

Эффективность органоминерального удобрения на основе диатомита и куриного помета при возделывании ячменя

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»

П. П. Смирнов, аспирант кафедры «Почвоведение, химия, биология и технологии переработки продукции растениеводства»

ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ

432017, бульвар Новый венец, 1

✉agroec@yandex.ru

Резюме. В работе изложены результаты изучения влияния диатомита и органоминерального удобрения на основе диатомита и куриного помета на агрохимические показатели чернозема типичного и урожайность ячменя. Исследования проведены в 2022-2024 гг. на опытном поле в Ульяновской области. Схема опыта включала следующие варианты: 1. Контроль (естественный фон); 2. Диатомит 250 кг/га; 3. Диатомит 500 кг/га; 4. Органоминеральное удобрение на основе диатомита и куриного помета 250 кг/га; 5. Органоминеральное удобрение на основе диатомита и куриного помета 500 кг/га; 6. $N_{40}P_{40}K_{40}$ (NPK) 7. Диатомит 250 кг/га + NPK; 8. Диатомит 500 кг/га + NPK; 9. Органоминеральное удобрение на основе диатомита и куриного помета 250 кг/га + NPK; 10. Органоминеральное удобрение на основе диатомита и куриного помета 500 кг/га + NPK. Диатомит и органоминеральное удобрение оказали положительное влияние на агрохимическое состояние почвы: содержание в пахотном слое почвы минерального азота ($N-NO_3+N-NH_4$) повышалось на 0,6...5,3 мг/кг, доступных фосфора (P_2O_5) на 3...26 мг/кг, калия (K_2O) на 10...33 мг/кг, меди на 0,2...0,4 мг/кг, цинка на 0,02...0,05 мг/кг, марганца на 0,5...6,1 мг/кг почвы. Органоминеральное удобрение при применении с дозой 500 мг/кг по эффективности превосходит минеральное удобрение как по улучшению питательного режима почвы, так и формированию урожайности зерна ячменя. При этом, если урожайность культуры на фоне NPK в среднем за 3 года составила 4,32 т/га, то органоминерального удобрения – 4,72 т/га (на контроле 3,50 т/га).

Ключевые слова: диатомит, куриный помет, органоминеральное удобрение, агрохимические показатели почвы, ячмень, урожайность.

Для цитирования: Куликова А. Х., Е. А. Яшин, Смирнов П. П. Эффективность органоминерального удобрения на основе диатомита и куриного помета при возделывании ячменя // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2024. № 4 (68). С. 82-89. doi:10.18286/1816-4501-2024-4-82-89

Efficiency of organomineral fertilizer based on diatomite and chicken manure in barley cultivation

A. Kh. Kulikova✉, **E. A. Yashin**, **P. P. Smirnov**

FSBEI HE Ulyanovsk State Agricultural University

432017, Ulyanovsk, Novyi Venets Boulevard, 1

✉agroec@yandex.ru

Abstract. The paper presents results of the effect of diatomite and organomineral fertilizer based on diatomite and chicken manure on agrochemical parameters of typical black soil and barley yield. The studies were conducted in 2022-2024 on an experimental field in Ulyanovsk region. The experimental scheme included the following variants: 1. Control (natural background); 2. Diatomite 250 kg/ha; 3. Diatomite 500 kg/ha; 4. Organomineral fertilizer based on diatomite and chicken manure 250 kg/ha; 5. Organomineral fertilizer based on diatomite and chicken manure 500 kg/ha; 6. $N_{40}P_{40}K_{40}$ (NPK) 7. Diatomite 250 kg/ha + NPK; 8. Diatomite 500 kg/ha + NPK; 9. Organomineral fertilizer based on diatomite and chicken manure 250 kg/ha + NPK; 10. Organomineral fertilizer based on diatomite and chicken manure 500 kg/ha + NPK. Diatomite and organomineral fertilizer had a positive effect on the agrochemical state of the soil: the content of mineral nitrogen ($N-NO_3+N-NH_4$) in the arable soil layer increased by 0.6...5.3 mg/kg, available phosphorus (P_2O_5) by 3...26 mg/kg, potassium (K_2O) by 10...33 mg/kg, copper by 0.2...0.4 mg/kg, zinc by 0.02...0.05 mg/kg, manganese by 0.5...6, 1 mg/kg of soil. When applied at a dose of 500 mg/kg, organomineral fertilizer is more effective than mineral fertilizer in improving the soil nutritional regime and in increasing barley grain yield. Moreover, if the crop yield

was 4.32 t/ha against the background of NPK on average for 3 years, then in case of organomineral fertilizer it was 4.72 t/ha (control - 3.50 t/ha).

Keywords: diatomite, chicken manure, organomineral fertilizer, agrochemical parameters of soil, barley, productivity.

For citation: Kulikova A. Kh., Yashin E. A., Smirnov P. P. Efficiency of organomineral fertilizer based on diatomite and chicken manure in barley cultivation // Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy. 2024;4(68): 82-89 doi:10.18286/1816-4501-2024-4-82-89

Исследование выполнено согласно тематическому плану – заданию Министерства сельского хозяйства Российской Федерации, регистрационный номер ЕГИСУ НИОКР: 102204-1900083-4-4.1.6. (№168, 2022 г.).

Введение

Обеспечение оптимального уровня минерального питания в течение всей вегетации растений – важнейшая задача при возделывании любых сельскохозяйственных культур. Для ее решения важен учет потребностей растений в тех или иных элементах, а также фазы их развития и подбор таких удобрений, которые удовлетворяли бы эти требования. В этом отношении отдельные виды как минеральных, так и органических удобрений не всегда могут обеспечить питание растений в необходимом количестве и необходимом соотношении элементов в течение всего периода их жизни. В связи с этим целью нашего исследования являлась разработка состава и испытание органоминерального удобрения, обеспечивающего оптимальный питательный режим чернозема типичного при возделывании ячменя. Основными компонентами нового удобрения явились местные источники элементов питания растений: диатомит и куриный помет.

Выбор данных ресурсов в качестве основы нового удобрения обусловлен следующим. Прежде всего, необходимо остановиться на необходимости применения кремниевых (силикатных) удобрений при производстве сельскохозяйственной продукции. Кремний – элемент, который в агрохимии до последнего времени рассматривается как условно необходимый и не входит в двадцатку наиболее нужных растений. В то же время многочисленные исследования свидетельствуют о важнейшей роли его в жизнеобеспечении любого организма (растительного, животного, в том числе человека) [1, 2, 3].

Для нормального питания растений тем или иным элементом он должен находиться в почве в подвижной форме. Содержание кремния в почве высокое: от 20 % до 50 % и более в зависимости от гранулометрического состава и типа почв. Однако, несмотря на это, его доступность для растений низкая и содержание монокремниевой кислоты на любых почвах редко превышает 20 кг/га кремния [4]. Последнее обусловлено тем, что кремний в почве представлен различными алюмосиликатами и кварцем, которые отличаются высокой устойчивостью к выветриванию и растворяются медленно. Так как кремний постоянно отчуждается из почвы урожаем сельскохозяйственных культур, в любых почвах нарастает дефицит доступного кремния, что обуславливает необходимость применения (внесения в почву) кремниевых или силикатных удобрений.

Промышленность страны в широком масштабе кремниевые удобрения не производит. Однако в последние годы доказана (в том числе нами) высокая эффективность в этом качестве широко распространенных в природе кремниевых пород с высоким содержанием кремния [5, 6, 7].

Куриный помет – концентрированное ценное органическое удобрение: в сухом веществе помета в среднем содержится 4...6 % азота (N), 2...3 % фосфора (P_2O_5) и 2...2,5 % калия (K_2O). Важно отметить, что в птичьем помете элементы питания находятся в легкоусвояемой форме и по эффективности действия он не уступает минеральным удобрениям. Однако использование птичьего помета в качестве органического удобрения связано с определенными трудностями. Как правило, он складывается вблизи птицеводческих комплексов на ограниченной территории и представляет серьезную экологическую угрозу. Высокая влажность, вязкопластичная консистенция затрудняют его хранение, транспортировку и внесение. Применение отходов птицеводства в качестве удобрения становится нерентабельным [8, 9]. В связи с этим достаточно много предложений совместного применения птичьего помета с минеральными удобрениями и создание на его основе органоминеральных удобрений [9, 10, 11].

Важно отметить, что органоминеральное удобрение на основе диатомита и куриного помета позволит значительно безопасно утилизировать отходы птицеводства, обеспечить улучшение питательного режима почвы и минеральное питание растений сельскохозяйственных культур за счет местных биогенных элементов. Ульяновская область обладает почти четвертью запасов диатомита России, а куриный помет – постоянно возобновляемый ресурс.

Цель исследований – разработка состава и изготовление органоминерального удобрения на основе диатомита Инзенского месторождения Ульяновской области и куриного помета птицефабрики «Ульяновская» и установление его эффективности при возделывании ячменя.

Материалы и методы

Исследование по изучению эффективности органоминерального удобрения на основе диатомита и куриного помета проводили на опытном поле Ульяновского ГАУ имени П. А. Столыпина в 2022-2024 гг.

Исследованию подвергались:

диатомит Инзенского месторождения Ульяновской области. Химический состав его следующий:

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

SiO₂общ – 82,53 %; SiO₂аморф. – 42,00 %; Al₂O₃ – 7,88 %; CaO – 0,28 %; K₂O – 1,06 %; Fe₂O₃ – 2,41 %; MgO – 0,76 %; P₂O₅ – 0,05 %; SO₃ – 0,21 % и др. элементы;
куриный помет птицефабрики «Ульяновская».
Содержание на абсолютно сухое вещество: N – 5,33 %; P₂O₅ – 4,12 %; K₂O 1,67 %; CaO 3,60 %; MgO – 1,60 %;

органоминеральное удобрение на основе диатомита и куриного помета (соотношение компонентов 4:1) характеризовалось нейтральной реакцией среды (рН_{KCl} 7,4 единицы), содержание азота (общего) 1,07 %; P₂O₅ 0,82 %, K₂O 1,13 %, CaO 1,1 %, MgO 0,8 %;

ячмень сорта Камашевский селекции ТатНИИСХ ФИЦ КазНЦ РАН;

почва опытного поля – чернозем типичный среднесуглинистый с содержанием гумуса 4,0 %, подвижных фосфора и калия (по Чирикову) 145 и 90 мг/кг почвы соответственно;

минеральные удобрения: селитра аммиачная (N 34 %), суперфосфат двойной (P₂O₅ 45 %), калий хлористый (K₂O 60 %).

Схема полевого опыта включала 10 вариантов:

1. Контроль (естественный фон), условное обозначение – К; 2. Диатомит 250 кг/га – Д 250; 3. Диатомит 500 кг/га – Д 500; 4. Органоминеральное удобрение на основе диатомита и куриного помета 250 кг/га – ОМУ 250; 5. Органоминеральное удобрение на основе диатомита и куриного помета 500 кг/га – ОМУ 500; 6. N₄₀P₄₀K₄₀ – NPK; 7. Диатомит 250 кг/га + N₄₀P₄₀K₄₀ – Д 250+ NPK; 8. Диатомит 500 кг/га + N₄₀P₄₀K₄₀ – Д500+ NPK; 9. Органоминеральное удобрение на основе диатомита и куриного помета 250 кг/га + N₄₀P₄₀K₄₀ – ОМУ 250 + NPK; 10. Органоминеральное удобрение на основе диатомита и

куриного помета 500 кг/га + N₄₀P₄₀K₄₀ – ОМУ 500 + NPK;

Общая площадь делянки – 40 м² (4х10), учетная – 20 м² (2х10), расположение их рендомизированное, повторность – четырехкратная, учет урожая проводили с площади всей делянки прямым комбайнированием.

Методы определения в почвенных образцах: гумус ГОСТ 27213–91, обменная кислотность ГОСТ 26484–85, подвижный фосфор (по Чирикову) ГОСТ 26489–85, подвижный калий (по Чирикову) ГОСТ 50682–94, цинк ГОСТ 50686–94, медь ГОСТ 684–94, марганец ГОСТ 50682–94.

Экспериментальные удобрения вносили весной под предпосевную культивацию разбрасыванием вручную поделаячно.

Результаты

Любые удобрения, вносимые в почву, в первую очередь приводят к изменению содержания в ней доступных растениям элементов питания. В таблицах 1 и 2 представлены агрохимические показатели пахотного слоя чернозема типичного при применении экспериментальных удобрений в технологии возделывания ячменя (средние за 2022–2023 гг.).

Как диатомит, так и органоминеральное удобрение на основе диатомита и куриного помета способствуют значительному улучшению питательного режима почвы. При этом в пахотном слое почвы повышалось содержанием всех основных доступных макро – и микроэлементов: минерального азота на 0,6...5,3 (N– NO₃ + N–NH₄) мг/кг, фосфора (P₂O₅) на 3... 26 мг/кг, калия (K₂O) на 10... 33 мг/кг, меди на 0,2... 0,4 мг/кг, цинка на 0,02... 0,05 мг/кг, марганца на 0,5... 6,1 мг/кг почвы.

Таблица 1. Агрохимические показатели почвы под посевами ячменя

Вариант	рН _{KCl} , ед		N– NO ₃ +N– NH ₄ , мг/кг		P ₂ O ₅ , мг/кг		K ₂ O, мг/кг	
	содержание	± от контроля	содержание	± от контроля	содержание	± от контроля	содержание	± от контроля
К	6,25	-	11,4	-	157	-	85	-
Д 250	6,35	+0,10	12,0	+0,6	160	+3	95	+10
Д 500	6,40	+0,15	12,4	+1,0	165	+8	100	+15
ОМУ 250	6,40	+0,15	13,6	+2,2	166	+9	98	+13
ОМУ 500	6,45	+0,20	15,4	+4,0	170	+10	103	+18
NPK	6,30	+0,05	13,5	+2,1	173	+16	105	+20
Д 250+ NPK	6,35	+0,10	13,6	+2,2	172	+15	105	+20
Д 500+ NPK	6,35	+0,10	14,0	+2,6	175	+18	113	+28
ОМУ 250 + NPK	6,35	+0,10	15,6	+4,2	178	+21	105	+20
ОМУ 500 + NPK	6,50	+0,25	16,7	+5,3	183	+26	118	+33
НСР ₀₅	0,10		0,3		4		4	

Таблица 2. Содержание микроэлементов в почве под посевами ячменя, мг/кг

Вариант	Cu		Zn		Mn	
	содержание	± от контроля	содержание	± от контроля	содержание	± от контроля
К	3,6	-	0,29	-	10,7	-
Д 250	3,8	+0,2	0,29	-	11,2	+0,5
Д 500	3,8	+0,2	0,31	+0,02	12,1	+1,4
ОМУ 250	3,8	+0,2	0,32	+0,03	12,9	+2,2
ОМУ 500	4,0	+0,4	0,34	+0,05	13,2	+2,5
НPK	3,9	+0,3	0,32	+0,03	12,6	+1,9
Д 250 + NPK	3,8	+0,2	0,31	+0,02	13,2	+2,5
Д 500 + NPK	3,8	+0,2	0,32	+0,03	13,6	+2,9
ОМУ 250 + NPK	3,9	+0,3	0,33	+0,04	15,2	+4,5
ОМУ 500 + NPK	4,0	+0,4	0,34	+0,05	16,8	+6,1
НCP ₀₅	0,2		0,04		0,3	

Улучшение питательного режима почвы, несомненно, повлияло на формирование более высокой

урожайности культуры (табл. 3), значительно превышающей контрольный вариант.

Таблица 3. Влияние диатомита и органоминерального удобрения на урожайность ячменя

Вариант	Урожайность, т/га				Отклонение от контроля	
	2022 г.	2023 г.	2024 г.	средняя	т/га	%
К	4,28	3,27	3,14	3,50	-	-
Д 250	4,40	3,50	3,21	3,70	+0,14	4
Д 500	4,54	3,66	3,58	3,93	+0,37	10
ОМУ 250	4,78	3,80	3,60	4,06	+0,50	14
ОМУ 500	5,01	4,17	3,90	4,36	+0,80	22
NPK	4,83	4,19	3,94	4,32	+0,76	21
Д 250 + NPK	4,95	4,25	4,03	4,41	+0,85	24
Д 500 + NPK	5,09	4,33	4,16	4,53	+0,97	27
ОМУ 250 + NPK	5,21	4,41	4,26	4,63	+1,07	30
ОМУ 500 + NPK	5,32	4,50	4,35	4,72	+1,16	33
НCP ₀₅	0,14	0,12	0,17			

В среднем за 3 года, разных по климатическим условиям вегетации, при внесении в почву диатомита в качестве удобрения урожайность зерна ячменя повысилась на 0,14 и 0,37 т/га (4 и 10 %). Последнее свидетельствует о высокой отзывчивости ячменя на кремниевое питание. При совмещении диатомита с куриным пометом в органоминеральном удобрении прибавка урожайности увеличивалась более 2-х раз и превзошла вариант с полным минеральным удобрением.

Значительное повышение урожайности зерна ячменя при применении диатомита и органоминерального удобрения на его основе обусловлено существенным улучшением питательного режима почвы, о чем свидетельствуют уравнения зависимости урожайности культуры от содержания в пахотном слое почвы элементов питания в доступной форме (рис. 1, 2, 3).

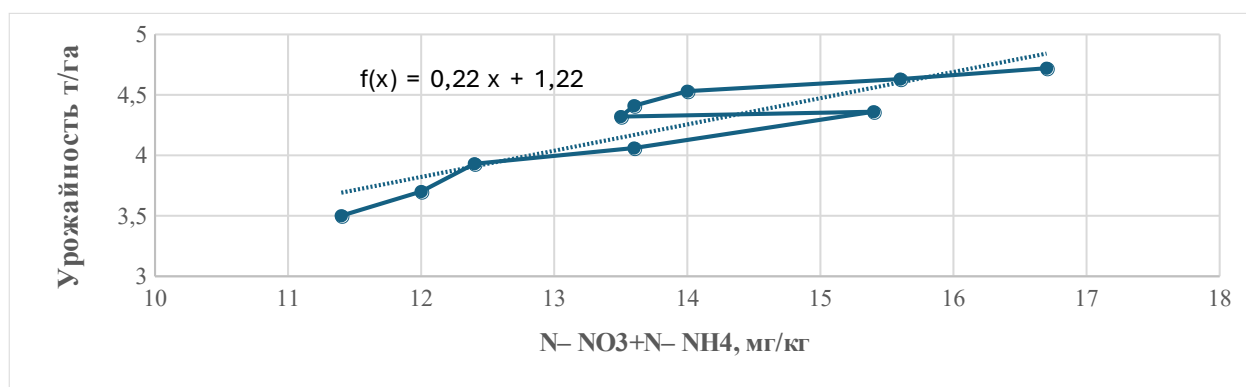
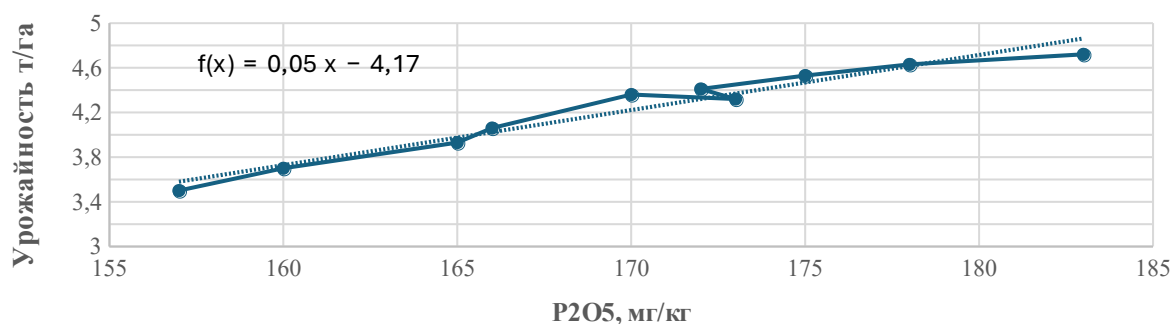
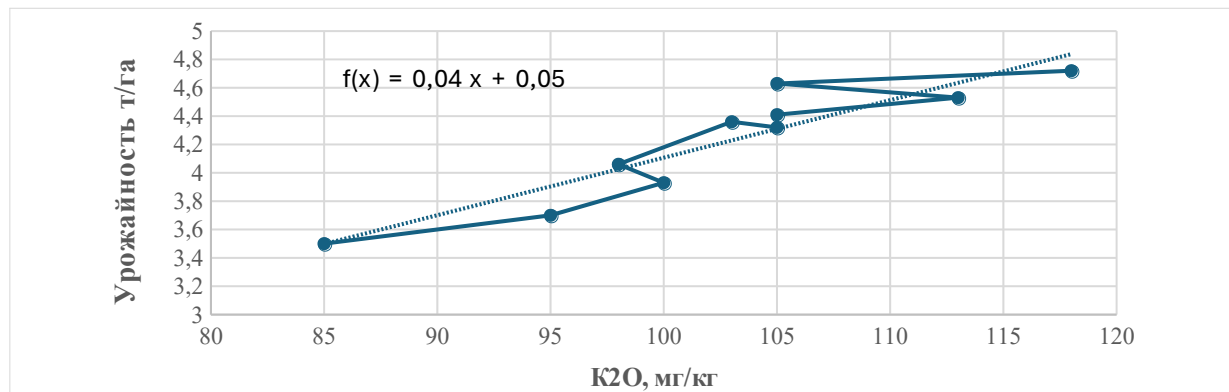
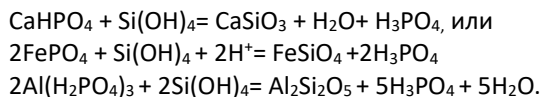


Рис. 1. Зависимость урожайности ячменя от содержания в почве минерального азота (N-NO₃+N-NH₄) в доступной форме

Рис. 2. Зависимость урожайности ячменя от содержания в почве фосфора (P₂O₅) в доступной формеРис. 3. Зависимость урожайности ячменя от содержания в почве калия (K₂O) в доступной форме

Обсуждение

При анализе данных, полученных в результате исследования, прежде всего обращает на себя внимание очень значительное повышение в пахотном слое почвы доступных растениям фосфора и калия: на 3...26 и 10...33 мг/кг соответственно. При этом внесение в почву диатомита в чистом виде способствовало повышению доступности данных элементов растениям на 3...8 и 10...15 %. Что касается фосфора, большинство исследователей [12, 13, 14] считают, что при взаимодействии кремниевых и фосфорных соединений анион кремниевой кислоты может вытеснить фосфат – ион из труднорастворимых фосфорсодержащих соединений по следующей схеме:



Кроме того, диатомит с высоким содержанием кремния (в том числе аморфного) способствует улучшению физических и водно-физических свойств почвы и тем самым усилению деятельности почвенных микроорганизмов [14]. Микроорганизмы способны воздействовать на минеральную часть почвы, активно разлагать труднорастворимые минералы (силикаты, глинистые минералы, апатиты, фосфориты и др.) и таким образом высвобождать ряд элементов, которые становятся доступными растениям. Данные элементы, особенно фосфор и калий, присутствуют в значительном количестве в птичьем помете. и при внесении органоминерального удобрения на основе диатомита и куриного помета

существенно улучшается питательный режим почвы. В этом отношении органоминеральное удобрение превосходит минеральное.

Следует отметить, что при применении диатомита в качестве удобрения в чистом виде в пахотном слое заметно повышалось содержание нитратных и аммиачных форм азота (N–NO₃+N–NH₄) в зависимости от дозы внесения диатомита (250 и 500 кг/га) на 0,6 и 1,0 мг/кг почвы. Прежде всего, оно обусловлено отмеченным выше повышением при этом активности почвенных микроорганизмов, благодаря чему усиливаются процессы аммонификации, нитритфикации, связывание атмосферного азота [15].

При применении органоминерального удобрения, где второй компонент – куриный помет содержит более 5 % азота, ожидаемо азотное питание растений улучшалось еще в большей степени: содержание доступного азота было выше контроля на 2,2...4,0 мг/кг почвы, что превышает вариант с использованием минеральных удобрений.

Применение диатомита и органоминерального удобрения способствовало улучшению кислотно – основного состояния почвы. При внесении их в почву сдвиг реакции почвенного раствора в сторону нейтрализации водородных ионов составил от 0,1 до 0,2 единиц pH_{KCl}. Следовательно, реакция почвенной среды становится более оптимальной для культуры, так как ячмень лучше всего развивается при pH_{KCl} 6,8...7,5 единицы.

При внесении в почву диатомита отмечали также улучшение питания растений микроэлементами: медью, цинком и марганцем.

Органоминеральное удобрение в этом отношении превосходило минеральное удобрение.

Анализ результатов изучения влияния экспериментальных удобрений на агрохимические свойства чернозема типичного показывает, что органоминеральное удобрение на основе диатомита и куриного помета по улучшению питательного режима почвы превосходит минеральные удобрения.

Оптимальное минеральное питание растений – один из основных факторов реализации потенциальной урожайности сельскохозяйственных культур. Улучшение питательного режима почвы при внесении как диатомита и органоминерального удобрения, так и улучшения почвенной среды через оптимизацию реакции почвенного раствора способствовало формированию достаточно высокой урожайности зерна ячменя в разные по климатическим условиям годы: в среднем от 3,70 до 4,72 т/га.

В почве опытного поля наблюдается дефицит доступного кремния и содержание его не превышает 25...30 мг/кг почвы [15]. В связи с этим, внесение в почву диатомита даже в небольшой дозе (250 кг/га) улучшало кремниевое питание растений, способствовало повышению урожайности зерна ячменя на 0,14 т/га. При удвоении дозы диатомита прибавка урожайности составила более 2,5 раза, что убедительно доказывает необходимость применения кремниевых (силикатных) удобрений при возделывании ячменя.

Внесение в почву органоминерального удобрения сопровождалось значительным улучшением условий питания растений и соответствующим повышением урожайности культуры: на 0,50 и 0,80 т/га при возделывании на естественном и на 1,07 и 1,16 т/га – на минеральном фоне.

Данные о высокой эффективности птичьего помета и органоминеральных удобрений с его использованием приводятся в ряде работ [16, 17, 18, 19].

Результаты исследований свидетельствуют о высокой эффективности диатомита и органоминерального удобрения на основе диатомита и птичьего помета при возделывании ячменя в условиях лесостепи Поволжья.

Заключение

Как диатомит, так и органоминеральное удобрение на его основе и куриного помета способствуют значительному улучшению питательного режима чернозема типичного. При этом в пахотном слое почвы повышалось содержание минерального азота ($N-NO_3+N-NH_4$) на 0,6...5,3 мг/кг, доступных: фосфора (P_2O_5) на 3...26 мг/кг, калия (K_2O) на 10...33 мг/кг, меди на 0,2...0,4 мг/кг, цинка на 0,02...0,05 мг/кг, марганца на 0,5...6,1 мг/кг почвы. Органоминеральное удобрение при применении в дозе 500 кг/га по улучшению агрохимических свойств почвы превосходит минеральное удобрение.

Существенное улучшение агрохимического состояния почвы при внесении в нее диатомита и органоминерального удобрения сопровождалось прибавкой урожайности зерна ячменя от 0,14 т/га (диатомит в чистом виде дозой 250 кг/га) до 1,16 т/га (органоминеральное удобрение дозой 500 кг/га на фоне NPK). При применении ОМУ в дозе 500 кг/га урожайность ячменя не уступает варианту с использованием минеральных удобрений, а на фоне NPK – значительно превосходит его с внесением в почву как 250, так и 500 кг/га.

Литература

1. Tubana B. S., Babu T., Datnoff L. E. A review of silicon in soils and plants and its role in us agriculture: history and future perspectives // *Soil Science*. 2016. Vol 181 (9/10). P. 393–411.
2. Artyszak A. Effect of Silicon Fertilization on Crop Yield quantity and quality – A Literature Review in Europe // *Plants*. 2018. Vol. 7 (54). P. 1–17.
3. Самсонова Н. Е. Кремний в растительных и животных организмах // *Агрохимия*. 2019. №1. С. 86–96.
4. Перспективы использования кремниевых препаратов в сельском хозяйстве (обзор научной литературы) / В. В. Матыченков, Е. А. Бочарникова, Г. В. Пироговский и др. // *Почвоведение и агрохимия*. 2022. №1. С. 219–234.
5. Куликова А. Х., Карпов А. В., Яшин Е. А. Кремниевые породы в системе удобрения сельскохозяйственных культур. Ульяновск, 2020. 176 с.
6. Кузина Е. Е., Вершинин Ю. А. Влияние различных норм диатомита и их сочетаний с навозом на урожайность овощных культур // *Кремний и жизнь. Кремнистые породы в сельском хозяйстве: Материалы Национальной научно – практической конференции с Международным участием*, Ульяновск. 2021. С. 69–75.
7. Куликова А. Х. Влияние кремнистых пород на свойства почвы и урожайность сельскохозяйственных культур // *Агрохимия*. 2023. №12. С. 11–21.
8. Использование удобрений из куриного помета для выращивания органической продукции / А. С. Ганиев, Ф. С. Сибгатуллин, Б. Г. Зиганшин и др. // *Вестник Казанского государственного аграрного университета*. 2022. Т. 17, № 1(65). С. 9–14. doi: 10.12737/2073-0462-2022-9-14. EDN BAGTXU.
9. Практическое использование птичьего помета при возделывании озимой пшеницы / А. С. Ганиев, Ф. С. Сибгатуллин, З. М. Халиуллина, и др. // *Вестник НГИЭИ*. 2022. №10 (137). С. 38–47.
10. Влияние известковых материалов и их сочетаний с птичьим пометом на плодородие чернозема выщелоченного / Н. С. Очкина, А. Н. Арефьев, Е. Н. Кузин и др. // *Нива Поволжья*. 2023. № 1(65). С. 1011. doi:10.36461/NP.2023.65.1.013. EDN KTAVZZ.

11. Влияние экологически чистого органоминерального удобрения на плодородие почвы / Р. Нуров Реджепнур, К. Я. Аманов // Плодородие. 2021. №6. С. 29–33. doi: 10.25680/S19848603.2021.123.08.
12. Silicon increases phosphorus (P) uptake by wheat under low P acid soil conditions / L. Kostic, D. Bosnic, N. Nikolic, et al // Plant and Soil. 2017. Vol. 419 (1). P. 447–455.
13. Soratto R. P. Phosphorus and silicon on growth. Yield and phosphorus forms in potato plants // Journal of Plants Nutrition. 2019. 42 (3). P. 218–233.
14. Бочарникова Е. А. Влияние диатомита на подвижность и доступность растениям фосфора // Кремний и жизнь. Кремнистые породы в сельском хозяйстве: Материалы Национальной научно – практической конференции с Международным участием. Ульяновск. 2021. С. 20–25.
15. Куликова А. Х. Кремний и высококремнистые породы в системе удобрения сельскохозяйственных культур. Ульяновск. 2013. 176 с.
16. 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. doi: 10.36461/NP.2022.61.1.012. EDN DYPDAC.
17. Влияние подстилочного помета на продуктивность ячменя и почвенное плодородие в условиях Омской области / Т. А. Белуха, В. П. Кормин, А. С. Шмидт // Электронный научно-методический журнал Омского ГАУ. - 2017. №3 (10) июль – сентябрь. - URL <http://e-journal.omgau.ru/images/issues/2017/3/00365.pdf>. - ISSN 2413–4066
18. Изменение агрофизических свойств чернозема выщелочного в зависимости от применения местных кремнийсодержащих пород и удобрений / Н. П. Чекаев, А. Е. Рябов, Т. А. Власова и др. // Нива Поволжья. 2019. №4 (53). С. 93–101.
19. Формирование урожайности сельскохозяйственных культур и плодородия серой лесной почвы под влиянием диатомита и птичьего помета / А. Н. Арефьев, Е. Н. Кузин, О. Н. Кухарев и др. // Нива Поволжья. 2023. № 4(68). doi:10.36461/NP.2023.68.4.005. EDN PIOEIB.

References

1. Tubana B. S., Babu T., Datnoff L. E. A review of silicon in soils and plants and its role in us agriculture: history and future perspectives // Soil Science. 2016. Vol 181 (9/10). P. 393–411.
2. Artyszak A. Effect of Silicon Fertilization on Crop Yield Quantity and Quality – A Literature Review in Europe // Plants. 2018. Vol. 7 (54). P. 1–17.
3. Samsonova N. E. Silicon in Plant and Animal Organisms // Agrochemistry. 2019. No. 1. P. 86–96.
4. Prospects for usage of silicon preparations in agriculture (review of scientific literature / V. V. Matychenkov, E. A. Bocharnikova, G. V. Pirogovsky et al. // Soil Science and Agrochemistry. 2022. No. 1. P. 219–234.
5. Kulikova A. Kh., Karpov A. V., Yashin E. A. Silicon rocks in the fertilization system of agricultural crops. Ulyanovsk, 2020. 176 p.
6. Kuzina E. E., Vershinin Yu. A. Influence of various rates of diatomite and their combinations with manure on yield of vegetable crops // Silicon and Life. Siliceous rocks in agriculture: Proceedings of the National Scientific and Practical Conference with International Participation, Ulyanovsk. 2021. P. 69–75.
7. Kulikova A. Kh. Influence of siliceous rocks on soil properties and crop yields // Agrochemistry. 2023. No. 12. P. 11–21.
8. Usage of fertilizers from chicken manure for growing of organic products / A. S. Ganiev, F. S. Sibgatullin, B. G. Ziganshin, et al. // Vestnik of Kazan State Agrarian University. 2022. Vol. 17, No. 1(65). P. 9–14. doi: 10.12737/2073-0462-2022-9-14. EDN BAGTXU.
9. Practical usage of bird manure in winter wheat cultivation / A. S. Ganiev, F. S. Sibgatullin, Z. M. Khaliullina, et al. // Vestnik of Nizhny Novgorod State University of Engineering and Economics. 2022. No. 10 (137). P. 38–47.
10. The influence of calcareous materials and their combinations with poultry manure on fertility of leached black soil / N. S. Ochkina, A. N. Arefyev, E. N. Kuzin, et al. // Niva of the Volga Region. 2023. No. 1 (65). P. 1011. doi: 10.36461 / NP.2023.65.1.013. EDN KTAVZZ.
11. The influence of environmentally friendly organomineral fertilizer on soil fertility / R. Nurov Redzhepnur, K. Ya. Amanov // Soil Fertility. 2021. No. 6. P. 29–33. doi: 10.25680 / S19848603.2021.123.08.
12. Silicon increases phosphorus (P) uptake by wheat under low P acid soil conditions / L. Kostic, D. Bosnic, N. Nikolic, et al // Plant and Soil. 2017. Vol. 419 (1). P. 447–455.
13. Soratto R. P. Phosphorus and silicon on growth. Yield and phosphorus forms in potato plants // Journal of Plants Nutrition. 2019. 42 (3). P. 218–233.
14. Bocharnikova E. A. Effect of diatomite on mobility and availability of phosphorus to plants // Silicon and Life. Siliceous rocks in agriculture: Proceedings of the National Scientific and Practical Conference with International Participation. Ulyanovsk. 2021. P. 20–25.
15. Kulikova A. Kh. Silicon and high-siliceous rocks in fertilization system of agricultural crops. Ulyanovsk. 2013. 176 p.

16. 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. Arefyev, E.N. Kuzin et al. // Niva of the Volga Region. 2022. No. 1 (61). P. 01005. doi: 10.36461 / NP.2022.61.1.012. EDN DYPDAC.

17. The influence of litter manure on barley productivity and soil fertility in Omsk region / T. A. Belukha, V. P. Kormin, A. S. Schmidt // Electronic scientific and methodological journal of Omsk SAU. - 2017. - No. 3 (10) July - September. - URL <http://e-journal.omgau.ru/images/issues/2017/3/00365.pdf>. - ISSN 2413–4066

18. Changes in agrophysical properties of leached black soil depending on application of local silicon-containing rocks and fertilizers / N. P. Chekaev, A. E. Ryabov, T. A. Vlasova et al. // Niva of the Volga Region. 2019: No. 4 (53). P. 93–101.

19. Formation of crop yields and fertility of gray forest soil under the influence of diatomite and poultry manure / A. N. Arefyev, E. N. Kuzin, O. N. Kukharev et al. // Niva of the Volga Region. 2023. No. 4 (68). doi: 10.36461 / NP.2023.68.4.005. EDN PIOEIB.