

Цеолитсодержащие удобрения для озимой пшеницы: экономическая целесообразность и агроэнергетическая оценка

Е. С. Волкова✉, кандидат сельскохозяйственных наук

А. Х. Куликова, доктор сельскохозяйственных наук, профессор 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

432000, бульвар Новый Венец, 1

✉volkova-ivinaelena@yandex.ru

Резюме. Работа выполнена на базе опытного поля Ульяновского государственного аграрного университета. Цель исследований - комплексная оценка экономической целесообразности и агроэнергетической эффективности применения цеолитсодержащих удобрений при возделывании озимой пшеницы. Исследования проведены в двухфакторном полевом опыте, который включал следующие варианты: контроль-цеолит в дозах 250 кг/га и 500 кг/га в чистом виде, цеолит, обогащенный аминокислотами и карбамидом в тех же концентрациях как на естественном, так и на минеральном фоне. Почва опытного участка представляет собой чернозем типичный среднесуглинистый с высоким содержанием подвижного фосфора и калия и нейтральной реакцией почвенного раствора. Испытания проводили на посевах сорта озимой пшеницы «Саратовская 17». Экономический анализ технологий возделывания озимой пшеницы опирался на принятые в производственных условиях опытного поля ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ нормативы и расценки. Стоимость полученной продукции рассчитывали на основе рыночных цен реализации, актуальных на 2023 г. Экономические расчеты базировались на данных, представленных в технологических картах. Результаты анализа экономической эффективности подтвердили целесообразность применения удобрений на основе цеолита. Наиболее высокая рентабельность производства (45% и 46%) зафиксирована на вариантах с использованием цеолита, обогащенного карбамидом и аминокислотами в дозе 250 кг/га. Система удобрения, основанная исключительно на минеральных удобрениях, продемонстрировала более низкий уровень рентабельности (41%). На минеральном фоне максимальный экономический эффект также был достигнут при использовании цеолита, обогащенного аминокислотами (250 кг/га), обеспечив рентабельность на уровне 48%. Применение цеолита, обогащенного аминокислотами (в дозе 250 кг/га), в технологии возделывания озимой пшеницы обеспечивает более высокую агроэнергетическую эффективность. Данный эффект наблюдается как на естественном агрофоне, так и на фоне минеральных удобрений, с коэффициентами агроэнергетической эффективности, составляющими 3,03 и 3,07 соответственно.

Ключевые слова: цеолитсодержащие удобрения, озимая пшеница, урожайность, экономическая и агроэнергетическая эффективность

Для цитирования: Волкова Е. С., Куликова А. Х., Яшин Е. А. Цеолитсодержащие удобрения для озимой пшеницы: экономическая целесообразность и агроэнергетическая оценка // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2025. № 4 (72). С. 70-76. doi:10.18286/1816-4501-2025-4-70-76

Zeolite-containing fertilizers for winter wheat: economic feasibility and agroenergy assessment

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

FSBEI HE Ulyanovsk State Agricultural University

432000, Novyi Venets Boulevard, 1

✉volkova-ivinaelena@yandex.ru

Abstract. The study was conducted on the experimental field of Ulyanovsk State Agrarian University. The objective of the study was to comprehensively assess the economic feasibility and agroenergy efficiency of using zeolite-containing fertilizers in winter wheat cultivation. The study was conducted in a two-factor field experiment, which included the following variants: control, pure zeolite at doses of 250 kg/ha and 500 kg/ha, and zeolite enriched with amino acids and urea at the same concentrations, both in natural and mineral environments. The soil of the experimental plot is a typical medium-deep, medium-loamy black soil with a high content of available phosphorus and potassium and a neutral soil solution reaction. The tests were conducted on "Saratovskaya 17" winter wheat variety. The economic analysis of winter wheat cultivation technologies was based on the standards and prices adopted for the production conditions of the Ulyanovsk State Agricultural University experimental field. The cost of the resulting product was calculated based on market prices valid for 2023. Economic calculations were based on data presented in the process maps. The results of the cost-effectiveness analysis confirmed the feasibility of using zeolite-based fertilizers. The highest production profitability (45% and 46%) was recorded for the variants using zeolite enriched with urea and amino acids at a dose of 250 kg/ha. A fertilization system based solely on mineral fertilizers demonstrated a lower profitability rate (41%). Against a mineral background, the

maximum economic effect was also achieved with the use of zeolite enriched with amino acids (250 kg/ha), providing a profitability of 48%. The usage of zeolite enriched with amino acids (at a dose of 250 kg/ha) in winter wheat cultivation technology provides higher agroenergy efficiency. This effect is observed both against a natural agricultural background and against a background of mineral fertilizers, with agroenergy efficiency coefficients of 3.03 and 3.07, respectively.

Keywords: zeolite-containing fertilizers, winter wheat, yield, economic and agroenergy efficiency.

For citation: Volkova E. S., Kulikova A. Kh., Yashin E. A. Zeolite-containing fertilizers for winter wheat: economic feasibility and agroenergy assessment // Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy. 2025.4 (72): 70-76 doi:10.18286/1816-4501-2025-4-70-76

Введение

Оценка экономической эффективности технологий возделывания сельскохозяйственных культур является неотъемлемой частью прогнозирования устойчивости функционирования предприятий, производящих сельскохозяйственную продукцию [1]. Чтобы выдерживать конкуренцию, и просто выжить в условиях экономических санкций, необходимо производить продукцию с высокими показателями качества и минимальными затратами на её производство. Последнее особенно актуально для технологий с использованием минеральных удобрений в связи с постоянным удорожанием их стоимости, что приводит к увеличению затрат на их внесение. И несмотря на значительное повышение урожайности культур, производство продукции их становится убыточным.

В условиях современного ведения аграрного бизнеса особое внимание уделяется разработке и внедрению экологически безопасных и экономически эффективных технологий возделывания сельскохозяйственных культур [2-6]. Озимая пшеница – одна из важнейших продовольственных культур, требует оптимизации систем удобрения для обеспечения стабильных и высоких урожаев с улучшенными качественными показателями зерна [7, 8, 9]. В этой связи актуальным направлением являются изучение и применение альтернативных видов удобрений, способных повысить эффективность использования питательных веществ и снизить негативное воздействие на окружающую среду.

Природные цеолиты, благодаря своим уникальным физико-химическим свойствам, таким как высокая катионообменная способность и пористая структура, представляют собой перспективный материал для создания удобрений пролонгированного действия [10-12]. Обогащение цеолитов карбамидом и аминокислотами позволяет повысить их агрономическую ценность и улучшить доступность питательных элементов для растений [13].

Цель исследования – комплексная оценка экономической целесообразности и агроэнергетической эффективности применения цеолитсодержащих удобрений при возделывании озимой пшеницы, которая позволит объективно определить преимущества и недостатки применения данных удобрений, обосновать оптимальные дозы и схемы внесения, выбрать экономически выгодные и экологически обоснованные варианты интенсификации производства зерновых культур.

Материалы и методы

Работа выполнена на базе опытного поля Ульяновского государственного аграрного университета в 2021-2023 гг. Исследования проведены в двухфакторном полевом опыте. Схема опыта представлена в таблице 1.

Таблица 1. Схема опыта возделывания озимой пшеницы

№ п/п	Естественный фон	№ п/п	Минеральный фон
1.1	Без удобрений (Ф1)	2.1	N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀ (Ф2)
1.2	Цеолит, 250кг/га (Ф1+Ц1)	2.2	Цеолит, 250кг/га (Ф2+Ц1)
1.3	Цеолит, 500кг/га (Ф1+Ц2)	2.3	Цеолит, 500кг/га (Ф2+Ц2)
1.4	Цеолит, обогащенный карбамидом, 250кг/га (Ф1+ЦК1)	2.4	Цеолит, обогащенный карбамидом, 250кг/га (Ф2+ЦК1)
1.5	Цеолит, обогащенный карбамидом, 500кг/га (Ф1+ЦК2)	2.5	Цеолит, обогащенный карбамидом, 500кг/га (Ф2+ЦК2)
1.6	Цеолит, обогащенный аминокислотами, 250 кг/га (Ф1+ЦА1)	2.6	Цеолит, обогащенный аминокислотами, 250 кг/га (Ф2+ЦА1)
1.7	Цеолит, обогащенный аминокислотами, 500 кг/га (Ф1+ЦА2)	2.7	Цеолит, обогащенный аминокислотами, 500 кг/га (Ф2+ЦА2)

Почва опытного участка представляет собой чернозем типичный среднемощный среднесуглинистый с высоким содержанием подвижного фосфора и калия и нейтральной реакцией почвенного раствора. Испытания проводились на посевах сорта озимой пшеницы «Саратовская 17».

Опыт проводили в четырехкратной повторности с рендомизированным расположением делянок. Посевная площадь делянки 120 м² (6×20), учетная – 72 м² (4×18).

Технология возделывания озимой пшеницы основывалась на общепринятых в Ульяновской области агротехнических приемах. Экспериментальные удобрения вносили вручную под культивацию перед посевом озимой пшеницы.

Экономический анализ технологий возделывания озимой пшеницы опирался на принятые в производственных условиях опытного поля ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ нормативы и расценки. Стоимость полученной продукции рассчитывалась на основе рыночных цен реализации, актуальных на 2023 г. Экономические расчеты базировались на данных, представленных в технологических картах.

Энергетическую оценку эффективности проводили по методике Е.И. Базарова и др. (Базарова Е.И., Глинка Е.В. Методика биоэнергетической

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

оценки технологий производства продукции растениеводства, Москва. 1983. 31 с.).

Результаты исследований статистически обрабатывали методами дисперсионного (Доспехов Б.А. Методика полевого опыта с основами статистической обработки результатов исследований: учебник / М.: ИД Альянс, 2011. 352 с.) и корреляционно-регрессионного анализов с использованием программ MS Excel 2019 и Statistik C-1.

Результаты

Климатические условия лесостепи 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 элементов питания.

Если рассматривать урожайность по годам исследования, то очевидна достаточно высокая вариабельность в показателях.

В таблице 2 приведены усредненные данные и показан прирост урожайности от применения цеолитсодержащих удобрений при возделывании озимой пшеницы в годы исследования.

На участках с естественным плодородием средняя урожайность озимой пшеницы составила 4,26 т/га. Применение цеолитсодержащих удобрений продемонстрировало положительное влияние на урожайность, увеличив ее на 5,1...20,7% (0,22...0,88 т/га) в зависимости от модификации. Наиболее выраженный стимулирующий эффект был отмечен при внесении цеолита, обогащенного аминокислотами в дозе 500 кг/га.

Аналогичная тенденция наблюдалась и на минеральном агрофоне, где максимальная

прибавка урожайности также была зафиксирована при использовании цеолита с аминокислотами (500 кг/га) и составила 6,16 т/га, что превосходит урожайность на минеральном фоне без цеолита на 0,95 т/га. Средняя урожайность по естественному агрофону составила 4,77 т/га, а при внесении минеральных удобрений – 5,75 т/га.

Таблица 2. Прирост урожайности от применения цеолитсодержащих удобрений при возделывании озимой пшеницы (среднее за 2021-2023 гг.)

Варианты	Урожайность, т/га	Прибавка к фону, т/га	Стоимость прибавки, руб.
Естественный фон (Ф1)			
Ф1	4,26	-	-
Ф1+Ц1	4,48	0,22	2420
Ф1+Ц2	4,70	0,44	4840
Ф1+ЦК1	4,88	0,62	6820
Ф1+ЦК2	5,00	0,74	8140
Ф1+ЦА1	4,98	0,72	7920
Ф1+ЦА2	5,14	0,88	9680
Минеральный фон (Ф2)			
Ф2	5,21	-	-
Ф2+Ц1	5,37	0,16	1760
Ф2+Ц2	5,64	0,43	4730
Ф2+ЦК1	5,78	0,57	6270
Ф2+ЦК2	6,04	0,83	9130
Ф2+ЦА1	6,02	0,81	8910
Ф2+ЦА2	6,16	0,95	10450

Высокая эффективность удобрений наблюдается на обоих видах фона, однако минеральный фон демонстрирует более выраженную реакцию на дополнительное питание растений.

Эффективность производства сельскохозяйственной продукции, в частности озимой пшеницы, во многом определяется производственными затратами (рис. 1)

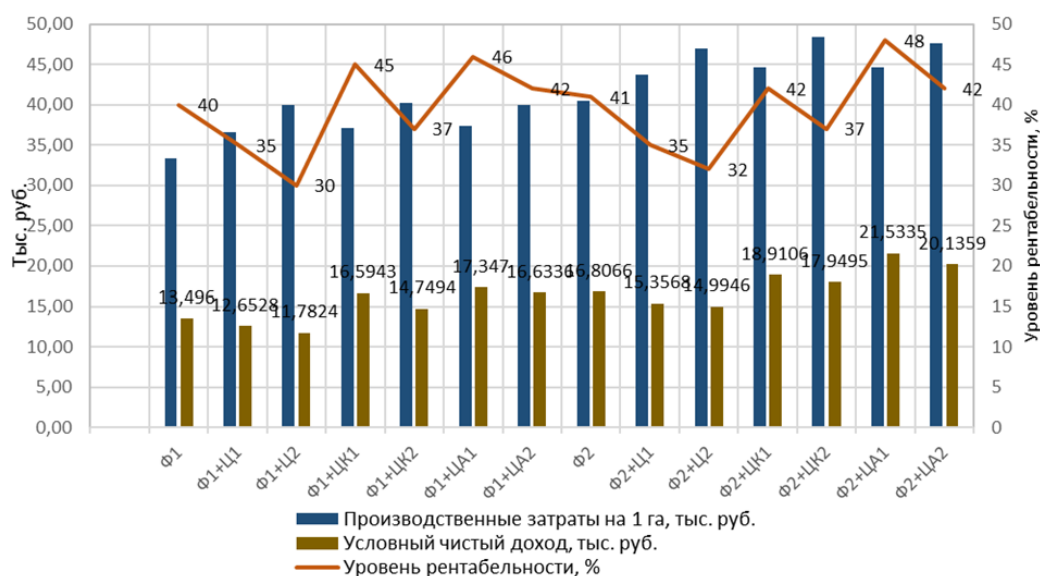


Рис. 1. Экономическая эффективность цеолитсодержащих удобрений при возделывании озимой пшеницы (2021-2023 гг.)

Затраты на производство зерна озимой пшеницы на контрольном варианте составили 33364,0 руб./га в то время, как внесение минеральных удобрений увеличило этот показатель до 40503,4 руб./га. Одним из ключевых факторов, обуславливающих повышение производственных затрат, являлась высокая стоимость минеральных удобрений. Наибольшие затраты, зафиксированные на уровне 48490,5 и 47624,1 руб./га, наблюдали на вариантах с применением цеолита, модифицированного аминокислотами и карбамидом, на минеральном фоне в дозе 500 кг/га.

Однако, увеличение производственных затрат при использовании цеолита (как в чистом виде, так и обогащенного аминокислотами и карбамидом) на естественном и минеральном фоне было обусловлено не только расходами на приобретение удобрений, но и существенным приростом урожайности. В случаях, когда стоимость дополнительно полученного урожая компенсировала возрастающие затраты, это приводило к увеличению дохода и, как следствие, рентабельности производства. В противном случае, когда стоимость прибавки урожая не перекрывала увеличение производственных затрат, наблюдали повышение себестоимости продукции, снижение прибыли и уменьшение рентабельности. Данная тенденция четко прослеживается на вариантах с применением цеолита в чистом виде. Так, прибавка урожая в диапазоне 0,22...0,44 т/га не компенсировала затраты, увеличившиеся на 3263,2...6553,6 руб./га, что приводило к снижению условно чистого дохода на 843,2...1713,6 рубля.

Условный чистый доход на контрольном варианте (без применения удобрений) составлял 13496 руб./га. При внесении цеолита, обогащенного аминокислотами и карбамидом, данный показатель возрастал до 14749,4...17347,0 руб. в зависимости от дозы внесения. Максимальный доход на минеральном фоне был получен при использовании системы удобрения с применением цеолита, обогащенного аминокислотами, в дозе 250 кг/га и составил 21533,5 руб.

Проведенный анализ экономической эффективности возделывания озимой пшеницы с применением удобрений на основе цеолита показал, что наиболее высокую рентабельность производства демонстрируют варианты с использованием в качестве удобрения цеолита, обогащенного карбамидом и аминокислотами, в дозе 250 кг/га с уровнем рентабельности 45 и 46% (на контроле 40%). Система удобрения, основанная исключительно на минеральных удобрениях, показала меньшую рентабельность (41%). На фоне минеральных удобрений лучший экономический эффект также был получен при использовании цеолита, обогащенного аминокислотами (250 кг/га), где рентабельность составила 48%.

Оценка энергетической эффективности исследуемых систем удобрений была проведена путем сопоставления энергозатрат на производство зерна

озимой пшеницы и количества энергии, полученной с урожаем основной продукции. Расчеты показали, что энергозатраты на возделывание озимой пшеницы по изучаемым технологиям существенно различаются.

Несмотря на различия в энергозатратах, понесенные затраты энергии на производство зерна полностью окупались выходом валовой энергии на всех опытных вариантах, однако, энергетическая эффективность их варьировала (рис. 2).



Рис. 2. Агроэнергетическая оценка технологии возделывания озимой пшеницы с использованием цеолитосодержащих удобрений

В условиях естественного агрофона диапазон варьирования затрат совокупной энергии составил от 24,07 ГДж/га на контрольном варианте до 29,04 ГДж/га при использовании цеолитосодержащего удобрения с карбамидом, в дозе 500 кг/га. Интеграция минеральных удобрений в технологию возделывания привела к увеличению уровня энергозатрат до 29,22...34,99 ГДж/га, что на 20...21% превышает соответствующие показатели, зафиксированные на однотипных вариантах с естественным агрофоном.

Биоэнергетическая эффективность агротехнологий возделывания озимой пшеницы определяется не только величиной совокупных энергетических затрат, но и количеством энергии, аккумулированной в продукции. Согласно полученным данным, этот показатель варьировал от 70,08 ГДж/га на контрольном варианте до 101,33 ГДж/га при использовании цеолита, обогащенного аминокислотами в дозе 500 кг/га, и напрямую зависел от урожайности основной продукции озимой пшеницы.

Важнейшим критерием оценки энергетической эффективности является агроэнергетический коэффициент, представляющий собой отношение аккумулированной энергии в основной продукции к величине затраченной энергии (рис. 3).

Наибольший агроэнергетический коэффициент как на естественном, так и на минеральном фоне зафиксирован при использовании цеолита, модифицированного аминокислотами (250 кг/га), и составил 3,03 и 3,07 соответственно, указывая на оптимальное соотношение энергозатрат.

Наименьшая энергетическая эффективность наблюдалась на вариантах с применением цеолита

в дозе 500 кг/га как на естественном, так и на минеральном фоне в системе удобрения.



Рис. 3. Коэффициент агроэнергетической эффективности технологии возделывания озимой пшеницы с использованием цеолитсодержащих удобрений

Обсуждение

Ключевой задачей современного растениеводства является повышение урожайности сельскохозяйственных культур и увеличение общего объема производства продукции при одновременном снижении трудовых и финансовых затрат. Себестоимость производимой продукции является определяющим фактором, влияющим на конечный результат деятельности сельскохозяйственного предприятия. Увеличение разницы между себестоимостью и рыночной ценой реализации продукции напрямую определяет увеличение уровня рентабельности и прибыли предприятия [14, 15].

В работах Е. В. Безручко, А. Н. Арефьева Дегтяревой И.А. и других ученых были сделаны выводы о положительном влиянии кремнийсодержащих материалов, в том числе и цеолита, на урожайность сельскохозяйственных культур [3, 5, 10]. Это подтверждается и нашими исследованиями. Внесение в почву цеолитсодержащих удобрений увеличивало урожайность зерна до 21% на естественном фоне и до 18% – на фоне минеральных удобрений.

Многочисленные исследования подтверждают, что применение наиболее энергоэффективных технологий возделывания сельскохозяйственных культур и рациональный подход к использованию удобрений способствуют повышению целесообразности производства растениеводческой продукции [16-19].

В работе В. И. Нечаева и Я. Е. Давыдовой изложены методологические подходы биоэнергетической оценки и экономической эффективности агротехнических приёмов в растениеводстве, которые полностью согласуются с результатами наших исследований [20].

Применение цеолитсодержащих удобрений в агротехнологиях возделывания озимой пшеницы демонстрирует экономическую целесообразность.

При биоэнергетической оценке агротехнологий критически важно учитывать энергетический контекст почвы как ключевого фактора, способного оказывать существенное влияние на функционирование

агроэкосистемы в целом. Полученные данные подтверждают эффективность использования цеолитсодержащих удобрений в условиях как естественного, так и минерального агрофона, что указывает на их адаптивность к различным типам почв и системам земледелия.

Заключение

Оценка экономической эффективности применения цеолитсодержащих удобрений показала, что их использование при возделывании озимой пшеницы является экономически обоснованным. Данный агроприем способствует повышению рентабельности на 6...8% в сравнении с контрольным значением.

Анализ агроэнергетической оценки показал, что более энергетически эффективными при возделывании озимой пшеницы как на естественном, так и на минеральном фоне являлись технологии с применением цеолита, обогащенного аминокислотами в дозе 250 кг/га (коэффициенты агроэнергетической эффективности – 3,03 и 3,07 соответственно).

Применение цеолитсодержащих удобрений в технологии возделывания озимой пшеницы целесообразно с экономической и агроэнергетической точек зрения.

Литература

- Кузьменко О. В., Чумакова Н. В., Панасюк А. С. Формирование стратегии устойчивого развития сельскохозяйственного предприятия // Международный научный журнал. 2024. № 1(94). С. 28-38. doi: 10.34286/1995-4638-2024-94-1-28-38.
- Склярова Г. Ф. Цеолиты - нетрадиционный многоцелевой вид агрохимического сырья на территории Дальнего Востока // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2021. № 5. С. 36-44. doi: 10.21440/0536-1028-2021-5-36-44.
- Безручко Е. В. Кремний – недооцененный элемент питания растений // Земледелие. 2020. № 4. С. 40-46. doi: 10.24411/0044-3913-2020-10411
- 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
- Арефьев А. Н., Кузин Е. Н., Ильина Г. В. Последствие осадков сточных вод г. Пензы и природного цеолита на урожайность и качество растениеводческой продукции // Нива Поволжья. 2020. № 1(54). С. 61-66. doi: 10.36461/NP.2020.54.1.010.
- Тойгильдин, А. Л., Ермолаева Г. В., Никифорова С. А. Эффективность биологизированной технологии возделывания озимой пшеницы в условиях лесостепной зоны Среднего Поволжья // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2025. Т. 20, № 2(78). С. 50-56. doi: 10.12737/2073-0462-2025-50-56.
- Петров Л. К., Ивенин В. В., Ивенин А. В. Формирование урожайности сортов озимой пшеницы в зависимости от технологии их возделывания

в Нижегородской области // Аграрный научный журнал. 2024. № 10. С. 67-71. doi: 10.28983/asj.y2024i10pp67-71.

8. Артемьев А. А., Хвостов Е. Н. Урожайность и качество зерна озимой пшеницы на фоне разных доз удобрений // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2024. № 3(67). С. 6-12. doi: 10.18286/1816-4501-2024-3-6-12.

9. Курбанов С. А., Магомедова Д. С. Влияние доз минеральных удобрений и приемов основной обработки почвы на урожайность зерна озимой пшеницы // Плодородие. 2023. № 4(133). С. 22-25. doi: 10.25680/S19948603.2023.133.05.

10. Дегтярева И. А., Кириллова Н. И. Сравнительная оценка действия различных биоудобрений в комплексе с цеолитом на продуктивность и микробиоценоз гречихи // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2024. Т. 19. № 4(76). С. 34-40. doi: 10.12737/2073-0462-2024-34-40. EDN HHNUAD.

11. Zeolites Enhance Soil Health, Crop Productivity and Environmental Safety / Mondal M. Biswas B., Garai S. et al. // Agronomy. 2021. №11. P. 448. doi: 10.3390/AGRONOMY11030448

12. Агрохимические свойства серой лесной почвы и структура урожая зерновых культур под действием кремнийсодержащего органоминерального удобрения / Р. Р. Газизов, Р. Р. Сафина, Л. З. Каримова и др. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2024. Т. 19, № 4(76). С. 18-25. doi: 10.12737/2073-0462-2024-18-25.

13. The yield formation of winter wheat under the influence of fertilization systems using two field experiments as an example / A. Kh. Kulikova, E. S. Volkova, E. A. Yashin et al. // II International Conference on Current Issues of Breeding, Technology and Processing of Agricultural Crops, and Environment (CIBTA-II-2023), Ufa, Russia, 03–05 июля 2023 года. Vol. 71. Les Ulis Cedex A, France: EDP SCIENCES S A, 2023. P. 1053. doi: 10.1051/bioconf/20237101053.

14. Рыкова И. Н., Юрьева А. А., Морина В. А. Оценка себестоимости и рентабельности производства пшеницы в Российской Федерации // Вестник НГИЭИ. 2022. № 8 (135). С. 87-103.

15. Мурзова О. В. Экономическая оценка применения удобрений при возделывании пленчатого и голозерного овса на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2022. № 4. С. 72-76.

16. Садовой А. С., Барановский А. В. Биоэнергетическая оценка применения регуляторов роста растений на посевах проса в условиях Донбасса // Зерновое хозяйство России. 2021. № 1(73). С. 63-67. doi: 10.31367/2079-8725-2021-73-1-63-67.

17. Нахаев М. Р., Астарханов И. Р., Муртазова Х. М. С. Биоэнергетическая оценка выращивания зерновых культур на склоновых ландшафтах Чеченской Республики // Проблемы развития АПК региона. 2023. № 2(54). С. 80-84. doi: 10.52671/20790996_2023_2_80.

18. Никульчев К. А. Экономическая эффективность применения почвенного гербицида в посевах зерновых культур // Экономика сельского хозяйства России. 2024. № 2. С. 63-67. doi: 10.32651/242-63.

19. Влияние агротехнических приемов на продуктивность озимой пшеницы в условиях Центральночерноземного региона / И. И. Гуреев, А. В. Гостев, В. А. Лукьянов и др. // Достижения науки и техники АПК. 2024. Т. 38, № 9. С. 36-41. doi: 10.53859/02352451_2024_38_9_36.

20. Нечаев В. И., Давыдова Я. Е. Методологические подходы к биоэнергетической оценке и эколого-экономической эффективности агротехнических приемов в растениеводстве: отдельные аспекты // Экономика сельского хозяйства России. 2021. № 7. С. 24-33. doi: 10.32651/217-24.

References

1. Kuzmenko O. V., Chumakova N. V., Panasyuk A. S. Formation of a sustainable development strategy for an agricultural enterprise // International Scientific Journal. 2024. No. 1(94). P. 28-38. doi: 10.34286/1995-4638-2024-94-1-28-38.

2. Sklyarova G. F. Zeolites - an unconventional multipurpose type of agrochemical raw materials in the Far East // News of higher educational institutions. Mining journal. 2021. No. 5. P. 36-44. doi: 10.21440/0536-1028-2021-5-36-44.

3. Bezruchko E. V. Silicon - an underestimated plant nutrition element // Agriculture. 2020. No. 4. P. 40-46. doi: 10.24411/0044-3913-2020-10411

4. Prospects for usage of silicon preparations in agriculture (a review of the 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

5. Arefyev A. N., Kuzin E. N., Ilyina G. V. Aftereffect of Penza wastewater sludge and natural zeolite on the yield and quality of crop products // Niva Povolzhya. 2020. No. 1 (54). P. 61-66. doi: 10.36461/NP.2020.54.1.010.

6. Toygildin, A. L., Ermolaeva G. V., Nikiforova S. A. Efficiency of biologized technology for winter wheat cultivation in the forest-steppe zone of the Middle Volga region // Vestnik of Kazan State Agrarian University. 2025. Vol. 20, No. 2(78). P. 50-56. doi: 10.12737/2073-0462-2025-50-56.

7. Petrov L. K., Ivenin V. V., Ivenin A. V. Formation of the yield of winter wheat varieties depending on the technology of their cultivation in the Nizhny Novgorod region // Agrarian scientific journal. 2024. No. 10. P. 67-71. doi: 10.28983/asj.y2024i10pp67-71.

8. Artemyev A. A., Khvostov E. N. Yield and quality of winter wheat grain at different doses of fertilizers // Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2024. No. 3(67). P. 6-12. doi: 10.18286/1816-4501-2024-3-6-12.

9. Kurbanov S. A., Magomedova D. S. Influence of doses of mineral fertilizers and primary tillage techniques on the grain yield of winter wheat // Soil fertility.

2023. No. 4(133). P. 22-25. doi: 10.25680/S19948603.2023.133.05.

10. Degtyareva I., Kirillova N. Comparative evaluation of the effect of various biofertilizers in complex with zeolite on productivity and microbiocenosis of buckwheat // *Vestnik of Kazan state agrarian university*. 2024. Vol. 19. No. 4(76). P. 34-40. doi: 10.12737/2073-0462-2024-34-40. EDN HHNUAD.

11. Zeolites Enhance Soil Health, Crop Productivity and Environmental Safety / Mondal M. Bi Swas B., Garai S. et al. // *Agronomy*. 2021. No. 11. P. 448. doi: 10.3390/AGRONOMY11030448

12. Agrochemical properties of gray forest soil and the yield structure of grain crops under the influence of silicon-containing organomineral fertilizer / R. R. Gazizov, R. R. Safina, L. Z. Karimova, et al. // *Vestnik of Kazan State Agrarian University*. 2024. Vol. 19, No. 4(76). P. 18-25. doi: 10.12737/2073-0462-2024-18-25.

13. The yield formation of winter wheat under the influence of fertilization systems using two field experiments as an example / A. Kh. Kulikova, E. S. Volkova, E. A. Yashin et al. // II International Conference on Current Issues of Breeding, Technology and Processing of Agricultural Crops, and Environment (CIBTA-II-2023), Ufa, Russia, July 3–5, 2023. Vol. 71. Les Ulis Cedex A, France: EDP SCIENCES S A, 2023. P. 1053. doi: 10.1051/bio-conf/20237101053.

14. Rykova I. N., Yuryeva A. A., Morina V. A. Assessment of the cost and profitability of wheat production in the Russian Federation // *Vestnik of NGIEI*. 2022. No. 8 (135). P. 87-103.

15. Murzova O. V. Economic assessment of usage of fertilizers in cultivation of film-coated and naked oats on sod-podzolic light loamy soil // *Vestnik of the Belarusian State Agricultural Academy*. 2022. No. 4. P. 72-76.

16. Sadovoy A. S., Baranovsky A. V. Bioenergetic assessment of the use of plant growth regulators on millet crops in the Donbass // *Grain Economy of Russia*. 2021. No. 1 (73). P. 63-67. doi: 10.31367/2079-8725-2021-73-1-63-67.

17. Nakhaev M. R., Astarkhanov I. R., Murtazova H. M. S. Bioenergetic assessment of growing grain crops on sloping landscapes of the Chechen Republic // *Problems of development of the regional agro-industrial complex*. 2023. No. 2 (54). P. 80-84. doi: 10.52671/20790996_2023_2_80.

18. Nikulchev K. A. Economic efficiency of using soil herbicide in grain crops // *Economics of agriculture of Russia*. 2024. No. 2. P. 63-67. doi: 10.32651/242-63.

19. The impact of agrotechnical practices on the productivity of winter wheat in the Central Black Soil Region / I. I. Gureev, A. V. Gostev, V. A. Lukyanov, et al. // *Achievements of science and technology in the agro-industrial complex*. 2024. Vol. 38, No. 9. P. 36-41. doi: 10.53859/02352451_2024_38_9_36

20. V. I. Nechaev, Ya. E. Davydova. Methodological approaches to bioenergetic assessment and ecological and economic efficiency of agrotechnical practices in crop production: selected aspects // *Agricultural Economics of Russia*. 2021. No. 7. P. 24-33. doi: 10.32651/217-24