

Цеолит и удобрения на его основе в системе удобрения озимой пшеницы

А. Х. Куликова, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры «Почвоведение, химия, биология и технологии переработки продукции растениеводства»

Е. С. Волкова[✉], аспирант кафедры «Почвоведение, химия, биология и технологии переработки продукции растениеводства»

Е. А. Яшин, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры «Почвоведение, химия, биология и технологии переработки продукции растениеводства»

ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ

432017 Ульяновск, бульвар Новый Венец, 1

[✉]volkova-ivinaelena@yandex.ru

Резюме. Изучена возможность повышения урожайности озимой пшеницы при использовании в системе удобрения цеолита и удобрений на его основе путем обогащения его аминокислотами и карбамидом. Исследование проводили в 2020...2022 гг. в пятипольном зерновом сидеральном севообороте: пар сидеральный (вико-овсяная смесь) — озимая пшеница — просо — яровая пшеница — ячмень. Озимая пшеница возделывается по сидеральному пару и во всех вариантах присутствует сидерат. Опыт проводили в четырехкратной повторности с рендомизированным расположением делянок. Посевная площадь одной делянки — 120 м² (6×20), учетная — 72 м² (4×18). Цеолит и удобрения на его основе вносили под предпосевную культивацию. Анализы образцов почв и зерна озимой пшеницы осуществляли в лаборатории. в Ульяновской области. Были определены: азот аммонийный (N-NH₄); азот нитратный (N-NO₃); оксид фосфора (P₂O₅); оксид калия (K₂O); общий азот; общий фосфор, общий калий; тяжелые металлы. Урожайность продукции определяли прямым комбайнированием с площади всей учетной делянки с пересчетом на 100 % - ю чистоту и стандартную влажность. Цеолит и удобрения на его основе оказали положительное влияние на агрегатный состав и питательный режим почвы, урожайность и качество продукции. При внесении удобрений в почву повышается содержание в пахотном слое минеральных форм азота на 1,41...2,56 мг/кг, подвижного фосфора на 6...7 мг/кг, подвижного калия — на 10...12 мг/кг почвы. Последнее сопровождалось повышением урожайности зерна озимой пшеницы: при внесении цеолита в чистом виде в среднем на 0,59 т/га (12 %), обогащенного аминокислотами цеолита на 1,26 т/га (26 %), обогащенного карбамидом на 1,38 т/га (29 %).

Ключевые слова: цеолит и удобрения на его основе, свойства почвы, озимая пшеница, урожайность и качество продукции.

Для цитирования: Куликова А. Х., Волкова Е. С., Яшин Е. А. Цеолит и удобрения на его основе в системе удобрения озимой пшеницы // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2024. № 2 (66). С. 84-89. doi:10.18286/1816-4501-2024-2-84-89

Zeolite and fertilizers based on it in winter wheat fertilization system

A. Kh. Kulikova, E. S. Volkova[✉], E. A. Yashin

FSBEI HE Ulyanovsk State Agrarian University

432017 Ulyanovsk, Novyi Venets boulevard, 1

[✉]volkova-ivinaelena@yandex.ru

Abstract. The possibility of increasing the yield of winter wheat when using zeolite and fertilizers based on it in fertilizer system by enriching it with amino acids and urea has been studied. The study was conducted in 2020–2022 in a five-field grain - green manure crop rotation: green manure fallow (vetch-oats mixture) - winter wheat - millet - spring wheat - barley. Winter wheat is cultivated after green manure fallow and all varieties contain green manure. The experiment was carried out in four-fold repetition with a randomized arrangement of plots. The sown area of one plot is 120 m² (6×20), the record area is 72 m² (4×18). Zeolite and fertilizers based on it were applied before pre-sowing tillage. Analyses of soil samples and winter wheat grain were carried out in a laboratory in Ulyanovsk region. The following items were determined: ammonium nitrogen (N-NH₄); Nitrate nitrogen (N-NO₃); phosphorus oxide (P₂O₅); potassium oxide (K₂O); total nitrogen; total phosphorus, total potassium; heavy metals. Product yield was determined by direct combining from the area of the entire record plot recalculated to 100% purity and standard humidity. Zeolite and fertilizers based on it had a positive effect on aggregate composition and nutritional regime of the soil, productivity and product quality. When applying fertilizers to the soil, the content of mineral forms of nitrogen in the arable layer increases by 1.41...2.56 mg/kg, mobile phosphorus by 6...7 mg/kg, mobile potassium by 10...12 mg/kg of soil. The latter was accompanied by an increase

in grain yield of winter wheat: when applying zeolite in pure form by an average of 0.59 t/ha (12%), zeolite enriched with amino acids by 1.26 t/ha (26%), enriched with urea by 1.38 t/ha (29%).

Keywords: zeolite and fertilizers based on it, soil properties, winter wheat, yield and product quality.

For citation: Kulkova A. Kh., Volkova E. S., Yashin E. A. Zeolite and fertilizers based on it in winter wheat fertilization system // Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy. 2024;2(66): 84-89 doi:10.18286/1816-4501-2024-2-84-89

Введение

Чрезмерное использование минеральных удобрений и неправильная схема их внесения негативно сказывается на сельскохозяйственных экосистемах. Использование кремнийсодержащего минерального сырья в составе удобрений позволяет сельхозтоваропроизводителям решить ряд проблем таких, как загрязнение почвы тяжелыми металлами, потеря питательных веществ, снижение плодородия почвы [1, 2, 3, 4]. Цеолитсодержащие удобрения являются почвенными мелиорантами, улучшая химические и физические свойства почвы (водоудерживающая способность почвы, емкость катионного обмена, скорость инфильтрации и др.). Они также известны своей способностью поглощать и постепенно высвобождать макро- и микроэлементы в почвенный раствор, тем самым поддерживая их содержание на стабильном уровне в течение вегетационного периода (эффект пролонгирования) [5, 6]. Благодаря своим свойствам цеолиты способны снижать газообразные потери азота в виде аммиака. Таким образом, цеолиты и удобрения на их основе могут вносить непосредственный вклад в улучшение функционирования сельскохозяйственных экосистем и повышение качества производимой продукции [7, 8]. Однако, в условиях лесостепи Поволжья эффективность их при возделывании озимой пшеницы не изучались.

Цель исследований – изучить возможность повышения урожайности озимой пшеницы при использовании в технологии ее возделывания цеолита и удобрений на его основе путем обогащения его аминокислотами и карбамидом.

Материалы и методы

Почва опытного поля – чернозем типичный среднесуглинистый. Содержание в нем гумуса 4,6 %, обеспеченность подвижным фосфором 155 мг/кг, калием – 176 мг/кг, реакция почвенного раствора – 6,7 единиц рН_{ксл}. Расположение делянок – рендомизированное, повторность – четырехкратная. Сорт озимой пшеницы – Саратовская 17. Этот сорт обладает устойчивостью к полеганию, морозоустойчивостью, засухоустойчивостью.

Полевые опыты по изучению цеолита и удобрений на его основе в системе удобрения озимой пшеницы выполняли на опытном поле кафедры почвоведения, агрохимии и агроэкологии ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ в 2020...2022 гг. Озимую пшеницу возделывали в пятипольном зерновом сидеральном севообороте: пар сидеральный (вико-овсяная смесь) – озимая пшеница – просо – яровая пшеница – ячмень. Схема опыта состояла из следующих вариантов: контроль (К); цеолит, 500 кг/га (Ц); цеолит, обогащенный карбамидом (ЦК), 500 кг/га; цеолит,

обогащенный аминокислотами, 500 кг/га (ЦА); $N_{40}P_{40}K_{40}$ (NPK).

Со второго по четвертый варианты цеолит и удобрения на его основе вносили вручную под предпосевную обработку почвы.

В 5-м варианте минеральные удобрения вносили дробно, под предпосевную культивацию аммофоску (10 кг азота и 40 кг фосфора) и хлористый калий (40 кг калия). Весной в начале возобновления вегетации озимой пшеницы производили подкормку аммиачной селитрой (30 кг азота).

Уборку урожая проводили прямым комбайнированием с площади всей учетной делянки.

Организация полевого опыта и проведение наблюдений, агрохимических анализов почвы и растений выполняли по соответствующим ГОСТам и общепринятым стандартным методикам. Все анализы проведены в аккредитованной лаборатории «САС «Ульяновская» (№ RA.RU.510251) и испытательной лаборатории «Ульяновская ГСХА».

Результаты

Регулирование физических свойств почвы имеет большое значение. В таблице 1 представлены показатели физического состояния чернозема типичного под посевами озимой пшеницы.

Таблица 1. Показатели физического состояния чернозема типичного под посевами озимой пшеницы

Вариант	Содержание агрегатов, % (сухое просеивание)			Kc
	>10 мм	10–0,25 мм	<0,25 мм	
К	30,6	59,8	9,6	1,49
Ц	26,4	64,0	9,7	1,77
ЦК	25,0	65,9	9,1	1,93
ЦА	23,3	69,5	7,2	2,28
NPK	24,2	62,4	13,4	1,66
HCP05	1,4	3,1	1,3	

*Kc – коэффициент структурности

Проведенные расчеты показали, что между урожайностью зерна озимой пшеницы и содержанием минерального азота, подвижных калия и фосфора в пахотном слое почвы имеется положительная взаимосвязь, описываемая уравнениями регрессии, представленными на рис. 1 и 2.

Применение в системе удобрения озимой пшеницы цеолита, цеолита, обогащенного карбамидом и аминокислотами, благоприятно повлияло на содержание основных элементов питания в пахотном слое чернозема типичного и поддержание питательного режима на более высоком уровне. Содержание минерального азота в пахотном слое почвы превышало контроль от 11,6% на варианте с

4.1.3. Агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин растений (сельскохозяйственные науки)

использованием цеолита в чистом виде до 21,1 % при использовании цеолита, обогащенного карбамидом. Содержание подвижного фосфора увеличилось на 4,5...5,3 %, подвижного калия на 6,3...8,2 %.

Внесение цеолита и удобрений на его основе оказало положительное влияние на физическое состояние и питательный режим почвы. Это способствовало формированию более высокой урожайности зерна озимой пшеницы (табл. 2).

При анализе данных таблицы 2 обращает на себя внимание значительная разница в

урожайности зерна озимой пшеницы по годам проведения исследований. Климатические условия Среднего Поволжья в благоприятные годы позволяют формировать высокую урожайность озимой пшеницы, которая без применения удобрений составляет 5...6 т/га. Этому способствуют хорошая перезимовка, оптимальная влагообеспеченность и благоприятный температурный режим вегетации, а также высокая обеспеченность почвы доступными соединениями фосфора и калия.

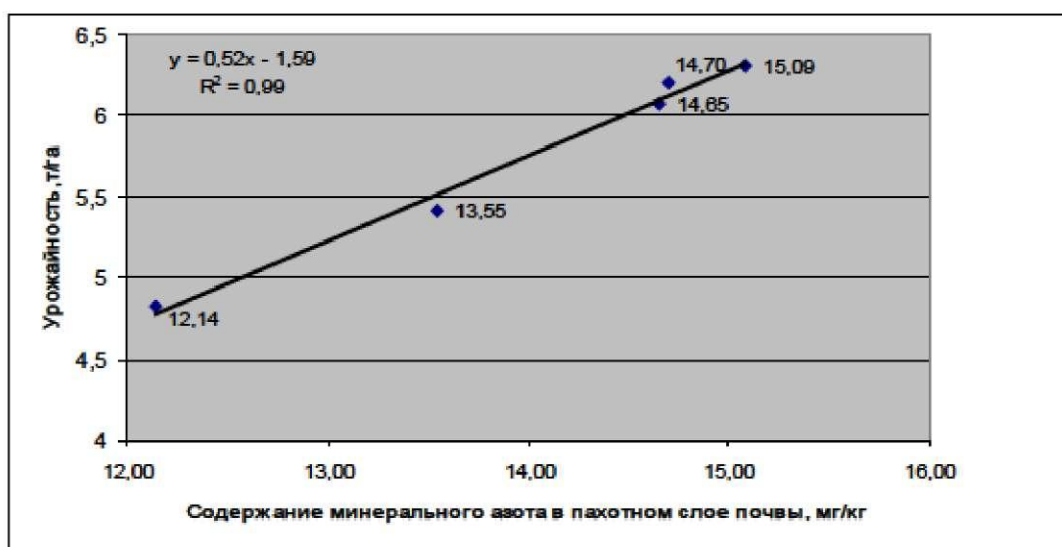


Рис. 1. Содержание минерального азота в пахотном слое почвы и его влияние на урожайность озимой пшеницы (2020...2022 гг.)

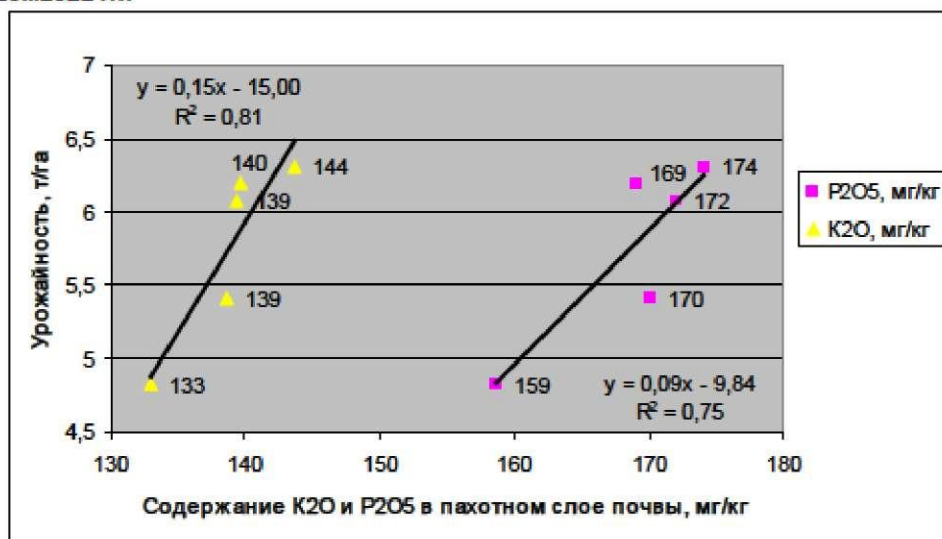


Рис. 2. Содержание подвижных форм фосфора и калия в пахотном слое почвы и его влияние на урожайность озимой пшеницы (2020...2022 гг.)

Таблица 2. Урожайность зерна озимой пшеницы, т/га

Вариант	2020 г.	2021 г.	2022 г.	Средняя	Отклонение от контроля	
					т/га	%
К	5,83	3,37	5,27	4,82	-	-
Ц	6,59	3,77	5,86	5,41	+0,59	12
ЦК	8,26	4,17	6,18	6,20	+1,38	29
ЦА	7,84	4,12	6,29	6,08	+1,26	26
НРК	8,57	4,13	6,33	6,34	+1,52	32
НСР ₀₅	0,33	0,23	0,28			

Содержание клейковины – один из важнейших показателей, определяющих хлебопекарные свойства зерна пшеницы и питательную ценность хлебобулочных изделий. Исследования показали, что применение цеолита, обогащенного карбамидом, в технологии возделывания озимой пшеницы способствовало возрастанию содержания клейковины на 10,3 % и составила 25,8 %. Лучшее качество клейковины зерна по показателю ИДК (индикатор деформации клейковины) наблюдали на варианте с применением цеолита, обогащенного аминокислотами, который составил 93 единицы (табл. 3).

Таблица 3. Показатели качества зерна озимой пшеницы в зависимости от применения удобрений

Вариант	Содержание, %				ИДК, едн.
	N	P2O5	K2O	клейковина	
К	2,08	0,85	0,39	23,4	98
Ц	2,19	0,66	0,33	25,2	98
ЦК	2,03	0,60	0,37	25,8	102
ЦА	2,09	0,69	0,37	25,2	93
НРК	2,17	0,69	0,38	24,4	100
НСР ₀₅	0,05	0,04	0,02	0,2	4

С точки зрения экологической оценки производства продукции большую опасность представляют тяжелые металлы. Наиболее токсичными из них являются кадмий, никель и свинец (табл. 4).

Таблица 5. Экономическая эффективность технологии возделывания озимой пшеницы

Показатель	Вариант				
	К	Ц	ЦК	ЦА	НРК
Урожайность, т/га	4,82	5,41	6,20	6,08	6,31
Стоимость продукции с 1 га, руб.	43380	48690	55800	54720	56790
Производственные затраты на 1 га, руб.	28501	32489	33920	33365	36647
Себестоимость 1 т, руб.	5913	6005	5471	5486	5808
Условный чистый доход, руб.	14879	16201	21880	21356	20143
Уровень рентабельности, %	52	50	65	64	55

Обсуждение

Физическое состояние почв – определяющий фактор водного и теплового режимов почв, направленности биологических, физических и агрохимических процессов, происходящих в них и, как следствие, эффективного плодородия почвы [9, 10].

Внесение в почву цеолита оказало положительное влияние на ее физическое состояние, благодаря поликремневым кислотам, находящимся в цеолите в аморфном состоянии [11, 12, 13]. Цеолит способствовал оструктурированию и, соответственно, разуплотнению почвы. Содержание агрегатов размерами 10...0,25 мм в пахотном слое увеличивалось от 4,2 % на варианте с применением чистого цеолита до 9,7 % на варианте с обогащением его аминокислотами.

Коэффициент структурности повышался от 1,49 на контроле до 2,28 единиц на варианте с применением цеолита, обогащенного аминокислотами.

В условиях недостаточной влагообеспеченности в 2021 г. внесение в почву цеолита (за счет

Таблица 4. Содержание тяжелых металлов в зерне озимой пшеницы, мг/кг

Вариант	Zn	Cu	Pb	Cd	Ni
К	17,5	1,75	0,36	0,035	0,74
Ц	16,5	1,30	0,20	0,015	0,70
ЦК	16,6	1,60	0,25	0,025	0,62
ЦА	14,0	1,60	0,32	0,015	0,64
НРК	15,0	1,70	0,55	0,040	0,80
ПДК в зерне	50	30	0,5	0,1	5,0
НСР ₀₅	0,3	0,04	0,03	0,005	0,02

Использование цеолита как в чистом виде, так и обогащенного аминокислотами и карбамидом в системе удобрения, позволяет снизить поступление металлов в продукцию свинца на 11,1...44,4 %, кадмия – на 28,6...57,1 %, никеля – на 5,4...16,2 %.

Анализ экономической эффективности возделывания озимой пшеницы с использованием удобрений на основе цеолита показывает, что наиболее высокую рентабельность производства зерна озимой пшеницы достигается на вариантах с применением в качестве удобрения цеолита при обогащении его карбамидом и аминокислотами в дозах 500 кг/га с уровнем рентабельности 65 и 64 % (на контроле 52 %) (табл. 5). В этом отношении система удобрения с применением только минеральных удобрений значительно уступает (55 %).

улучшения физико-химических свойств почвы и способности цеолита удерживать влагу) способствовало повышению продуктивности культуры на 12...29 %. В 2020, 2022 гг., когда погодные условия в течение всей вегетации культуры сложились более благоприятным образом, урожайность зерна озимой пшеницы на контроле составила 5,83 и 5,27 т/га соответственно, а при применении цеолита, обогащенного карбамидом – 8,26 т/га и 6,18 т/га. На близком уровне (7,84 и 6,29 т/га) сформировалась урожайность при применении цеолита, обогащенного аминокислотами. Прибавка урожайности по варианту с внесением НРК в 2020 и 2022 гг. составила более тонны на одном гектаре.

Снижение поступления тяжелых металлов в продукцию обусловлено содержанием в цеолите монокремниевой кислоты, которая образует с тяжелыми металлами труднорастворимые силикаты [14, 15]. При использовании минеральных удобрений поступление тяжелых металлов в продукцию

увеличивалось, т. к. они являются естественными примесями, содержащимися в горнорудах [16, 17].

Основная задача растениеводства – повышение урожайности сельскохозяйственных культур и увеличение выхода валового сбора продукции при сокращении расходования труда и средств. От того, какая будет себестоимость производимой продукции, зависит конечный результат всей деятельности сельскохозяйственного производства. Чем больше разница между себестоимостью и ценой реализации, тем выше уровень рентабельности и прибыль предприятия [18, 19].

Применение обогащенного карбамидом и аминокислотами цеолита обеспечило наиболее низкую себестоимость производства 1 тонны зерна данной культуры – 5471 и 5486 руб., тогда как на контроле она составляла 5913 руб./т. Соответственно увеличивался условно чистый доход на 7001 и 6477 руб. с гектара.

Заключение

1. Проведенные в 2020-2022 гг. исследования по использованию удобрений на основе цеолита показали высокую их эффективность при возделывании озимой пшеницы. Установлено положительное влияние цеолита как в чистом виде, так и обогащенного карбамидом и аминокислотами на агрофизические и агрохимические свойства почвы.

2. Агрофизические показатели чернозема типичного при возделывании озимой пшеницы достоверно улучшались: количество агрономически ценных агрегатов от 4,2 % на варианте с применением цеолита в чистом виде до 9,7 % на варианте с обогащением его аминокислотами, в том числе коэффициент структурности повышался от 1,49 на контроле до 2,28.

3. Использование цеолита и удобрений на его основе путем обогащения карбамидом и аминокислотами значительно улучшило питательный режим чернозема типичного: содержание минерального азота в пахотном слое увеличилось на 1,41...2,56 мг/кг, подвижных соединений фосфора на 6...7 мг/кг и калия на 10...12 мг/кг почвы.

4. Улучшение физического состояния пахотного слоя почвы и агрохимических показателей способствовало повышению продуктивности культуры. Урожайность зерна озимой пшеницы на вариантах с применением цеолита, обогащенного карбамидом и аминокислотами, увеличивалась на 26–29 % и лишь незначительно уступала варианту с минеральным удобрением.

5. Благодаря содержанию в цеолите монокремниевой кислоты, которая образует с тяжелыми металлами труднорастворимые силикаты, значительно сократилось поступление последних в конечную продукцию: свинца до 44,4 %, кадмия до 57,1 %, никеля до 16,2 %.

6. Использование цеолита, обогащенного карбамидом и аминокислотами, в системе удобрения озимой пшеницы повышает ее урожайность и имеет

неоспоримые преимущества с экологической и экономической точек зрения.

Литература

1. Куликова А.Х., Карпов А.В., Яшин Е.А. Кремнистые породы в системе удобрения сельскохозяйственных культур. Ульяновск: Ульяновский ГАУ, 2020. 176 с.
2. Перспективы использования цеолита в растениеводстве / Л. М. -Х. Биккинина, И. А. Яппаров, Р. Р. Ильясов и др. // Эффективное растениеводство. 2019. № 2. С. 58-59.
3. Zeolites enhance soil health, crop productivity and environmental safety / M. Mondal, B. Biswas, S. Garai et. al. // Agronomy. 2021. Vol. 11 (3). P. 448. doi:10.3390/agronomy11030448.
4. Application of Zeolites in Agriculture and Other Potential / E. Cataldo, L. Salvi, F. Paoli // Agronomy. 2021. Vol. 11. P. 1547. doi:10.3390/agronomy11081547.
5. Перспективы использования кремниевых препаратов в сельском хозяйстве (обзор научной литературы) / В. В. Матыченков, Е. А. Бочарникова, Г. В. Пироговская и др. // Почвоведение и агрохимия. 2022. № 1 (68). С. 219–234. doi:10.47612/0130-8475-2022-1(68)-219-234.
6. Самсонова Н. Е. Кремний в растительных и животных организмах // Агрохимия. 2019. №1. С. 86–96. doi: 10.1134/s0002188119010071.
7. Уромова И. П., Козлов А. В. Влияние кремниевых регуляторов роста на продуктивность и качество урожая сельскохозяйственных культур // Естественные и технические науки. 2021. № 12 (163). С. 159-163.
8. Zellener W, Tubana B, Rodrigues F, Datnoff L. Silicon's Role In Plant Stress Reduction And Why This Element Is Not Used Routinely For Managing Plant Health // Plant Disease. 2021. Vol. 105. P.2033–2049. doi:10.1094/pdis-08-20-1797-fe.
9. Куликова А. Х., Яшин Е. А., Волкова Е. С. Кремнистые породы в системе удобрения озимой пшеницы // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2020. №3 (51). С. 53–59. doi: 10.18286/1816-4501-2020-3-53-59.
10. Шеуджен А. Х., Бондарева Т. И., Кизинюк С. В. Агрохимические основы применения удобрений. Майкоп. Полиграф-Юг, 2013. 572 с.
11. Куликова А. Х. Влияние кремнистых пород на свойства почвы и урожайность сельскохозяйственных культур // Агрохимия. 2023. № 12. С. 11–21. doi: 10.31857/s0002188123120104.
12. Семина С. А., Остробородова Н. И., Ильина Г. В. Влияние кремнийсодержащих препаратов на продуктивность яровой мягкой пшеницы // Нива Поволжья. 2023. № 4(68). doi: 10.36461/NP.2023.68.4.003. EDN KOAEXC.
13. Silicon increases the phosphorus availability of Arctic soils / J.Schaller, et al. // Scientific reports. 2019.

Vol. 9. No. 1. P. 1–11. doi:10.1038/s41598-018-37104-6.

14. Bhat J.A. Role of silicon in mitigation of heavy metal stresses in crop plants // *Plants*. 2019. Vol. 8. No. 3. P. 71. doi: 10.3390/plants8030071.

15. Накопление тяжелых металлов в урожае зерновых культур при длительном применении минеральных удобрений / Д. Н. Курбаков, В. К. Кузнецов, М. С. Хлопук и др. // *Агрехимия*. 2022. № 3. С. 74–80. doi: 10.31857/s000218812203005x.

16. Бузетти К. Д., Иванов М. В. Воздействие минеральных и органических удобрений на экосистему, качество сельскохозяйственной продукции и здоровье человека. *Аграрная наука*. 2020. № 338 (5). С. 80–84. doi: 10.32634/0869-8155-2020-338-5-81-84.

17. Greger M., Landberg T., Vaculik M. Silicon Influences Soil Availability and Accumulation of Mineral Nutrients in Various Plant Species // *Plants*. 2018. №7. P. 41. doi:10.3390/plants7020041.

18. Солошенко В. М., Векленко Е. В., Стёпкина И. И. К вопросу о роли и значении экономической прибыли в воспроизводственном процессе сельскохозяйственных организаций // *Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии*. 2015. №4 С. 18-20.

19. Рыкова И. Н., Юрьева А. А., Морина В. А. Оценка себестоимости и рентабельности производства пшеницы в Российской Федерации // *Вестник НГИЭИ*. 2022. № 8 (135). С. 87103. doi: 10.24412/2227-9407-2022-8-87-103.

References

1. Kulikova A. Kh., Karpov A.V., Yashin E.A. Siliceous rocks in the crop fertilization system. Ulyanovsk: Ulyanovsk State Agrarian University, 2020. 176 p.

2. Prospects for the usage of zeolite in crop production / L. M. -Kh. Bikkinina, I. A. Yapparov, R. R. Ilyasov et. al. // *Effective crop production*. 2019. No. 2. P. 58-59.

3. Zeolites enhance soil health, crop productivity and environmental safety / M. Mondal, B. Biswas, S. Garai, et. al. // *Agronomy*. 2021. Vol. 11(3). P. 448. doi:10.3390/agronomy11030448.

4. Application of Zeolites in Agriculture and Other Potential / E. Cataldo, L. Salvi, F. Paoli // *Agronomy*. 2021. Vol. 11. P. 1547. doi:10.3390/agronomy11081547.

5. Prospects for usage of silicon preparations in agriculture (review of scientific literature) / V. V. Matychenkov, E. A. Bocharnikova, G. V. Pirogovskaya, et. al. // *Soil Science and Agrochemistry*. 2022. No. 1 (68). P. 219–234. doi:10.47612/0130-8475-2022-1(68)-219-234.

6. Samsonova N. E. Silicon in plant and animal organisms // *Agrochemistry*. 2019. No. 1. P. 86–96. doi: 10.1134/s0002188119010071.

7. Uromova I. P., Kozlov A. V. The influence of silicon growth regulators on productivity and quality of agricultural crops // *Natural and technical sciences*. 2021. No. 12 (163). P. 159-163.

8. Zellener W, Tubana B, Rodrigues F, Datnoff L. Silicon's Role In Plant Stress Reduction And Why This Element Is Not Used Routinely For Managing Plant Health // *Plant Disease*. 2021. Vol. 105. P.2033–2049. doi:10.1094/pdis-08-20-1797-fe.

9. Kulikova A. Kh., Yashin E. A., Volkova E. S. Siliceous rocks in winter wheat fertilization system // *Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2020. No. 3 (51). P. 53–59. doi: 10.18286/1816-4501-2020-3-53-59.

10. Sheudzhen A. Kh., Bondareva T. I., Kizinyuk S. V. Agrochemical basis for usage of fertilizers. *Maykop. Polygraph-South*, 2013. 572 p.

11. Kulikova A. Kh. Influence of siliceous rocks on soil properties and yield of agricultural crops // *Agrochemistry*. 2023. No. 12. P. 11–21. doi: 10.31857/s0002188123120104.

12. Semina S. A., Ostroborodova N.I., Ilyina G.V., The effect of silicon-containing preparations on the productivity of spring soft wheat // *Volga Region Farmland*. 2023. No. 4 (68). doi: 10.36461/NP.2023.68.4.003. EDN KOAEXC.

13. Silicon increases the phosphorus availability of Arctic soils / J. Schaller, et al. // *Scientific reports*. 2019. Vol. 9. No. 1. P. 1–11. doi:10.1038/s41598-018-37104-6.

14. Bhat J. A. Role of silicon in mitigation of heavy metal stresses in crop plants // *Plants*. 2019. Vol. 8. No. 3. P. 71. doi: 10.3390/plants8030071.

15. Accumulation of heavy metals in grain crops during long-term usage of mineral fertilizers / D. N. Kurbaakov, V. K. Kuznetsov, M. S. Khlopyuk, et al. // *Agrochemistry*. 2022. No. 3. P. 74–80. doi: 10.31857/s000218812203005x.

16. Buzetti K. D., Ivanov M. V. Impact of mineral and organic fertilizers on ecosystem, quality of agricultural products and human health. *Agricultural Science*. 2020. No. 338 (5). P. 80–84. doi: 10.32634/0869-8155-2020-338-5-81-84.

17. Greger M., Landberg T., Vaculik M. Silicon Influences Soil Availability and Accumulation of Mineral Nutrients in Various Plant Species // *Plants*. 2018. No. 7. P. 41. doi:10.3390/plants7020041.

18. Soloshenko V. M., Veklenko E. V., Stepkina I. I. On the question of the role and importance of economic profit in reproduction process of agricultural organizations // *Vestnik of Kursk State Agricultural Academy*. 2015. No. 4 P. 18-20.

19. Rykova I. N., Yuryeva A. A., Morina V. A. Assessment of the cost and profitability of wheat production in the Russian Federation // *Vestnik of Nizhny Novgorod State Engineering and Economic University*. 2022. No. 8 (135). P. 87103. doi: 10.24412/2227-9407-2022-8-87-103.