфный кремний, присутствующий в цеолите) способствуют переводу недоступных фосфатов в доступные и могут снизить расход фосфорных удобрений на 30-50 % [12, 13]. Подтверждением вышесказанного являются данные таблицы 3.

Также результаты исследований показали, что применение ячменной соломы под сидеральную культуру как отдельно, так и в сочетании с азотной добавкой — 10 кг/т, биопрепаратом «Биокомпозит-коррект» положительно влияет на содержание основных элементов питания в пахотном слое чернозема типичного и поддерживает питательный режим его на более высоком уровне в течение всей вегетации озимой пшеницы.

Внесение удобрений как органических, так и минеральных, как указывалось выше, ока-

зало положительное влияние на физическое, биологическое и агрохимическое состояние почвы. Соответственно, последнее способствовало формированию более высокой урожайности зерна озимой пшеницы (рис.).

Одной из основных стратегических задач органического земледелия является получение качественной и безопасной продукции. Приводимые в таблице 4 данные подтверждают, что применение органических и органо-минеральных удобрений заметно улучшает качество зерна озимой пшеницы.

Применение в качестве удобрения соломы, биопрепарата экологически безопасно и нет опасности загрязнения продукции токсикантами, в частности, тяжелыми металлами (табл. 5). При внесении их в почву заметных изменений в поступлении в зерно тяжелых металлов не наблюдали. Однако внесение цеолита и удобрения на его основе сопровождалось значительным снижением содержания тяжелых металлов в продукции. Так, накопление наиболее опасных элементов в зерне уменьшилось: свинца на 50-140 %, кадмия - на 167 %. Последнее обусловлено способностью монокремниевой кислоты образовывать с тяжелыми металлами труднорастворимые соединения [8, 9, 11].

Следовательно, применение как органических, так и особенно органо-минеральных удобрений способствует получению экологически безопасной продукции.

Заключение

1. Совместное применение соломы и биопрепарата существенно улучшило питательный

режим чернозема типичного: содержание в пахотном слое минерального азота увеличилось на 2,5 мг/кг, доступных соединений фосфора - на 5 мг/кг и калия - на 15 мг/кг почвы. При внесении в почву цеолита и удобрения на его основе, обогащенного аминокислотами, фосфорный режим почвы не уступал, более того, превосходил вариант с минеральным удобрением.

2. Урожайность зерна озимой пшеницы при применении комплекса органических удобрений в виде соломы, биопрепарата «Биокомпозит-коррект» незначительно уступала варианту с использованием полного минерального удобрения и составила в среднем за 3 года 5,43 т/га. Урожайность озимой пшеницы при внесении в почву обогащенного аминокислотами цеолита за этот период составила 6,08 т/га, что не уступает варианту с минеральным удобрением.

3. Применение органических (солома, биопрепарат) удобрений и органо-минерального удобрения на основе цеолита, обогащенного аминокислотами, позволяет получать более качественную, экологически безопасную продукцию по сравнению с возделыванием озимой пшеницы с использованием минеральных удобрений.

Библиографический список

1. Шеуджен, А. Х. Агрохимические основы применения удобрений / А. Х. Шеуджен, Т. И. Бондарева, С. В. Кизинюк. – Майкоп : Полиграф-Юг, 2013. - 572 с. – ISBN 978-5-7992-0799-1.
2. Яшин, А. Е. Продуктивность озимой пшеницы при применении соломы, сидерата и биологического препарата на черноземе типичном лесостепи Среднего Поволжья : спец. 06.01.04 : диссертация на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук / Яшин Александр Евгеньевич ; ФГБОУ ВО Самарский государственный аграрный университет. - Ульяновск, 2019. - 172 с.
3. Куликова, А. Х. Эффективность применения комплекса органических удобрений в технологии возделывания озимой пшеницы в лесостепи Поволжья / А. Х. Куликова, Е. А. Яшин, А. В. Карпов // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. - 2021. - № 1(53). - С.74-80.
4. Лошаков, В. Г. Зеленое удобрение как фактор повышения плодородия почвы, биологизации и экологизации земледелия / В. Г. Лошаков // Плодородие. - 2018. - № 2(101). - С. 26-29.
5. Яшин, Е. А. Системы удобрения озимой пшеницы в Среднем Поволжье (органическая, органоминеральная и минеральная) / Е. А. Яшин, А. Х. Куликова, А. Е. Яшин. – Ульяновск : УлГАУ, 2021. - 196 с.
6. Андреев, М. И. Эффективность внесения мульчи, жидкого свиного навоза и Биокомпозит-коррект на урожайность озимой пшеницы / М. И. Андреев, О. Г. Марьяна-Чермных // Вестник Марийского государственного университета. - 2021. - Т. 7, № 1. - С. 11-16.
7. Куликова, А. Х. Влияние кремнийсодержащих материалов на свойства почвы, состояние посевов и урожайность зерновых культур в условиях Среднего Поволжья / А. Х. Куликова, А. В. Козлов, В. С. Смывалов // Агрохимия. - 2019. - № 4. - С. 60–69.
8. Матыченков, В. В. Роль подвижных соединений кремния в растениях в системе почва-растение : спец. 03.00.12 ; спец. 03.00.27 : диссертация на соискание ученой степени доктора биологических наук / Матыченков Владимир Викторович ; Институт фундаментальных проблем биологии РАН. - Пущино, 2008. - 313 с.
9. Самсонова, Н. Е. Кремний в растениях и животных организмах / Н. Е. Самсонова // Агрохимия. - 2019. - № 1. – С. 86-96.
10. Greger, M. Plant uptake of silicon nanoparticles / M. Greger, T. Landberg, S. Nazarian // 7th Inter. Conf. Silicon Agricult. Proced. Abstracts. India. - 2017. - P. 40.
11. Silicon's Role in Plant Stress Reduction and Why This Element Is Not Used Routinely for Managing Plant Health / W. Zellner, B. Tubaña, F. Rodrigues, E. Datnoff // The American Phytopathological Society. - 2021. - № 17. – P. 2033-2039.
12. Debona, D. Silicon's Role in Abiotic and Biotic Plant Stresses / D. Debona, A. Rodrigues, E. Datnoff // Environmental Science. Annual review of phytopathology. - 2017. - P. 85-107.
13. A cooperative system of silicon transport in plants / N. Yamaji, N. Mitani-Veno, G. Sakurai, J. F. Ma // 7th Inter. Conf. Silicon Agricult. Proced. Abstracts. India. - 2017. - P. 36.

INFLUENCE OF FERTILIZER SYSTEMS ON SOIL FERTILITY OF TYPICAL BLACK SOIL AND WINTER WHEAT YIELD

Kulikova A. Kh., Volkova E. S., Yashin E. A., Cherkasov E. A.
Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Ulyanovsk State Agrarian University,
432017, Ulyanovsk, Novyi Venets boulevard 1,
tel: 8(8422)55-95-68, e-mail: agroec@yandex.ru

Key words: winter wheat, zeolite, straw, biological product, soil fertility, productivity.

The article is devoted to the study of the effect of fertilizer systems on soil fertility and winter wheat yield. The study was carried out on the experimental field of Ulyanovsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin. The research materials were: straw; "Biocomposite-correct" biopreparation; zeolite; zeolite enriched with amino acids; Saratovskaya 17 winter wheat variety. The scheme of the experiment included 8 variants: 1. Control; 2. Straw; 3. Straw+N10kg/t; 4. Straw + "Biocomposite-correct"; 5. "Biocomposite-correct"; 6. $N_{64}P_{32}K_{54}$ (NPK); 7. Zeolite, 500 kg/ha; 8. Zeolite enriched with amino acids, 500 kg/ha. The area of the record plot is 20 m² (2*10), the experiment is repeated four times. The soil of the experimental field is typical black soil. The experiments were carried out with strict observance of all methodological requirements, analyzes - according to the relevant state standards. It was found that mutual usage of straw and a biological product, as well as fertilizers based on zeolite, significantly improves physical (the structural coefficient increased by 0.3-2.1 units), biological (the degree of cellulose decomposition increased by 14-27 relative percent) and agrochemical (the content of mineral nitrogen increased up to 16% in the arable layer of the soil, available phosphorus compounds up to 23% and potassium up to 12%), the properties of the typical black soil. The yield of winter wheat was at the level of 6.08 t/ha, on average for 3 years, when zeolite enriched with amino acids was introduced into the soil, which is not inferior to the variant with mineral fertilizer. It is possible to increase soil fertility, as well as winter wheat yield, using biological farming techniques. Environmentally friendly farming, using mainly organic fertilizers and biological agents, will allow to abandon or reduce the dose of mineral fertilizers.

Bibliography:

1. Sheudzen, A. Kh. Agrochemical fundamentals of fertilizer application / A. Kh. Sheudzen, T. I. Bondareva, S. V. Kizinyuk. - Maykop: Polygraph-South, 2013. - 572 p. - ISBN 978-5-7992-0799-1.
2. Yashin, A. E. Productivity of winter wheat when using straw, green manure and a biological preparation on a typical lack soil of the forest-steppe of the Middle Volga region: spec. 06.01.04: dissertation for the degree of candidate of agricultural sciences / Yashin Alexander Evgenievich; FSBEI HE Samara State Agrarian University. - Ulyanovsk, 2019. - 172 p.
3. Kulikova, A. Kh. Efficiency of using of a complex of organic fertilizers in the technology of winter wheat cultivation in the forest-steppe of the Volga region / A. Kh. Kulikova, E. A. Yashin, A. V. Karpov // Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy. - 2021. - № 1(53). - P.74-80.
4. Loshakov, V. G. Green fertilizer as a factor of increase of soil fertility, biologization and ecologization of agriculture / V. G. Loshakov // Soil Fertility. - 2018. - № 2 (101). - P. 26-29.
5. Yashin, E. A. Fertilizer systems of winter wheat in the Middle Volga region (organic, organomineral and mineral). - Ulyanovsk: UISAU, 2021. - 196 p.
6. Andreev, M. I. Application efficiency of mulch, liquid pig manure and Biocomposite-correct on winter wheat yield / M. I. Andreev, O. G. Maryina-Chernnykh // Vestnik of the Mari State University. - 2021. - V. 7, № 1. - P. 11-16.
7. Kulikova A. Kh. Influence of silicon-containing materials on soil properties, crop state and crop yields in the Middle Volga region / A. Kh. Kulikova, A. V. Kozlov, V. S. Smyvalov // Agrochemistry. - 2019. - № 4. - P. 60-69.
8. Matychenkov, V. V. The role of mobile silicon compounds in plants in the soil-plant system: spec. 03.00.12; spec. 03.00.27: dissertation for the degree of Doctor of Biological Sciences / Matychenkov Vladimir Viktorovich; Institute of Fundamental Problems of Biology of RAS. - Pushchino, 2008. - 313 p.
9. Samsonova, N. E. Silicon in plants and animals / N. E. Samsonova // Agrochemistry. - 2019. - № 1. - P. 86-96.
10. Greger, M. Plant uptake of silicon nanoparticles / M. Greger, T. Landberg, S. Nazaralian // 7th Inter. Conf. Silicon Agricult. Proced.abstracts. India. - 2017. - P. 40.
11. Silicon's Role in Plant Stress Reduction and Why This Element Is Not Used Routinely for Managing Plant Health / W. Zellner, B. Tubaña, F. Rodrigues, E. Datnoff // The American Phytopathological Society. - 2021. - № 17. - P. 2033-2039.
12. Debona, D. Silicon's Role in Abiotic and Biotic Plant Stresses / D. Debona, A. Rodrigues, E. Datnoff // Environmental Science. Annual review of phytopathology. - 2017. - P. 85-107.
13. A cooperative system of silicon transport in plants / N. Yamaji, N. Mitani-Veno, G. Sakurai, J. F. Ma // 7th Inter. Conf. Silicon Agricult. Proced.abstracts. India. - 2017. - P. 36.