

Влияние цеолита и удобрений на его основе на питательный режим чернозема выщелоченного и урожайность рапса

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

А. В. Карпов, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры «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 432017 Ульяновск, бульвар Новый Венец, 1,

✉agroec@yandex.ru

Резюме. В работе приведены результаты исследований по изучению влияния цеолита Юшанского месторождения Ульяновской области, а также цеолита, обогащенного аминокислотами и карбамидом, на основные агрохимические показатели чернозема выщелоченного и урожайность семян рапса сорта Ратник. Полевые опыты проводили в производственных условиях ООО «Родник» Мелекесского района в течение 2020-2022 гг. Схема опыта состояла из следующих вариантов: 1. Контроль (без удобрений); 2. Цеолит, 250 кг/га; 3. Цеолит, 500 кг/га; 4. Цеолит, обогащенный аминокислотами, 250 кг/га; 5. Цеолит, обогащенный аминокислотами, 500 кг/га; 6. Цеолит, обогащенный карбамидом, 250 кг/га; 7. Цеолит, обогащенный карбамидом, 500 кг/га; 8. $N_{40}P_{40}K_{40}$ (NPK). Площадь учетной делянки составляла 40 м² (4x10), расположение их рендомизированное с 4-х кратным повторением. Цеолит и удобрения вносили под предпосевную культивацию. Образцы почв анализировали в аккредитованной лаборатории «САС «Ульяновская» по соответствующим методикам. Установили, что внесение в почву цеолита, в том числе обогащенного аминокислотами и карбамидом, в дозах 250 и 500 кг/га существенно положительно влияет на питательный режим почвы: содержание минерального азота (NO_3+NH_4) было выше контрольного варианта на 0,2...1,6 мг/кг, P_2O_5 на 5...12 мг/кг, K_2O на 3...13 мг/кг почвы. Снижение обменной кислотности составило 0,5...0,7 единиц рН_{KCl}. Применение цеолита в качестве удобрения на черноземе выщелоченном в данных дозах обеспечило повышение урожайности семян рапса в среднем за 3 года на 0,23...0,27 т/га, что составляет 26 и 31 %. Удобрения на его основе, полученные обогащением его аминокислотами и карбамидом, способствовали повышению урожайности на 0,30...0,36 т/га, или на 35 и 41 % (на контроле 0,87 т/га). Урожайность рапса при применении цеолита и удобрений на его основе практически не уступала варианту с использованием минеральных удобрений.

Ключевые слова: Цеолит и удобрения на его основе, питательный режим почвы, рапс, урожайность.

Для цитирования: 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). 37-42С. doi:10.18286/1816-4501-2023-4-37-42

The influence of zeolite and fertilizers based on it on nutritional regime of leached black soil and rapeseed yield

A. Kh. Kulikova ✉, **A. V. Karpov**, **V. A. Pakhalin**

FSBEI HE Ulyanovsk State Agrarian University

432017 Ulyanovsk, Novyi Venets Boulevard, 1, ✉agroec@yandex.ru

Abstract. The paper presents results of the studies on the influence of zeolite from Yushanskoe deposit in Ulyanovsk region, as well as zeolite enriched with amino acids and urea on main agrochemical parameters of leached black soil and rapeseed yield of Ratnik variety. Field experiments were carried out in the production conditions of OOO Rodnik, Melekessky district from 2020 to 2022. The experimental scheme consisted of the following variants: 1. Control (without fertilizers); 2. Zeolite, 250 kg/ha; 3. Zeolite, 500 kg/ha; 4. Zeolite enriched with amino acids, 250 kg/ha; 5. Zeolite enriched with amino acids, 500 kg/ha; 6. Zeolite enriched with urea, 250 kg/ha; 7. Zeolite enriched with urea, 500 kg/ha; 8. $N_{40}P_{40}K_{40}$ (NPK). The area of the record plot was 40 m² (4x10), their location was randomized with 4-fold repetition. Zeolite and fertilizers were applied for pre-sowing tillage. Soil samples were analyzed in the accredited laboratory "SAS "Ulyanovskaya" using appropriate methods. It was found that the introduction of zeolite into the soil, including enriched with amino acids and urea, at doses of 250 and 500 kg/ha has a significantly positive effect on nutritional regime of the soil: the content of mineral nitrogen ($NO_3 + NH_4$) was higher than the control variant by 0.2-1.6 mg/kg, P_2O_5 by 5-12 mg/kg, K_2O by 3-13 mg/kg of soil. The decrease of metabolic acidity was 0.5-0.7 pH_{KCl} units. The application of zeolite as

a fertilizer on leached black soil in these doses ensured an increase in yield of rapeseed seeds by 0.23-0.27 t/ha on average over 3 years, which is 26 and 31%. Fertilizers based on it, obtained by enriching it with amino acids and urea, contributed to an increase in yield by 0.30-0.36 t/ha, or by 35 and 41% (0.87 t/ha in the control). The yield of rapeseed when using zeolite and fertilizers based on it was practically not inferior to the variant with application of mineral fertilizers.

Keywords: Zeolite and fertilizers based on it, soil nutritional regime, rapeseed, productivity

For citation: Kulikova A. Kh., Karpov A. V., Pakhalin V. A. The influence of zeolite and fertilizers based on it on nutritional regime of leached black soil and rapeseed yield // Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy. 2023;4(64):37-42

Введение

Рапс (*Brassica napus* L.) – одна из наиболее востребованных в настоящее время и стратегически важных культур. Благодаря своему составу (содержание жира в семенах составляет 35...50 %, белка с хорошо сбалансированным аминокислотным составом 19...31 %, клетчатки 5...7 %), рапс находит широкое применение в различных отраслях народного хозяйства: как продукт питания для человека, корм для животных, техническое сырье для промышленности и транспорта. Не случайно площади под посевами рапса в мире превышают 36,9 млн. га.

Потенциальная продуктивность рапса достаточно высокая и достигает 3,5... 4,0 т/га семян и 50,0...60,0 т/га зеленой массы. Однако средняя урожайность семян рапса в России не превышает 1,6 т/га, в Ульяновской области 1,0 т/га, что значительно ниже уровня европейских стран. Последнее обуславливает необходимость совершенствования технологии его возделывания, в которой значительная роль отводится системе удобрения культуры. Рапс требователен к условиям выращивания и питанию, потребность его в доступном азоте составляет 47...65 кг, фосфоре 22...40 кг, калии 50...82 кг на 1 тонну продукции. Существенна потребность рапса в кремнии.

В последние годы многие ученые агрохимики приходят к выводу о необходимости введения в систему удобрений агроценозов кремнийсодержащих материалов, в том числе высококремнистых пород, которые широко распространены в природе [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7]. Доказано, что они оказывают комплексное положительное влияние на свойства почвы и в целом на систему «почва-растение». Установлено, что эффективность кремнистых пород в системе удобрения сельскохозяйственных культур значительно можно повысить при совместном применении их с органическими и минеральными удобрениями [3, 8, 9, 10]. Последнее явилось теоретической базой для создания новых видов удобрений на основе высококремнистых пород обогащением их теми или иными компонентами, наиболее полно отвечающими требованиям культур к питательному режиму. В связи с этим нами совместно с производителями г. Ульяновска разработаны состав и технология производства удобрений на основе цеолита Юшанского месторождения Ульяновской области обогащением их азотсодержащими соединениями: аминокислотами и карбамидом. Испытания их проводили в течение 2020 – 2022 гг. при возделывании ряда сельскохозяйственных культур. В данной

работе приведены результаты исследований по изучению влияния цеолита и удобрений на его основе на питательный режим чернозема выщелоченного и урожайность рапса.

Материалы и методы

Полевые опыты по изучению эффективности цеолита и удобрений на его основе при возделывании рапса проведены в производственных условиях ООО «Родник» Мелекесского района Ульяновской области в течение 2020 – 2022 гг. Объекты исследования при этом следующие:

– цеолит Юшанского месторождения Ульяновской области с содержанием кремния в оксидной форме (SiO_2) 56,60 %, в том числе аморфного (доступного) 26,71 %; суммарного количества кальция и магния ($\text{CaO}+\text{MgO}$) 15,21 %; калия (K_2O) 1,25 %; фосфора (P_2O_5) 0,23 %; серы (S) 0,5 %. Цеолит обладает высокой ионообменной (93 мг – экв /100 г) и вододерживающей (96 %) способностью;

– цеолит, обогащенный аминокислотами, в составе которых содержится: аспаргиновая и глутаминовая кислоты, серин, гистидин, глицин, треонин, аргинин, тирозин, цистин, валин, метионин, фенилаланин, изолейцин, лейцин, лизин, пролин;

– цеолит, обогащенный карбамидом с содержанием азота 46 %.

– почва – чернозём выщелоченный среднесуглинистый со следующими агрохимическими показателями: содержание гумуса 3,5 %, подвижных фосфора и калия 127 мг/кг и 182 мг/кг почвы, pH_{KCl} 5,1 единиц;

– рапс яровой сорта Ратник. Хорошо адаптирован к агроклиматическим условиям Европейской части России и Сибири.

– минеральное удобрение – нитрофоска с содержанием азота, фосфора и калия по 17 %.

Полевой опыт состоял из следующих вариантов: 1. Контроль (без удобрений), 2. Цеолит, 250 кг/га, 3. Цеолит, 500 кг/га, 4. Цеолит, обогащенный аминокислотами, 250 кг/га, 5. Цеолит, обогащенный аминокислотами, 500 кг/га, 6. Цеолит, обогащенный карбамидом, 250 кг/га, 7. Цеолит, обогащенный карбамидом, 500 кг/га, 8. $\text{N}_{40}\text{P}_{40}\text{K}_{40}$ (NPK).

Опыт проводили со строгим соблюдением методических требований с 4-х кратной повторностью и рендомизированным размещением делянок. Учетная площадь делянок составляла 40 м² (4x10). Удобрения (в том числе цеолит) вносили под предпосевную культивацию. Образцы почв анализировали в аккредитованной лаборатории «САС «Ульяновская»», в том числе: P_2O_5 по Чирикову (ГОСТ

26204), K₂O по Чирикову (ГОСТ 26204), NH₄ по ГОСТ 26489, NO₃ по ГОСТ 26951, рН_{КСЛ} по ГОСТ 26483-83. Результаты исследований подвергали статистической обработке методом дисперсионного анализа.

Результаты

Удобрения, вносимые в почву при возделывании сельскохозяйственных культур, прежде всего,

оказывают прямое влияние на состояние ее питательного режима.

В таблице 1 представлено изменение агрохимических показателей почвы в зависимости от применения в технологии возделывания рапса экспериментальных удобрений.

Таблица 1. Влияние цеолита и удобрений на его основе на агрохимические показатели чернозема выщелоченного под посевами рапса

| Вариант | РН _{КСЛ} , единиц | | NO ₃ +NH ₄ , (мг/кг) | | P ₂ O ₅ (мг/кг) | | K ₂ O (мг/кг) | |
|---|----------------------------|------------|--|------------|---------------------------------------|------------|--------------------------|------------|
| | содержание | отклонение | содержание | отклонение | содержание | отклонение | содержание | отклонение |
| Контроль (без удобрений) | 5,8 | - | 19,3 | - | 140 | - | 161 | - |
| Цеолит, 250 кг/га | 5,3 | -0,5 | 19,5 | +0,2 | 145 | +5 | 165 | +4 |
| Цеолит, 500 кг/га | 5,2 | -0,6 | 19,6 | +0,3 | 146 | +6 | 166 | +5 |
| Цеолит, обогащенный аминокислотами, 250 кг/га | 5,3 | -0,5 | 20,6 | +1,3 | 150 | +10 | 164 | +3 |
| Цеолит, обогащенный аминокислотами, 500 кг/га | 5,3 | -0,5 | 20,9 | +1,6 | 151 | +11 | 171 | +10 |
| Цеолит, обогащенный карбамидом, 250 кг/га | 5,1 | -0,7 | 19,7 | +0,4 | 150 | +10 | 170 | +9 |
| Цеолит, обогащенный карбамидом, 500 кг/га | 5,3 | -0,5 | 19,8 | +0,5 | 152 | +12 | 174 | +13 |
| N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀ | 5,2 | -0,6 | 21,3 | +2,0 | 161 | +21 | 180 | +19 |

Таблица 2. Влияние цеолита, в том числе обогащённого аминокислотами и карбамидом, на урожайность рапса

| Вариант | Урожайность, т/га | | | | Отклонение от контроля | |
|---|-------------------|---------|---------|---------|------------------------|----|
| | 2021 г. | 2022 г. | 2023 г. | среднее | т/га | % |
| Контроль(без удобрений) | 0,83 | 0,84 | 0,94 | 0,87 | - | - |
| Цеолит, 250 кг/га | 1,07 | 1,02 | 1,22 | 1,10 | +0,23 | 26 |
| Цеолит, 500 кг/га | 1,11 | 1,06 | 1,25 | 1,14 | +0,27 | 31 |
| Цеолит, обогащенный аминокислотами, 250 кг/га | 1,14 | 1,11 | 1,26 | 1,17 | +0,30 | 35 |
| Цеолит, обогащенный аминокислотами, 500 кг/га | 1,16 | 1,14 | 1,28 | 1,19 | +0,32 | 37 |
| Цеолит, обогащенный карбамидом, 250 кг/га | 1,17 | 1,16 | 1,31 | 1,21 | +0,34 | 39 |
| Цеолит, обогащенный карбамидом, 500 кг/га | 1,18 | 1,19 | 1,32 | 1,23 | +0,36 | 41 |
| N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀ | 1,21 | 1,21 | 1,33 | 1,25 | +0,38 | 44 |
| НСП ₀₅ | 0,15 | 0,16 | 0,18 | | | |

Цеолит и удобрения на его основе оказали существенное влияние на питательный режим чернозема выщелоченного. При этом содержание минерального азота (аммонийного и нитратного) в пахотном слое в среднем за вегетацию культуры было выше контрольного варианта на 0,2...1,6 мг/кг, подвижного (доступного) фосфора на 5...12 мг/кг,

калия на 3...13 мг/кг почвы. Результаты исследования показали, что при применении цеолита в системе удобрения рапса происходит значительная нейтрализация почвенной кислотности: она уменьшилась на 0,5...0,7 единиц рН_{КСЛ}.

Таким образом, приведенные в таблице 1 данные свидетельствуют о несомненной способности

цеолита и удобрений на его основе улучшать агрохимическое и кислотно-основное состояние почвы.

Урожайность сельскохозяйственных культур в различных почвенно-климатических условиях формируется уровнем их питания. Улучшение питательного режима почвы при внесении в почву цеолита и удобрений на его основе ожидаемо сопровождалось повышением урожайности экспериментальной культуры (табл. 2).

Данные таблицы 2 свидетельствуют о высокой эффективности цеолита при возделывании рапса: урожайность семян в среднем за 3 года повысилась в зависимости от дозы породы на 0,23 и 0,27 т/га, что выше контрольного варианта на 26 и 31 %. Обогащение цеолита аминокислотами и карбамидом привело к значительному повышению его эффективности: прибавка семян на одном гектаре составила 0,30 и 0,36 т/га (35 и 41 %). Следует отметить, что урожайность рапса при применении цеолита, в том числе обогащенного аминокислотами и карбамидом, практически не уступала варианту с использованием минеральных удобрений.

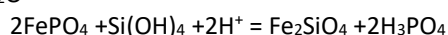
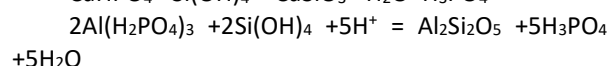
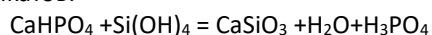
Обсуждение

При анализе результатов исследований по изучению влияния цеолита и удобрений на его основе на основные агрохимические показатели, прежде всего, обращает на себя внимание снижение кислотности почвы на 0,5–0,6 единиц pH_{KCl} . Последнее обусловлено достаточно высоким содержанием в цеолите кальция и магния, в связи с чем он (цеолит), несомненно, обладает нейтрализующей кислотность почвы способностью. Аналогичные изменения при внесении в почву цеолита приводятся в работе А.В. Козлова [11]. Автор, в частности, приводит данные, свидетельствующие, что при внесении в дерново-подзолистую почву цеолита в дозе 6 т/га ее актуальная кислотность снизилась на 0,39 единиц, обменная на 0,18 единиц pH_{KCl} .

Заметно увеличение в пахотном слое содержания аммонийного и нитратного азота на варианте с внесением цеолита, обогащенного аминокислотами, что обусловлено существенным усилением активности микроорганизмов, в том числе аммонификаторов и нитрификаторов в связи с улучшением при этом агро- и воднофизических свойств почвы [3, 12, 13]. В частности, автор [13] отмечает, что при внесении в почву цеолита физическое состояние чернозема выщелоченного значительно изменилось в лучшую сторону, особенно при использовании более высокой дозы цеолита (500 кг/га) и обогащении аминокислотами. При применении экспериментальных удобрений агрофизические показатели почвы (содержание агрономически ценных агрегатов, плотность) достигли оптимальных значений для возделываемой культуры. Следует также отметить, что аминокислоты, являясь биологически активными, поступая в почву в составе цеолита, также способствуют усилению деятельности

микроорганизмов, следовательно, оптимизации физического состояния почвы.

При использовании в системе удобрения рапса цеолита, в том числе обогащенного аминокислотами и карбамидом, в среднем за вегетацию культуры поддерживалось более высокое содержание доступных растениям фосфора и калия: P_2O_5 на 5...12, K_2O – на 3...13 мг/кг почвы. В ряде исследований [2, 3, 14, 15] установлено положительное влияние кремнийсодержащих удобрений на содержание доступного растениям фосфора. Так, В.В. Матыченков [1] с соавторами приводят реакции вытеснения фосфат-аниона силикат-анионом из труднорастворимых фосфатов с образованием соответствующих силикатов:



Авторы считают, что применение кремниевых удобрений может позволить снизить дозы (расход) фосфорных удобрений на 30–50 %.

При внесении в почву цеолита и удобрений на его основе происходит также существенное улучшение калийного режима в пахотном слое. Последнее тем более важно, так как для формирования урожая рапсу требуется значительное количество калия: вынос его с урожаем составляет 50–80 кг на 1 тонну продукции. Улучшение калийного режима обусловлено с одной стороны содержанием K_2O в самом цеолите, которая достигает по отдельным месторождениям 2 % (в нашем случае – Юшанское месторождение – 1,25 %), с другой стороны, усилением активности почвенных микроорганизмов, в том числе литотрофных, сопровождающимся высвобождением калия и других элементов питания из соответствующих минералов почвы в доступной форме [11]. Высвобождается при этом и кремний, что обеспечивает постоянное присутствие в почвенном растворе доступного кремния.

Существенное улучшение питательного режима почвы при внесении цеолита и удобрений на его основе способствовало формированию урожайности рапса, превышающей контрольный вариант на 26...41 % (табл. 2). При этом применение цеолита в чистом виде обеспечило прибавку урожайности семян рапса на 26...31 %, что свидетельствует о высокой потребности культуры в кремниевом питании. Судя по показателю достоверности ($НСР_{05}$), урожайность рапса при применении цеолита как в чистом виде, так и обогащенного аминокислотами и карбамидом, в два года из 3-х лет исследований не уступала варианту с использованием минеральных удобрений. Последнее подтверждает высокую эффективность высококремнистых пород, в данном случае цеолита, в системе удобрения сельскохозяйственных культур. Аналогичные результаты получены нами при применении их в технологии

возделывания других сельскохозяйственных культур (озимой пшеницы, кукурузы, сои, проса) [13, 17, 18, 19].

Закключение

1. Внесение в почву цеолита Юшанского месторождения Ульяновской области, в том числе обогащённого аминокислотами и карбамидом в дозах 250 и 500 кг/га, способствовало значительному улучшению питательного режима почвы. При этом содержание минеральных форм азота ($\text{NO}_3 + \text{NH}_4$) в течение всего вегетационного периода было выше контрольного варианта на 0,2...1,6 мг/кг, P_2O_5 на 5...12 мг/кг, K_2O на 3...13 мг/кг почвы.

2. Цеолит (соответственно удобрения на его основе) обладает несомненной нейтрализующей

кислотность почвы способностью: снижение обменной кислотности при внесении его в почву составило 0,5-0,6 единиц $\text{pH}_{\text{ккл}}$.

3. Применение цеолита в качестве удобрения на чернозёме выщелоченном в дозах 250 и 500 кг/га сопровождалось повышением урожайности семян рапса в среднем за 3 года на 0,23...0,27 т/га (26 и 31 %). Удобрения на его основе, полученные обогащением его аминокислотами и карбамидом, обеспечили прибавку урожайности на 0,30...0,36 т/га (35 и 41 %). При этом урожайность рапса практически не уступала варианту с применением полных доз минеральных удобрений.

Литература

1. Матыченков, В. В., Бочарникова Е. А., Аммосова Я. М. Влияние кремниевых удобрений на растение и почву // *Агрохимия*. 2002. № 2. С. 86–93.
2. Бочарникова, Е. А., Матыченков В. В., Кремниевые удобрения и мелиоранты: история изучения, теория и практика применения // *Агрохимия*. 2011. № 7. С. 84-96.
3. Куликова А. Х. Кремний и высококремнистые породы в системе удобрения сельскохозяйственных культур. Ульяновск, 2013. 176 с. ISBN 978-5-905970-04-7.
4. Самсонова Н. Е., Козлов Ю. В., Капустина М. В. Эффективность природного высококремнистого цеолита при возделывании кукурузы в условиях западной части центрального Нечерноземья // *Агрохимия*. 2016. № 3. С. 23–31.
5. Understanding the dynamics of silicon in plant and soil are essential for establishing silicon fertilization guidelines / B. Tubana, T. Badu, B. White, et al // 7th Inter. Conf. Silicon Agricult. Proced. Abstracts India. 2017. P. 10.
6. Artyzak, A. Effect of silicon fertilization on crop yield quantity and quality – a literature review in Europe / A. Artyzak // *Plants*. 2018. Vol. 7 (54). P. 1–17.
7. Самсонова, Н. Е. Кремний в растительных и животных организмах / Н. Е. Самсонова // *Агрохимия*. 2019. № 1. С. 86–96.
8. Рябов А. Е., Чекаев А. Е. Пищевой режим чернозема выщелоченного и урожайность сельскохозяйственных культур при использовании диатомита и удобрений // *Нива Поволжья*. 2018. № 1 (46). С. 67–74.
9. Кузин Е. Н., Арефьев А. Н., Кузина Е. Е. Влияние осадков городских сточных вод и их сочетаний с цеолитсодержащей агрорудой на плодородие лугово-черноземной почвы и продуктивность зернопаропропашного севооборота // *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. 2019. № 3 (47). С. 34-40.
10. Влияние диатомита и птичьего помета на физико-химические свойства серой лесной почвы и продуктивность сельскохозяйственных культур / К. Ю. Ковальский, А. Н. Арефьев, Е. Н. Кузин и др. // *Нива Поволжья*. 2022. №1 (61). С. 01005.
11. Козлов, А. В. Роль кремниевых соединений и пород в функционировании почвенно-поглощающего комплекса и микробно-ферментной системы дерново-подзолистой почвы: спец. 03.12.12: диссертация на соискание ученой степени доктора биологических наук / Козлов Андрей Владимирович ; ФГБОУ ВО Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева. Москва, 2022. 508 с.
12. Куликова, А. Х., Яшин Е. А., Черкасов М. С. Эффективность цеолита, в том числе модифицированного, в качестве удобрения кукурузы // *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. 2020. № 3 (51). С. 76–84.
13. Черкасов, М. С. Влияние цеолита и удобрений на его основе на урожайность кукурузы на зерно и свойства чернозема выщелоченного в Среднем Поволжье: спец. 4.1.3: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук / Черкасов Михаил Сергеевич. Ульяновск. 2023. 16 с.
14. Матыченков, И. В. Взаимное влияние кремниевых, фосфорных и азотных удобрений в системе почва-растение: спец. 06.01.04: диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук / Матыченков Иван Владимирович; Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова. Факультет почвоведения. Москва. 2014. 136 с.
15. Бочарникова, Е. А. Влияние диатомита на подвижность и доступность растениям фосфора / Кремний жизнь. Кремнистые породы в сельском хозяйстве: материалы Национальной научно-практической конференции с международным участием. Ульяновск. 2021. С. 20-21.
16. Прокошев В. В., Дерюгин И. П. Калий и калийные удобрения. Москва: ЛЕ-ДУМ, 2000. 185 с.
17. Эффективность удобрений на основе цеолита в технологии возделывания сои в условиях лесостепи Поволжья / А. Х. Куликова, Н. Г. Захаров, Н. А. Хайртдинова и др. // *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. 2022. № 4 (60). С. 38-44.

18. Эффективность цеолита и цеолита, обогащенного аминокислотами, в качестве удобрения проса / А. Х. Куликова, Е. А. Яшин, А. С. Ромашкин и др. // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2022. № 3 (59). С. 120-124.

19. Волкова Е. С. Баланс элементов питания в почве и урожайность озимой пшеницы на фоне внесения кремниевых удобрений на черноземах лесостепи Поволжья / Кремний жизнь. Кремнистые породы в сельском хозяйстве: материалы Национальной научно-практической конференции с международным участием. Ульяновск, 2021. С. 32-41.

References

1. Matychenkov, V.V., Bocharnikova E.A., Ammosova Ya.M. Effect of silicon fertilizers on plants and soil // Agrochemistry. 2002. № 2. P. 86–93.

2. Bocharnikova, E. A., Matychenkov V. V., Silicon fertilizers and ameliorants: history of study, theory and practice of application // Agrochemistry. 2011. № 7. P. 84-96.

3. Kulikova A. Kh. Silicon and high-siliceous rocks in fertilization system of agricultural crops. – Ulyanovsk, 2013. 176 p. ISBN 978-5-905970-04-7.

4. Samsonova N. E., Kozlov Yu. V., Kapustina M. V. Efficiency of natural high-silicon zeolite for cultivation of corn in the western part of the central Non-Black Soil Region // Agrochemistry. 2016. № 3. P. 23–31.

5. Understanding the dynamics of silicon in plant and soil are essential for establishing silicon fertilization guidelines / B. Tubana, T. Badu, B. White, et al // 7th Inter. Conf. Silicon Agriculture. Proced. Abstracts India. 2017. P. 10.

6. Artyzak, A. Effect of silicon fertilization on crop yield quantity and quality – a literature review in Europe / A. Artyzak // Plants. 2018. Vol. 7(54). P. 1–17.

7. Samsonova, N. E. Silicon in plant and animal organisms / N. E. Samsonova // Agrochemistry. – 2019. – № 1. – P. 86–96.

8. Ryabov A. E., Chekaev A. E. Nutritional regime of leached black soil and crop yields when using diatomite and fertilizers // Niva of the Volga region. 2018. № 1 (46). P. 67–74.

9. Kuzin E. N., Arefiev A. N., Kuzina E. E. The influence of urban wastewater sediments and their combinations with zeolite-containing agricultural ore on fertility of meadow-black soil and productivity of grain-fallow crop rotation // Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2019. № 3 (47). P. 34-40.

10. The influence of diatomite and poultry manure on physical and chemical properties of gray forest soil and productivity of agricultural crops / K. Yu. Kovalsky, A. N. Arefiev, E. N. Kuzin et. alt. // Niva of the Volga region. 2022. № 1 (61). P. 01005.

11. Kozlov, A.V. The role of silicon compounds and rocks in functioning of the soil-absorbing complex and microbial-enzyme system of sod-podzolic soil: spec. 03.12.12: dissertation for the degree of Doctor of Biological Sciences / Andrey Vladimirovich Kozlov; Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev. – Moscow, 2022. – 508 p.

12. Kulikova, A. Kh., Yashin E. A., Cherkasov M. S. Efficiency of zeolite, including modified, as a corn fertilizer // Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2020. № 3 (51). – P. 76–84.

13. Cherkasov, M. S. The influence of zeolite and fertilizers based on it on corn yield for grain and the properties of leached black soil in the Middle Volga region: special. 4.1.3: abstract of the dissertation for the scientific degree of Candidate of Agricultural Sciences / Mikhail Sergeevich Cherkasov. Ulyanovsk, 2023.

14. Matychenkov, I.V. Mutual influence of silicon, phosphorus and nitrogen fertilizers in the soil-plant system: special. 06.01.04: dissertation for the scientific degree of Candidate of Biological Sciences / Matychenkov Ivan Vladimirovich; Moscow State University named after M.V. Lomonosov. Faculty of Soil Science. Moscow, 2014. 136 p.

15. Bocharnikova, E. A. The influence of diatomite on mobility and availability of phosphorus to plants / Silicon Life. Siliceous rocks in agriculture: materials of the National scientific and practical conference with international participation. Ulyanovsk, 2021. P. 20-21.

16. Prokoshev V.V., Deryugin I.P. Potassium and potassium fertilizers. – Moscow: LE-DUM, 2000. 185 p.

17. The effectiveness of zeolite-based fertilizers in technology of soybean cultivation in the forest-steppe conditions of the Volga region / A. Kh. Kulikova, N. G. Zakharov, N. A. Khairtdinova, et. alt. // Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2022. № 4 (60). P. 38-44.

18. The effectiveness of zeolite and zeolite enriched with amino acids as a fertilizer for millet / A. Kh. Kulikova, E. A. Yashin, A. S. Romashkin, etc. // Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2022. № 3(59). P. 120-124.

19. Volkova E. S. Balance of nutrients in the soil and yield of winter wheat against the background of silicon fertilizers on the black soils of the Volga forest-steppe / Silicon Life. Siliceous rocks in agriculture: materials of the National scientific and practical conference with international participation. Ulyanovsk, 2021. P. 32-41.