

Влияние цеолитсодержащих удобрений на урожайность и качество продукции рапса в условиях лесостепи Среднего Поволжья

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

Е. С. Волкова✉, кандидат сельскохозяйственных наук, кафедра «Почвоведение, химия, биология и технологии переработки продукции растениеводства»

В. А. Пахалин, аспирант кафедры «Почвоведение, химия, биология и технологии переработки продукции растениеводства»

ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ

432000, бульвар Новый Венец, 1

✉ volkova-ivinaelena@yandex.ru

Резюме. Исследования проводили с целью изучения влияния цеолита Майнского месторождения Ульяновской области и удобрений на его основе, полученных обогащением аминокислотным составом и карбамидом, на формирование урожайности и качество продукции рапса ярового сорта Ратник. Схема полевого двухфакторного опыта: 1. Без удобрений, естественный фон; 1.1. Цеолит, 250 кг/га; 1.2. Цеолит, 500 кг/га; 1.3. Цеолит, обогащенный аминокислотами, 250 кг/га; 1.4. Цеолит, обогащенный аминокислотами, 500 кг/га; 1.5. Цеолит, обогащенный карбамидом, 250 кг/га; 1.6. Цеолит, обогащенный карбамидом, 500 кг/га; 2. $N_{40}P_{40}K_{40}$ (NPK), минеральный фон; 2.1. $N_{40}P_{40}K_{40}$ + Цеолит, 250 кг/га; 2.2. $N_{40}P_{40}K_{40}$ + Цеолит, 500 кг/га; 2.3. $N_{40}P_{40}K_{40}$ + Цеолит, обогащенный аминокислотами, 250 кг/га; 2.4. $N_{40}P_{40}K_{40}$ + Цеолит, обогащенный аминокислотами 500 кг/га; 2.5. $N_{40}P_{40}K_{40}$ + Цеолит, обогащенный карбамидом, 250 кг/га; 2.6. $N_{40}P_{40}K_{40}$ + Цеолит, обогащенный карбамидом, 500 кг/га. Опыт проводили в производственных условиях ООО «Родник» Мелекесского района Ульяновской области в 4-х кратной повторности с рендомизированным расположением делянок (40 м²). Почва опытного поля- чернозем выщелоченный среднесуглинистый с низкой обеспеченностью гумусом (3,5 %), средней — доступным фосфором (127 мг/кг) и высокой — калием (182 мг/кг) почвы, реакция почвенного раствора — 5,1 единиц рН_{KCl} (близко к среднекислой). В среднем за три года применения цеолита Майнского месторождения в чистом виде в дозах 250 и 500 кг/га составила 26 и 31 %, обогащенного аминокислотами и карбамидом — 34 и 41 %, что сравнимо с вариантом с использованием полных доз минеральных удобрений ($N_{40}P_{40}K_{40}$). При совместном использовании цеолитсодержащих и минеральных удобрений прибавка урожайности семян рапса по отношению к абсолютному контролю составила 48...55 %. Применение в технологии возделывания рапса цеолитсодержащих удобрений способствовало улучшению качества продукции: содержание белка в семенах повысилось на 1,0...2,1 %, жира -на 0,2...2,8 %.

Ключевые слова: цеолитсодержащее удобрение, рапс, урожайность, качество продукции.

Для цитирования: Куликова А. Х., Волкова Е. С., Пахалин В. А. Влияние цеолитсодержащих удобрений на урожайность и качество продукции рапса в условиях лесостепи Среднего Поволжья // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2026. № 2 (74). С. 65-71. doi:10.18286/1816-4501-2026-2-65-71

The effect of zeolite-containing fertilizers on the yield and quality of rapeseed in the forest-steppe conditions of the Middle Volga region

A. Kh. Kulikova, E. S. Volkova✉, **V. A. Pakhalin**

FSBEI HE Ulyanovsk State Agricultural University

432000, Novyi Venets Boulevard, 1

✉ volkova-ivinaelena@yandex.ru

Abstract. The study was conducted to examine the effect of zeolite from the Mainskoye deposit in Ulyanovsk Region and fertilizers based on it, enriched with amino acids and urea, on the yield and quality of spring rapeseed of Ratnik variety. The field two-factor experiment design included: 1. Without fertilizers, natural background; 1.1. Zeolite, 250 kg/ha; 1.2. Zeolite, 500 kg/ha; 1.3. Zeolite enriched with amino acids, 250 kg/ha; 1.4. Zeolite enriched with amino acids, 500 kg/ha; 1.5. Zeolite enriched with urea, 250 kg/ha; 1.6. Zeolite enriched with urea, 500 kg/ha; 2. $N_{40}P_{40}K_{40}$ (NPK), mineral background; 2.1. $N_{40}P_{40}K_{40}$ + Zeolite, 250 kg/ha; 2.2. $N_{40}P_{40}K_{40}$ + Zeolite, 500 kg/ha; 2.3. $N_{40}P_{40}K_{40}$ + Zeolite enriched with amino acids, 250 kg/ha; 2.4. $N_{40}P_{40}K_{40}$ + Zeolite enriched with amino acids 500 kg/ha; 2.5. $N_{40}P_{40}K_{40}$ + Zeolite enriched with urea, 250 kg/ha; 2.6. $N_{40}P_{40}K_{40}$ + Zeolite enriched with urea, 500 kg/ha. The experiment was carried out under the production conditions of OOO Rodnik in Melekess District of Ulyanovsk region in a 4-fold replication with a randomized plot arrangement (40 м²). The soil of the experimental field is leached medium-loamy black soil with a low humus content (3.5%), medium available phosphorus (127 mg/kg) and high potassium (182 mg/kg) of the soil, the reaction of the soil solution is 5.1 рН_{KCl} units (close to moderate acidity). On average, over three years of using zeolite from the Mainskoye deposit in its pure form at doses of 250 and 500 kg/ha, the yield increase was 26 and 31%, while when enriched with amino acids and

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

urea, it was 34 and 41%, which is comparable to the variant with full doses of mineral fertilizers ($N_{40}P_{40}K_{40}$). With the combined use of zeolite-containing and mineral fertilizers, the increase in rapeseed yield compared to the absolute control was 48...55%. The use of zeolite-containing fertilizers in rapeseed cultivation technology contributed to improved product quality: seed protein content increased by 1.0–2.1% and fat content by 0.2–2.8%.

Keywords: zeolite-containing fertilizer, rapeseed, yield, product quality.

For citation: Kulikova A. Kh., Volkova E. S., Pakhalin V. A. The effect of zeolite-containing fertilizers on the yield and quality of rapeseed in the forest-steppe conditions of the Middle Volga region // Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy. 2026.2 (74): 65-71 doi:10.18286/1816-4501-2026-2-65-71

Введение

На сегодняшний день возделывание рапса приобретает стратегическое значение в связи с широким спектром его применения в народном хозяйстве. Рапс – источник пищевого масла и кормового белка с содержанием жира 32...50 % и белка 23 %, техническое сырье (гидравлические и смазочные масла, биотопливо, производство синтетических моющих средств), прекрасный медонос (сбор меда с 1 га может достигать 100 кг) [1,2]. Следует отметить его агрономическое значение: рапс - хороший предшественник для зерновых культур (гарантированная прибавка урожайности 0,1 т/га), улучшает структуру почвы за счет глубокопроникающей, хорошо развитой корневой системы, обогащает в связи с этим почву органическими и минеральными веществами [3,4].

Рапс – культура, достаточно требовательная к питанию растений. По сравнению с зерновыми культурами на формирование единицы сухой массы он расходует в 2 раза больше питательных веществ: на 1 тонну семян и соответствующее количество соломы выносит из почвы 54...62 кг/га азота, 24...34 кг/га фосфора, 94 кг/га калия и 116 кг кальция. Предъявляет высокие требования к реакции почвенного раствора и содержанию кальция и магния в пахотном слое, оптимальными для рапса являются: pH_{KCl} 6,5...7,2 единиц, содержание Ca и Mg 70...90 и 20...30 кг/га соответственно [5, 6]. Рапс также предъявляет высокие требования к воде и равномерному распределению ее в течение всей вегетации.

В производстве семян рапса в связи с этим важно правильно выстроить агротехнику возделывания с учетом его биологических особенностей и требований к среде обитания, в том числе обеспечить оптимальное питание растений и влагообеспеченность в течение всей вегетации культуры. В этом отношении по мнению ряда ученых [7, 8, 9, 10, 11] целесообразно ввести в систему удобрения сельскохозяйственных культур кремнийсодержащие материалы (соединения, породы). Кремний относится к 14 базовым элементам питания, из которых состоит любой живой организм: C, H, O, N, P, K, Si, S, Ca, Mg, Na, Al, Cl, Fe. Кремнийлюбивыми растениями являются: рис, ячмень, пшеница, просо, кукуруза, сахарная, кормовая и столовая свеклы, подсолнечник, а также пальмовые, бамбуковые, хвойные, осоковые, хвощевые и др. [12, 13, 14].

Многочисленными исследованиями [12, 15, 16] доказано, что кремний и его соединения участвуют во всех значимых процессах, происходящих в почвах,

системе «почва-растение», живом организме, биосфере.

Цель исследований – изучение влияния цеолита Майнского месторождения Ульяновской области и цеолитсодержащих удобрений, полученных внедрением в него комплекса аминокислот и карбамида, на урожайность и качество продукции рапса при выращивании на черноземе выщелоченном в условиях лесостепи Среднего Поволжья.

Материалы и методы

Полевой опыт двухфакторный, 14-и вариантный, проведен на базе ООО «Родник» Мелекесского района Ульяновской области. Ниже приведена полная схема полевого опыта.

Полная схема полевого опыта

Фактор А (Фон)	Фактор В (удобрение)
Естественный фон	1. Без удобрений
	1.1. Цеолит, 250 кг/га
	1.2. Цеолит, 500 кг/га
	1.3. Цеолит, обогащенный аминокислотами, 250 кг/га
	1.4. Цеолит, обогащенный аминокислотами, 500 кг/га
	1.5. Цеолит, обогащенный карбамидом, 250 кг/га
Минеральный фон	1.6. Цеолит, обогащенный карбамидом, 500 кг/га
	2. $N_{40}P_{40}K_{40}$
	2.1. $N_{40}P_{40}K_{40}$ + Цеолит, 250 кг/га
	2.2. $N_{40}P_{40}K_{40}$ + Цеолит, 500 кг/га
	2.3. $N_{40}P_{40}K_{40}$ + Цеолит, обогащенный аминокислотами, 250 кг/га
	2.4. $N_{40}P_{40}K_{40}$ + Цеолит, обогащенный аминокислотами 500 кг/га
2.5. $N_{40}P_{40}K_{40}$ + Цеолит, обогащенный карбамидом, 250 кг/га	
2.6. $N_{40}P_{40}K_{40}$ + Цеолит, обогащенный карбамидом, 500 кг/га	

Объекты исследования:

рапс яровой (*Brassica napus L.*), травянистое растение семейства крестоцветных. Возделывается в Европейской части России и Сибири на площади 2,4 млн. га (2025 г.);

цеолит Майнского месторождения Ульяновской области с содержанием 56,60 % SiO_2 , в том числе 26,71 % – аморфного. В его состав также входят 15,21 % CaO, MgO, 1,25 % K_2O , 0,23 % P_2O_5 , 0,5 % S и др. элементы;

цеолитсодержащие удобрения: цеолит, обогащенный аминокислотным составом (аспаргиновая и глутаминовая кислоты, серин, гистицидин, глицин, треонин, аргинин, тирозин, цистин, валин, метионин,

фенилаланин, изолейцин, лейцин, лизин, пролин) и карбамидом (Co(NH₂)₂).

Почва опытного поля – чернозем выщелоченный среднесуглинистый среднемощный, содержит в пахотном слое 3,5 % гумуса, доступные соединения фосфора и калия 127 мг/кг и 182 мг/кг почвы соответственно, реакция почвенного раствора слабокислая – 5,1 единиц рН_{ксл} (близкая к среднекислой).

В качестве минерального фона применяли нитрофоску с содержанием NPK по 17 %.

Опыты осуществляли с соблюдением методических требований (размещение делянок рендемизированное, повторность четырехкратная, размер учетной делянки 40 м² (4×10), урожайные данные подвергались статистической обработке).

Агроклиматические условия вегетации рапса по данным метеостанции Мелекесского района за 2021-2023 гг. существенно различались (рис.).

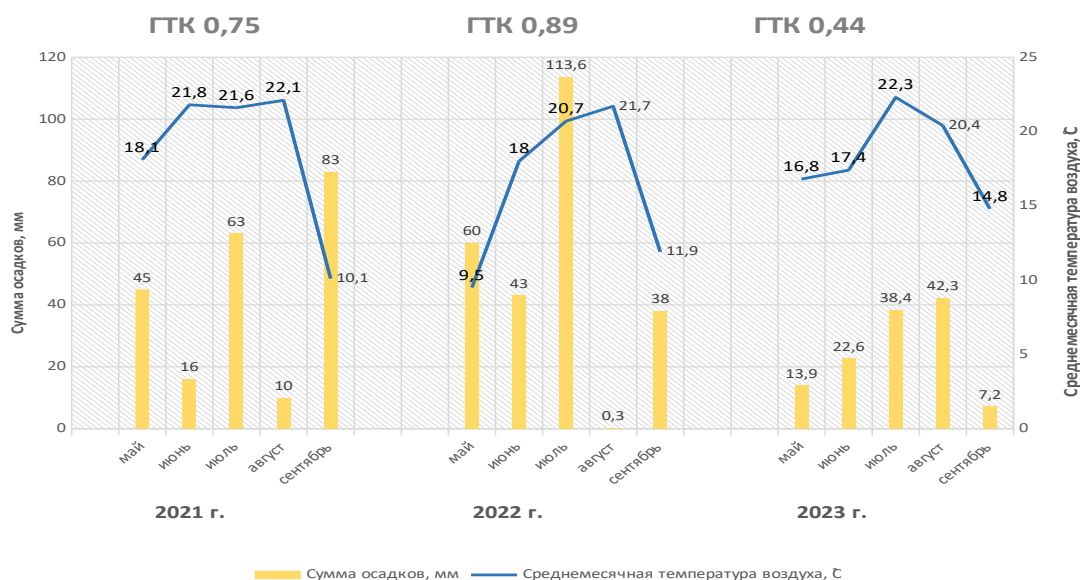


Рис. Температурный режим и количество осадков за годы исследований

Начало вегетации 2021 г. было вполне благоприятным для прорастания семян и дальнейшего роста и развития растений сельскохозяйственных культур, в том числе и рапса: среднемесячная сумма температур мая составила +18,1 при норме 12,5 °С, сумма осадков 45 мм при норме 39 мм. Во все последующие месяцы вегетации рапса как температурный режим, так и количество осадков относительно превышало норму. Однако распределение климатических показателей было неравномерным. Так, самая высокая температура воздуха (+34,2 °С) была 20 июля, тогда как 25 июля самая низкая (+9,6 °С). Май 2022 г. отмечался относительно низкими температурами воздуха: среднемесячная температура воздуха всего +9,5 °С, что ниже нормы на 4, °С. В то же время за этот период выпало осадков выше нормы (44 мм) – 60 мм. Ход климатических показателей в последующие месяцы вегетации рапса был более равномерным, чем в 2021 году. Характеризуя погодные условия 2023 г. следует отметить, что среднемесячная температура варьировалась от 16,8 °С в мае до 22,3 °С в июле. Распределение осадков характеризовалось выраженной неравномерностью, но во все месяцы за период вегетации их количество было ниже нормы. Гидротермический коэффициент (ГТК), составивший 0,44, указывает на существенный дефицит влаги в течение вегетационного периода.

Тем не менее, несмотря на значительное варьирование как сумм температур, так и осадков не

только по годам, но и колебания и отклонения их в отдельные периоды, в целом они вполне отвечали требованиям рапса.

Результаты

Урожайность семян рапса в среднем за 3 года исследований повышалась на 26...55 %, что свидетельствует о высокой отзывчивости рапса на кремниевое удобрение (табл. 1). При этом урожайность культуры при возделывании ее с применением цеолита в чистом виде в минимальной дозе 250 кг/га не уступала, судя по показателю достоверности (НСР₀₅), варианту с использованием минеральных удобрений (NPK). Возделывание рапса совместно с минеральными удобрениями позволяет практически удвоить прибавку урожая по отношению к абсолютному контролю (естественный фон). Наиболее высокая урожайность сформировалась на вариантах с применением цеолита, обогащенного как аминокислотами, так и карбамидом в дозе 500 кг/га: прибавка ее составила на обоих вариантах 0,48 т/га, или 55 %.

Основными показателями качества семян рапса являются содержание жира, белка, а также кислотное число, характеризующее наличие свободных жирных кислот.

В таблице 2 приведены данные, показывающие изменения их содержания в семенах рапса в зависимости от применения в технологиях его возделывания цеолита и цеолитсодержащих удобрений, в том числе на фоне минеральных удобрений.

Таблица 1. Влияние цеолитсодержащих удобрений на урожайность семян рапса

Вариант	Урожайность, т/га				Отклонение от контроля	
	2021 г.	2022 г.	2023 г.	Среднее	т/га	%
1	0,83	0,84	0,94	0,87	-	-
1.1	1,07	1,02	1,22	1,10	+0,23	26
1.2	1,14	1,06	1,25	1,14	+0,27	31
1.3	1,16	1,11	1,26	1,17	+0,30	34
1.4	1,17	1,14	1,28	1,19	+0,32	37
1.5	1,18	1,16	1,31	1,21	+0,34	39
1.6	1,21	1,19	1,32	1,23	+0,36	41
2	1,24	1,21	1,33	1,26	+0,38	44
2.1	1,26	1,25	1,38	1,29	+0,42	48
2.2	1,26	1,28	1,44	1,33	+0,52	53
2.3	1,29	1,29	1,41	1,32	+0,45	52
2.4	1,23	1,31	1,45	1,35	+0,48	55
2.5	1,25	1,23	1,40	1,29	+0,42	48
2.6	1,24	1,33	1,48	1,35	+0,48	55
НСР ₀₅	Фактор А	0,08	0,08	0,09	0,10	
	Фактор В	0,12	0,12	0,13	0,12	
	Фактор АВ	0,15	0,16	0,18	0,17	

Таблица 2. Влияние цеолитсодержащих удобрений на качественные показатели семян рапса (2022-2023 гг.)

Вариант	Содержание жира, %	Кислотное число	Содержание, %		
			белок	фосфор	калий
1	40,8	2,87	31,7	0,31	0,78
1.1	41,0	2,79	32,8	0,39	0,79
1.2	41,6	2,73	32,7	0,45	0,77
1.3	43,1	2,45	33,5	0,82	0,88
1.4	41,6	2,55	33,8	0,79	0,87
1.5	41,9	2,56	32,9	0,71	0,86
1.6	42,4	2,58	32,9	0,77	0,97
2	42,1	2,71	32,9	0,84	0,96
2.1	41,8	2,77	33,4	0,51	0,84
2.2	42,3	2,71	32,6	0,59	0,91
2.3	43,6	2,60	33,4	0,90	1,00
2.4	43,4	2,40	33,3	0,86	1,08
2.5	43,3	2,67	33,5	0,86	0,96
2.6	43,4	2,70	33,2	0,80	1,03
НСР ₀₅	Фактор А	0,25	0,06	0,20	0,04
	Фактор В	0,50	0,11	0,37	0,07
	Фактор АВ	0,71	0,16	0,52	0,10

При анализе данных таблицы, прежде всего обращает на себя внимание достаточно высокое содержание в семенах как жира (40,8...43,6 %), так и белка (31,7...33,5 %), которое значительно превышает средние значения стандарта данного сорта Ратник (21...24 %). При применении цеолитсодержащих удобрений оба показателя имеют тенденцию к достоверному повышению: жира с 40,8 % до 43,1 % на варианте с использованием цеолита, обогащенного аминокислотами (доза 250 кг/га), белка — от 31,7 % до 33,8 (доза 500 кг/га).

Важный показатель, определяющий качество продукции рапса, — кислотное число. При применении в технологии возделывания рапса цеолитсодержащих удобрений оно достоверно снижается на всех вариантах опыта от 2,87 до 2,40 единиц. Повышается также при этом накопление в семенах фосфора от 0,31 до 0,90 и калия — от 0,78 до 1,08 %.

Обсуждение

На формирование урожайности рапса, как любой сельскохозяйственной культуры влияет множество факторов (почвенно-климатические условия, агротехника возделывания, место в севообороте и т. д.), в том числе важно создание оптимальных

условий почвенной среды для роста и развития культуры [17, 18].

Рапс обладает значительным потенциалом продуктивности «Однако для реализации этого потенциала необходима разработка научно-обоснованных систем минерального питания, адаптированных к местным условиям» [19]. С точки зрения обеспечения растений элементами питания в течение всей вегетации, как указывалось выше, целесообразно ввести в систему удобрения сельскохозяйственных культур высококремнистые породы. Как показали наши исследования, в частности, внесение в почву цеолитсодержащих удобрений при возделывании рапса сопровождалось значительным улучшением питательного режима: содержание в пахотном слое минерального азота повышалось на 0,2...1,6 мг/кг, доступного фосфора на 5...12 мг/кг и подвижного калия на 3...13 мг/кг почвы. Происходила при этом нейтрализация почвенной кислотности на 0,5...0,6 единиц рН_{кд} [20]. Последнее, несомненно, повлияло на формирование урожайности семян рапса: прибавка ее по отношению к контролю (0,87 т/га) составила от 26 до 41 % при применении их в чистом виде и до 48...51 % -при сочетании с минеральным удобрением. Следует отметить также способность

высококремнистых пород (в данном случае цеолита) при внесении в почву удерживать влагу и постепенно расходовать в течение вегетации. Так, в исследованиях Е.С. Волковой [21] показано, что уже в начале вегетации озимой пшеницы влагозапасы в пахотном слое на вариантах с применением цеолитсодержащих удобрений превышали контроль на 3-7 мм. Последнее также способствовало повышению ее урожайности.

Существенная прибавка урожайности при применении цеолитсодержащих удобрений в чистом виде свидетельствует о высокой отзывчивости рапса на кремниевое удобрение. Кремний влияет на активность фотосинтетических ферментов, в частности, *rubisco* (рибулозо-1,5-биофосфат карбоксилаза / оксигеназа) — ключевого фермента в цикле Кальвина, который отвечает за усвоение углекислого газа. Кремний (Si) усиливает активность ферментов, что позволяет растениям более эффективно преобразовывать диоксид углерода в органические соединения такие, как сахара и крахмал [22]. Следовательно, кремнийсодержащие удобрения могут использоваться для повышения эффективности фотосинтеза растений.

Цеолитсодержащие удобрения способствовали улучшению качества продукции как по содержанию жира и белка, так и свободных кислот. Данные по повышению накопления жира в семенах рапса при возделывании его с применением удобрений приводятся в работе Т.Я. Праховой и А.Г. Саджая [23]. Последнее, несомненно, обусловлено улучшением условий питания растений, в том числе и кремниевом.

Заключение

Цеолитсодержащие удобрения являются эффективным средством повышения урожайности семян рапса: прибавка ее в среднем за три года применения цеолита Майнского месторождения в чистом виде в дозах 250 и 500 кг/га составила 26 и 31 %, обогащенного аминокислотами и карбамидом 34 и 41 %, что сравнимо с вариантом с использованием полных доз минеральных удобрений ($N_{40}P_{40}K_{40}$). При совместном применении цеолитсодержащих и минеральных удобрений прибавка урожайности семян рапса по отношению к абсолютному контролю составила 48...55 %.

Применение в технологии возделывания рапса цеолитсодержащих удобрений способствовало улучшению качества продукции: содержание белка в семенах повысилось на 1,0...2,1 %, жира на 0,2...2,8 %.

Литература

1. Баюров Л.И. Рапс – культура будущего! // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2021. № 167. С. 1-19. doi: 10.21515/1990-4665-167-001
2. Магизов И.Ф. Рапс: возможности и перспективы применения. Развитие АПК и сельских территорий в условиях модернизации экономики :

Материалы IV Международной научно-практической конференции, посвященной памяти доктора экономических наук, профессора Н.С. Каткова, Казань, 16–17 февраля 2023 года. Том 1. Казань: Казанский государственный аграрный университет, 2023. С. 135-142.

3. Рапсовый бум. Сохранится ли интерес к этой масличной культуре. Режим доступа: <https://поле.рф/journal/publication/192> (дата обращения: 25.03.2026)

4. Использование ярового рапса в качестве сидеральной культуры в условиях Среднего Урала / П. А. Постников, В. В. Попова, О. В. Васина и др. // Вестник КрасГАУ. 2021. № 5(170). С. 20-27. doi: 10.36718/1819-4036-2021-5-20-27.

5. Коломийченко В.В. Растениеводство. Агробизнесцентр. М., 2007. 600 с.

6. Нурлыгаянов Р.Б., Филимонов А.Л. Минеральное питание ярового рапса. // Плодородие. 2019. № 2(107). С. 16-18. doi: 10.25680/S19948603.2019.107.05.

7. Перспективы использования кремниевых препаратов в сельском хозяйстве (обзор научной литературы) / В. В. Матыченков, Е. А. Бочарникова, Г. В. Пироговская, И. Е. Ермолович // Почвоведение и агрохимия. 2022. № 1(68). С. 219-234. doi: 10.47612/0130-8475-2022-1(68)-219-234.

8. Куликова А. Х. Кремний и высококремнистые породы в системе удобрения сельскохозяйственных культур. Ульяновск. 2013. 176 с.

9. Эффективность природного высококремнистого цеолита при выращивании кукурузы в условиях западной части Центрального Нечерноземья / Н. Е. Самсонова, Ю. В. Козлов, М. В. Капустина и др. // Агрохимия. 2016. № 3. С. 23-31.

10. Artyszak A. Effect of Silicon Fertilization on Crop Yield Quantity and Quality-A Literature Review in Europe // Plant. 2018. Vol. 7(3):54.

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

12. Самсонова Н.Е. Кремний в растительных и животных организмах // Агрохимия. 2019. № 1. С. 86-96. doi: 10.1134/S0002188119010071

13. Heather A.C., Carole C.P. Silica in plants: biological, biochemical and chemical studies // Ann Bot. 2007. Vol. 100(7). P.1383-9. doi: 10.1093/aob/mcm247

14. 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

15. Bocharnikova E. A., Matichenkov V. V. Silicon fertilizers: Agricultural and environmental impacts // Fertilizers: Components, Uses in Agriculture and Environmental Impacts. 2014. P. 183-198.

16. Козлов А. В., Куликова А. Х. Соединения кремния и их химическая трансформация в дерново-подзолистых почвах Нижегородской области. Москва: Плодородие, 2022. 266 с. ISBN 978-5-6046665-5-5

17. Чебатарева А. П., Чебатарева М. В., Жаркова С. В. Биохимическая оценка качества семян сортов и линий ярового рапса (*Brassica napus* L.) «00»-типа в условиях юга Западной Сибири // Достижения науки и техники АПК. 2025. Т. 39. № 8. С. 60-65. doi: 10.53859/02352451_2025_39_8_60

18. Продуктивность гибридов ярового рапса в условиях северной лесостепи Свердловской области / Р. Р. Худайбердин, К. Е. Рзаева, И. Т. Рзаев и др. // Известия Дагестанского ГАУ. 2025. № 4(28). С. 175-180. doi: 10.52671/26867591_2025_4_175

19. Бойкова П. Н., Федотова Е. Н. Обоснование необходимости проведения научных исследований по оптимизации минерального питания ярового рапса в условиях Северо-запада РФ // Известия Великолукской государственной сельскохозяйственной академии. 2025. 4. С. 23-29.

20. Куликова А. Х., Карпов А. В., Пахалин В. А. Влияние цеолита и удобрений на его основе на питательный режим чернозема выщелоченного и урожайность рапса // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2023. № 4(64). С. 37-42. doi: 10.18286/1816-4501-2023-4-37-42

21. Волкова Е. С., Пятова А. А. Влияние цеолита и удобрений на его основе на агрофизические свойства почвы при возделывании сельскохозяйственных культур // Фундаментальные концепции физики почв: развитие, современные приложения и перспективы: Сборник научных трудов II Международной междисциплинарной научной конференции, Москва, 25–31 мая 2024 года. Москва: ООО "Издательский дом КДУ", 2024. С. 598-603.

22. Beyond essentiality: silicon as a systems regulator of photosynthesis under stress scenarios / M. Mukarram, A. Zehra, S. Afzal, et al. // Front. Plant Sci. 2026. No. 16. P. 1690421. doi: 10.3389/fpls.2025.1690421

23. Прахова Т. А., Саджая А. Г. Влияние микроудобрений на урожайные свойства и качество рапса ярового в условиях лесостепи Среднего Поволжья // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени А. А. Костычева. 2025. Т. 17. № 3. С32-38. doi: 10.36508/RSATU.2025.91.84.005

References

1. Bayurov, L.I. Rapeseed – the crop of the future! // Multi-thematic online electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University. 2021. No. 167. P. 1–19. doi: 10.21515/1990-4665-167-001.

2. Magizov, I.F. Rapeseed: possibilities and prospects for application. Development of the agro-industrial complex and rural areas in the context of economic modernization: Proceedings of the IV International scientific and practical conference dedicated to the memory of Doctor of Economics, Professor N.S. Katkov, Kazan, February 16–17, 2023. Vol. 1. Kazan: Kazan State Agrarian University, 2023. P. 135–142.

3. Rapeseed Boom. Will the interest in this oilseed crop continue? Access mode: <https://поле.рф/journal/publication/192> (access date: 25.03.2026)

4. Usage of spring rapeseed as a green manure crop in the Middle Urals / P. A. Postnikov, V. V. Popova, O. V. Vasina, et al. // Vestnik of KrasSAU. 2021. No. 5 (170). P. 20–27. doi: 10.36718/1819-4036-2021-5-20-27.

5. Kolomiychenko V.V. Crop production. Agrobusiness center. Moscow, 2007. 600 p.

6. Nurlygayanov R.B., Filimonov A.L. Mineral nutrition of spring rape. // Soil Fertility. 2019. No. 2 (107). P. 16-18. doi: 10.25680/S19948603.2019.107.05.

7. 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. doi: 10.47612/0130-8475-2022-1(68)-219-234.

8. Kulikova A. Kh. Silicon and high-silicon rocks in the fertilization system of agricultural crops. Ulyanovsk. 2013. 176 p.

9. Efficiency of natural high-silica zeolite in corn cultivation in the western part of the Central Non-Black soil Region / N. E. Samsonova, Yu. V. Kozlov, M. V. Kapustina, et al. // Agrochemistry. 2016. No. 3. P. 23-31.

10. Artyszak A. Effect of Silicon Fertilization on Crop Yield Quantity and Quality - A References Review in Europe // Plant. 2018. Vol. 7(3):54.

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

12. Samsonova N.E. Silicon in plants and animals // Agrochemistry. 2019. No. 1. P. 86-96. doi: 10.1134/S0002188119010071

13. Heather A.C., Carole C.P. Silica in plants: biological, biochemical and chemical studies // Ann Bot. 2007. Vol. 100(7). P.1383-9. doi: 10.1093/aob/mcm247

14. Degtyareva I. A., Kirillova N. I. Comparative assessment of the effect of various biofertilizers in combination 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

15. Bocharnikova E. A., Matichenkov V. V. Silicon fertilizers: Agricultural and environmental impacts // Fertilizers: Components, Uses in Agriculture and Environmental Impacts. 2014. P. 183-198.

16. Kozlov A. V., Kulikova A. Kh. Silicon compounds and their chemical transformation in sod-podzolic soils of the Nizhny Novgorod region. Moscow: Soil fertility, 2022. 266 p. ISBN 978-5-6046665-5-5

17. Chebatarev A. P., Chebatareva M. V., Zharkova S. V. Biochemical assessment of seed quality of spring rapeseed (*Brassica napus* L.) varieties and lines of the "00" type under the conditions of the south of Western Siberia // Achievements of science and technology of the

agro-industrial complex. 2025. Vol. 39. No. 8. P. 60-65. doi: 10.53859/02352451_2025_39_8_60

18. Productivity of spring rape hybrids in the conditions of the northern forest-steppe of the Sverdlovsk region / R. R. Khudaiberdin, K. E. Rzaeva, I. T. Rzaev et al. // Vestnik of the Dagestan State Agrarian University. 2025. No. 4 (28). P. 175-180. doi: 10.52671/26867591_2025_4_175

19. Boykova P. N., Fedotova E. N. Justification of the need to conduct scientific research on the improvement of mineral nutrition of spring rape in the conditions of the North-West of the Russian Federation // Vestnik of the Velikiye Luki State Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2025. 4 . P. 23-29.

20. Kulikova A. Kh., Karpov A. V., Pakhalin V. A. Influence of zeolite and fertilizers based on it on the nutrient regime of leached black soil and rapeseed yield // Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2023. No. 4 (64). P. 37-42. doi: 10.18286/1816-4501-2023-4-37-42

21. Volkova E. S., Pyatova A. A. Effect of zeolite and fertilizers based on it on the agrophysical properties of soil during cultivation of agricultural crops // Fundamental concepts of soil physics: development, modern applications and prospects: Collection of scientific papers of the II International interdisciplinary scientific conference, Moscow, May 25–31, 2024. Moscow: OOO "Publishing House KDU", 2024. P. 598-603.

22. Beyond essentiality: silicon as a systems regulator of photosynthesis under stress scenarios / M. Mukarram, A. Zehra, S. Afzal, et. al. // Front. Plant Sci. 2026. No. 16. P. 1690421. doi: 10.3389/fpls.2025.1690421

23. Prakhova T. A., Sadzhaya A. G. Influence of microfertilizers on the yield properties and quality of spring rape in the forest-steppe conditions of the Middle Volga region // Vestnik of Ryazan State Agrotechnological University named after A. A. Kostychev. 2025. Vol. 17. No. 3. P. 32-38. doi: 10.36508/RSATU.2025.91.84.005