

Изменение агрофизических свойств почвы и продуктивности сельскохозяйственных культур под влиянием диатомита и индюшиного помета

Е.Н. Кузин, доктор сельскохозяйственных наук, профессор;

А.Н. Арефьев[✉], доктор сельскохозяйственных наук, профессор;

Е.Е. Кузина, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

ФГБОУ ВО «Пензенский государственный аграрный университет», 440014, г. Пенза, улица Ботаническая, 30

[✉]aan241075@yandex.ru

Резюме. В качестве основной цели работы выступала комплексная оценка воздействия последствие различных норм кремнийсодержащего мелиоранта (диатомита) и их комбинаций с повторным (двукратным) внесением органического удобрения на основе подстилочного индюшиного помета на динамику агрофизических показателей серой лесной почвы и уровень продуктивности возделываемых культур в почвенно-климатических условиях лесостепной зоны Среднего Поволжья. Наибольшее снижение равновесной плотности и повышение общей пористости серой лесной почвы обеспечивало комбинированное последствие диатомита нормами 6...10 т/га и двукратного внесения индюшиного помета. На указанных вариантах плотность сложения пахотного слоя достигала агрономически оптимальных величин, варьируя в зависимости от года и возделываемой культуры от 1,23 до 1,28 г/см³, при этом достоверное уменьшение показателя по сравнению с контролем находилось в пределах 0,09...0,13 г/см³. Общая пористость на фоне применения этих агротехнических приемов превышала контрольные значения в агроценозе озимой пшеницы на 4,3...4,7 %, кукурузы – на 3,5...4,7 %, яровой пшеницы – на 3,9...5,4 %. Наиболее существенное влияние на накопление запасов продуктивной влаги в метровом слое почвы за счет осенне-зимних осадков оказало совместное использование диатомита и подстилочного индюшиного помета. На данных вариантах запасы продуктивной влаги в начале вегетации озимой пшеницы превышали контроль на 6,36...8,28 мм, перед посевом кукурузы – на 6,42...8,65 мм, перед посевом яровой пшеницы – на 7,1...8,6 мм. Наибольшая продуктивность звена севооборота была зафиксирована на вариантах с применением диатомита в сочетании с двукратным внесением подстилочного индюшиного помета. Суммарная продуктивность сельскохозяйственных культур звена зернопаропропашного севооборота на указанных вариантах опыта варьировала в пределах от 20,68 до 22,33 т/га зерновых единиц, что превышало контрольный вариант на 5,24...6,40 т/га зерновых единиц, или на 32,9...40,2 %.

Ключевые слова: серая лесная почва, диатомит, индюшиный помет, плотность, пористость, запас воды, продуктивность.

Для цитирования: Кузин Е.Н., Арефьев А.Н., Кузина Е.Е. Изменение агрофизических свойств почвы и продуктивности сельскохозяйственных культур под влиянием диатомита и индюшиного помета // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2026. № 2 (74). С. 57-64. doi:10.18286/1816-4501-2026-2-57-64

Changes in the agrophysical properties of soil and crop productivity under the influence of diatomite and turkey droppings

E.N. Kuzin, A.N. Arefiev[✉], E.E. Kuzina

Penza State Agrarian University

440014, Penza, Botany St. 30

[✉]aan241075@yandex.ru

Abstract. The main purpose of the work was a comprehensive assessment of the impact of the aftereffect of various norms of silicon-containing ameliorant (diatomite) and their combinations with repeated (two-fold) application of organic fertilizer based on turkey litter on the dynamics of agrophysical indicators of gray forest soil and the level of productivity of cultivated crops in the soil and climatic conditions of the forest-steppe zone of the Middle Volga region. The greatest decrease in the equilibrium density and an increase in the total porosity of the gray forest soil was provided by the combined aftereffect of diatomite at rates of 6...10 t/ha and double application of turkey manure. In these variants, the density of the arable layer reached agronomically optimal values, varying depending on the year and the crop under cultivation from 1.23 to 1.28 g/cm³, while a significant decrease in the indicator compared with the control was in the range of 0.09...0.13 g/cm³. The total porosity against the background of the use of these agrotechnical techniques exceeded the control values in the agroecosystem of winter wheat by 4.3...4.7%, corn – by 3.5...4.7%, spring wheat – by 3.9... 5.4%. The combined use of diatomite and turkey litter had the most significant effect on the accumulation of productive moisture reserves in the meter-high soil layer due to autumn-winter precipitation. In these variants, the reserves of productive moisture at the beginning of the growing season of winter wheat exceeded the control by 6.36...8.28 mm, before sowing corn – by 6.42...8.65 mm, before sowing spring wheat – by 7.1...8.6 mm. The highest productivity of the crop rotation link was recorded in variants using diatomite in combination with a double application of turkey litter. The total productivity of agricultural crops of the grain-to-crop rotation unit in these experimental variants ranged from 20.68 to 22.33 t/ha of grain

units, which exceeded the control variant by 5.24...6.40 t/ha of grain units, or by 32.9...40.2%. **Keywords:** gray forest soil, diatomite, turkey droppings, density, porosity, water supply, productivity.

For citation: Kuzin E.N., Arefiev A.N., Kuzina E.E. Changes in the agrophysical properties of soil and crop productivity under the influence of diatomite and turkey droppings // Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy. 2026.2 (74): 57-64 doi:10.18286/1816-4501-2026-2-57-64

Введение

Интенсификация сельскохозяйственного использования почв в настоящее время сопровождается существенным снижением уровня эффективного плодородия и, как следствие, падением продуктивности агроценозов. К числу приоритетных факторов, обуславливающих деградацию почвенного покрова, следует отнести сокращение валовых запасов гумуса, деградация, переуплотнение, подкисление почвенного профиля, а также ухудшение водного режима [1, 2].

В целях предотвращения и минимизации последствий антропогенной деградации почв актуальным направлением является применение региональных минерально-сырьевых источников, сочетающих доступную стоимость и мелиоративную ценность. В адаптивно-ландшафтном земледелии Поволжья значительный потенциал для массового применения имеют кремнистые и карбонатные породы: диатомиты, доломиты, мергели, а также цеолитсодержащие минералы, относящиеся к категории агрономических руд [3, 4].

Обобщение результатов предшествующих исследований показывает, что максимальная отдача от применения агропород местного происхождения реализуется в условиях их сочетания с органическими удобрениями, что обеспечивает синергетический эффект, выражающийся в росте почвенного плодородия, увеличении продуктивности сельскохозяйственных культур и улучшении качественных характеристик получаемой продукции. Исходя из этого, поиск и обоснование регламентов использования кремнийсодержащих пород в системах удобрения, ориентированных на сохранение и наращивание почвенного потенциала, приобретает высокую научно-практическую значимость [5-19].

Целью проведенных исследований являлось установление роли последствия различных норм кремнийсодержащего мелиоранта (диатомит, 4...10 т/га) и ее совместного использования с повторными нормами птичьего (индюшиного) помета в формировании оптимальных физических параметров серой лесной почвы – равновесной плотности, пористости и запасов продуктивной влаги, а также в повышении продуктивности агроценозов озимой пшеницы, кукурузы и яровой пшеницы.

Материалы и методы

Для достижения поставленной цели в 2018 г. на серой лесной почве в условиях лесостепи Среднего Поволжья был заложен полевой опыт. Схема опыта включала 10 вариантов: 1 – контроль (без диатомита и индюшиного помета); 2 – двукратное внесение индюшиного помета (ИП) по 10 т/га (2018 и 2021 гг.); 3-6 – последствие диатомита нормами 4, 6, 8 и 10 т/га (Д1-Д4); 7-10 – комбинированные варианты, где

нормы диатомита Д1-Д4 сочетались с двукратным внесением ИП по 10 т/га.

Полевые исследования охватывали временной интервал с 2018 по 2024 год. В опыте использовалась трехкратная повторность с рендомизированным расположением вариантов. Площадь, отведенная под учетную делянку, составляла 4 м².

В качестве кремнийсодержащего мелиоранта в работе использовалась агропорода (диатомит) Коржевского месторождения, расположенного в Никольском районе Пензенской области. Валовой химический состав диатомита (на абсолютно сухое вещество, в пересчете на оксиды) характеризовался следующими показателями: SiO₂ – 80,42 %; Al₂O₃ – 8,01 %; Fe₂O₃ – 2,46 %; MgO – 0,78 %; CaO – 0,26 %; K₂O – 1,00 %; P₂O₅ – 0,04 %; гигроскопическая влага – 3,14 %. Индюшиный помет (влажность 50 %) вносился в 2018 и 2021 годах из расчета 10 т/га сухого вещества и содержал: азота – 2,73 %, фосфора – 6,24 %, калия – 3,40 %.

В течение трех лет исследований (2022-2024 гг.) в звене зернопаропропашного севооборота возделывались: озимая пшеница (*Triticum aestivum* L.) Безостая 100 (2022 г.), кукуруза (*Zea mays* L.) гибрида ДКС 2972 (2023 г.) и яровая пшеница (*Triticum aestivum* L.) Гранни (2024 г.). Агроклиматические условия вегетационных периодов оценивались по гидротермическому коэффициенту Г.Т. Селянинова: в 2022 году его значение составило 1,37, в 2023 – 1,28, а в 2024 г. – 0,58, что соответствует засушливым условиям [20].

Агрофизические свойства почвы определяли по общепринятым методикам: плотность (слой 0-30 см) – методом режущих колец (Вадюнина, Корчагина, 1986), плотность твердой фазы – пикнометрически, общую пористость – расчетным путем (Ганжара и др., 2002). Влажность почвы измеряли в соответствии с ГОСТ 28268-89, отбирая образцы послойно через каждые 10 см до глубины 1 м. Запасы продуктивной влаги и суммарное водопотребление рассчитывали по формулам А.Н. Костякова (1960). Урожайность культур определяли методом сплошного поделночного учета с последующим взвешиванием. Статистическую обработку экспериментальных данных выполняли методом дисперсионного анализа с использованием пакетов программ Statistica 7.0 и Microsoft Excel.

Результаты

Динамика равновесной плотности пахотного слоя серой лесной почвы в зависимости от изучаемых агроприемов представлена в таблице 1. На контрольном варианте опыта в зависимости от года исследований и, соответственно, от возделываемой культуры (озимая пшеница, кукуруза и яровая пшеница) величина равновесной плотности на контроле (без диатомита и индюшиного помета) изменялась в пределах от 1,35 до 1,38 г/см³, что свидетельствует о переуплотнении

пахотного слоя серой лесной почвы. Внесение одного индюшиного помета обеспечило достоверное снижение плотности по отношению к контролю на 0,06...0,07 г/см³. Последствие диатомита в чистом виде способствовало снижению величины равновесной плотности, однако эффект был менее выражен и варьировал в зависимости от нормы: снижение составило от 0,01 до 0,06 г/см³, при этом наибольшее разуплотнение среди вариантов с моноприменением диатомита зафиксировано при нормах 8 и 10 т/га, где отклонение от контроля в 2024 г. достигало 0,06 г/см³.

Таблица 1. Влияние диатомита и индюшиного помета на равновесную плотность почвы, г/см³

Вариант	Озимая пшеница, 2022 г.		Кукуруза, 2023 г.		Яровая пшеница, 2024 г.	
	равновесная плотность	отклонение от контроля	равновесная плотность	отклонение от контроля	равновесная плотность	отклонение от контроля
К (без диатомита и индюшиного помета)	1,35	–	1,37	–	1,38	–
ИП	1,28	-0,07	1,30	-0,07	1,32	-0,06
Д1	1,34	-0,01	1,36	-0,01	1,36	-0,02
Д2	1,33	-0,02	1,35	-0,02	1,34	-0,04
Д3	1,31	-0,04	1,33	-0,04	1,32	-0,06
Д4	1,30	-0,05	1,32	-0,05	1,32	-0,06
Д1+ИП	1,27	-0,08	1,29	-0,08	1,29	-0,09
Д2+ИП	1,24	-0,11	1,28	-0,09	1,28	-0,10
Д3+ИП	1,23	-0,12	1,27	-0,10	1,26	-0,12
Д4+ИП	1,23	-0,12	1,25	-0,12	1,25	-0,13
НСР ₀₅		0,08		0,06		0,08

Наиболее выраженный разуплотняющий эффект наблюдался при комбинированном применении диатомита и индюшиного помета. На фоне совместного внесения этих мелиорантов происходило наибольшее снижение равновесной плотности почвы, причем величина эффекта возрастала с увеличением нормы диатомита. Так, на варианте Д3+ИП плотность почвы снижалась на 0,10...0,12 г/см³, а в варианте Д4+ИП – на 0,12...0,13 г/см³ по сравнению с контролем. На данных вариантах значения плотности в пределах 1,23...1,27 г/см³ приближались к оптимальным значениям для серых лесных почв. В ходе исследований наблюдалась определенная динамика равновесной плотности по годам, что связано с биологическими особенностями возделываемых культур и метеорологическими условиями вегетации. В агроценозе озимой пшеницы 2022 года диапазон варьирования плотности по вариантам составил от 1,23 до 1,35 г/см³, при этом наименьшая плотность отмечена в вариантах Д3+ИП и Д4+ИП – 1,23 г/см³, а значение НСР₀₅ равно 0,08 г/см³ позволяет считать различия между большинством вариантов с совместным внесением и контролем существенными.

В агроценозе кукурузы 2023 г. плотность почвы была несколько выше, чем под озимой пшеницей, что может объясняться меньшим проективным покрытием в начале вегетации и уплотняющим действием

осадков: на контроле плотность достигла 1,37 г/см³, тогда как на варианте Д4+ИП отмечено максимальное снижение до 1,25 г/см³, или на 0,12 г/см³ ниже контроля при НСР₀₅ = 0,06 г/см³.

В агроценозе яровой пшеницы 2024 г., к четвертому году последствия, тенденция сохранилась: на контроле плотность была максимальной за все годы исследований и составила 1,38 г/см³, а наименьшая плотность зафиксирована на варианте Д4+ИП – 1,25 г/см³, что на 0,13 г/см³ ниже контроля при НСР₀₅ = 0,08 г/см³.

Все изучаемые агроприемы способствуют снижению равновесной плотности серой лесной почвы по сравнению с контролем, однако наибольший и стабильный по годам разуплотняющий эффект обеспечивает комплексное применение диатомита, особенно нормами 8 и 10 т/га, в сочетании с индюшиным пометом, при этом достоверность полученных результатов подтверждена значениями наименьшей существенной разницы.

Сведения о влиянии последствия диатомита и повторного внесения индюшиного помета на общую пористость почвы приведены в таблице 2. Наименьшими значениями этого показателя во все годы исследований характеризовался контрольный вариант, где диатомит и помет не вносились. При этом выявлена четкая закономерность: величина общей пористости на контроле последовательно уменьшалась от 2022 г. (47,1%) к 2024 г. (45,9%), отражая, вероятно, естественное уплотнение почвы под влиянием агрогенных факторов и погодных условий. Повторное внесение одного индюшиного помета обеспечило увеличение пористости относительно контроля на 2,3...2,7 % в зависимости от года исследований.

Таблица 2. Влияние диатомита и индюшиного помета на величину общей пористости серой лесной почвы, %

Вариант	Озимая пшеница, 2022 г.		Кукуруза, 2023 г.		Яровая пшеница, 2024 г.	
	пористость	отклонение от контроля	пористость	отклонение от контроля	пористость	отклонение от контроля
К (без диатомита и индюшиного помета)	47,1	–	46,3	–	45,9	–
ИП	49,8	2,7	49,0	2,7	48,2	2,3
Д1	47,5	0,4	46,7	0,4	46,7	0,8
Д2	47,8	0,7	47,1	0,8	47,5	1,6
Д3	48,6	1,5	47,8	1,5	48,2	2,3
Д4	49,0	1,9	48,2	1,9	48,2	2,3
Д1+ИП	50,2	3,1	49,4	2,9	49,4	3,5
Д2+ИП	51,4	4,3	49,8	3,5	49,8	3,9
Д3+ИП	51,8	4,7	50,2	3,9	50,6	4,7
Д4+ИП	51,8	4,7	51,0	4,7	51,0	5,4
НСР ₀₅		3,8		2,9		3,5

Применение диатомита в чистом виде также способствовало росту общей пористости серой

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

лесной почвы показателя, причем эффект усиливался с увеличением нормы: если на варианте Д1 прибавка составляла всего 0,4...0,8 %, то на вариантах Д3 и Д4 отклонение от контроля достигало уже 1,5...2,3 %. Наилучшие показатели данного показателя получены при сочетании диатомита с индюшиным пометом. На этих вариантах зафиксировано наибольшее увеличение пористости, достигавшее максимума при высоких нормах диатомита: на варианте Д3+ИП прибавка к контролю составляла от 3,9 до 4,7 %, а на варианте Д4+ИП – от 4,7 до 5,4 % в зависимости от агроценоза.

В разрезе возделываемых в опыте культур прослеживается тенденция снижения общей пористости от первого года исследований к последнему, что особенно заметно на контроле, где без применения мелиорантов пористость уменьшилась с 47,1 % под озимой пшеницей до 45,9 % -под яровой пшеницей. В агроценозе озимой пшеницы 2022 года диапазон варьирования пористости по вариантам составил от 47,1 % на контроле до 51,8 % на вариантах Д3+ИП и Д4+ИП при НСР₀₅ = 3,8 %, что подтверждает достоверность полученных прибавок на вариантах с совместным внесением удобрений. В агроценозе кукурузы 2023 года общая пористость на контроле снизилась до 46,3 %, тогда как на варианте Д4+ИП она достигла 51,0 %, превысив контроль на 4,7 % при НСР₀₅ = 2,9 %. В агроценозе яровой пшеницы 2024 г., к четвертому году последствия, контрольный показатель составил уже 45,9 %, а максимальное значение 51,0 % отмечено на варианте Д4+ИП, где превышение над контролем достигло 5,4 % при НСР₀₅ = 3,5 %.

Анализ табличных данных показывает, что все изучаемые агроприемы способствуют увеличению общей пористости серой лесной почвы по сравнению с контролем, причем наибольший и стабильный по годам эффект обеспечивает комплексное применение диатомита нормами 8...10 т/га совместно с индюшиным пометом.

Применение мелиорантов, в частности диатомита и органических удобрений, оказывает существенное влияние на накопление и сохранение продуктивной влаги в почве [21].

Данные, представленные в таблице 3, характеризуют влияние диатомита и индюшиного помета на запас продуктивной влаги в почве на начало вегетации озимой пшеницы в 2022 г. Все изучаемые агроприемы способствовали увеличению влагозапасов как в пахотном слое 0...30 см, так и в метровом слое почвы относительно контрольного варианта, где диатомит и индюшиный помет не применялись. На контрольном варианте величина запасов продуктивной влаги в пахотном слое (0...30 см) достигала 33,52 мм, в то время как в метровом слое (0...100 см) этот показатель составлял 147,28 мм. Повторное внесение индюшиного помета приводило к увеличению запасов продуктивной влаги в серой лесной почве соответственно на 1,80 мм и 3,18 мм. При последствии диатомита также фиксировалось повышение влагозапасов, причем наблюдалась зависимость от нормы

мелиоранта: по сравнению с контролем прибавка в метровом слое на варианте Д1 равнялась 3,26 мм, на Д2 – 3,18 мм, на Д3 – 4,53 мм, а наибольшее значение (5,09 мм) отмечено в варианте Д4, где увеличение в слое серой лесной почвы 0...30 см составило 3,44 мм.

Таблица 3. Запас продуктивной влаги, мм (начало вегетации озимой пшеницы, 2022 г.)

Вариант	Слой почвы, см			
	0-30		0-100	
	ЗПВ	отклонение от контроля	ЗПВ	отклонение от контроля
К (без диатомита и индюшиного помета)	33,52	–	147,28	–
ИП	35,32	1,80	150,46	3,18
Д1	35,23	1,71	150,54	3,26
Д2	35,60	2,08	150,46	3,18
Д3	35,96	2,44	151,81	4,53
Д4	36,96	3,44	152,37	5,09
Д1+ИП	36,62	3,10	152,09	4,81
Д2+ИП	37,24	3,72	153,64	6,36
Д3+ИП	37,88	4,36	155,26	7,98
Д4+ИП	38,80	5,28	155,56	8,28
НСР ₀₅		2,35		7,36

Наиболее высокие показатели влагонакопления отмечены при комбинированном использовании диатомита и индюшиного помета. Сочетание данных мелиорантов обеспечило максимальное увеличение запасов продуктивной влаги как в пахотном слое, так и в метровом слое серой лесной почвы. На варианте Д1+ИП запас влаги в метровом слое превышал контроль на 4,81 мм, на варианте Д2+ИП – на 6,36 мм, на варианте Д3+ИП – на 7,98 мм, а максимальное значение зафиксировано на варианте Д4+ИП, где отклонение от контроля в слое 0...100 см составило 8,28 мм при прибавке в пахотном слое 5,28 мм. Следует отметить, что на вариантах с совместным внесением диатомита и индюшиного помета запас продуктивной влаги в метровом слое достигал 152,09...155,56 мм против 147,28 мм на контроле. Достоверность полученных результатов подтверждается значениями наименьшей существенной разницы, которая для слоя 0...30 см составила 2,35 мм, а для слоя 0...100 см – 7,36 мм, что позволяет считать прибавки на вариантах Д3, Д4, а также на всех вариантах совместного применения диатомита и индюшиного помета статистически достоверными.

Таким образом, полученные данные позволяют заключить, что к началу весенней вегетации озимой пшеницы максимальные запасы продуктивной влаги формировались на фоне последствия диатомита нормами 8...10 т/га и при его комплексном применении с птичьим пометом.

В таблице 4 представлены данные о запасах продуктивной влаги в серой лесной почве перед посевом кукурузы в 2023 г. На контрольном варианте запас влаги в пахотном слое составил 34,97 мм, в метровом – 155,11 мм. Повторное внесение индюшиного помета обеспечило увеличение данного показателя до

38,20 мм и 160,14 мм соответственно. При последствии диатомита наблюдалось возрастание влагозапасов, причем эффект усиливался с увеличением нормы: на варианте Д1 (4 т/га) прибавка в метровом слое составила 1,41 мм, на Д2 (6 т/га) – 3,36 мм, на Д3 (8 т/га) – 3,45 мм, а на Д4 (10 т/га) достигла 5,07 мм при отклонении от контроля в пахотном слое 1,98 мм. Наибольшие запасы продуктивной влаги в серой лесной почве наблюдались при совместном применении мелиорантов: в варианте Д1+ИП запас влаги в слое 0...30 см составил 38,48 мм, в метровом – 159,91 мм; в варианте Д2+ИП – 39,06 мм и 161,53 мм; в варианте Д3+ИП – 40,00 мм и 163,76 мм; в варианте Д4+ИП – 40,32 мм и 163,32 мм.

Таблица 4. Запас продуктивной влаги, мм (перед посевом кукурузы, 2023 г.)

Вариант	Слой почвы, см			
	0-30		0-100	
	ЗПВ	отклонение от контроля	ЗПВ	отклонение от контроля
К (без диатомита и индюшиного помета)	34,97	–	155,11	–
ИП	38,20	3,23	160,14	5,03
Д1	35,64	0,67	156,52	1,41
Д2	36,30	1,33	158,47	3,36
Д3	36,62	1,65	158,56	3,45
Д4	36,95	1,98	160,18	5,07
Д1+ИП	38,48	3,51	159,91	4,80
Д2+ИП	39,06	4,09	161,53	6,42
Д3+ИП	40,00	5,03	163,76	8,65
Д4+ИП	40,32	5,35	163,32	8,21
НСР ₀₅		2,49		8,01

В слое почвы 0-30 см наибольшее увеличение влагозапасов относительно контроля обеспечило совместное применение диатомита и индюшиного помета. На варианте Д4+ИП прибавка составила 5,35 мм, на варианте Д3+ИП – 5,03 мм, на варианте Д2+ИП – 4,09 мм, на варианте Д1+ИП – 3,51 мм. Среди вариантов с отдельным применением мелиорантов наибольшее отклонение зафиксировано при повторном внесении индюшиного помета (ИП) – 3,23 мм, тогда как на вариантах последствием диатомита прибавки были существенно ниже: от 0,67 мм (Д1) до 1,98 мм (Д4).

В метровом слое почвы (0...100 см) наблюдалась аналогичная закономерность, однако абсолютные значения прибавок были выше. Максимальное увеличение влагозапасов относительно контроля наблюдалось на варианте Д3+ИП – 8,65 мм, на варианте Д4+ИП – 8,21 мм, на варианте Д2+ИП – 6,42 мм, на варианте Д1+ИП – 4,80 мм. На варианте с одним индюшиным пометом прибавка составила 5,03 мм. Среди вариантов с последствием диатомита наибольшее отклонение отмечено на Д4 – 5,07 мм, на остальных вариантах (Д1-Д3) прибавки варьировали от 1,41 до 3,45 мм.

Наименьшая существенная разница (НСР₀₅) для слоя почвы 0...30 см составила 2,49 мм, для

метрового слоя – 8,01 мм, что подтверждает достоверность полученных отклонений на ряде вариантов.

Таким образом, наибольший эффект по накоплению продуктивной влаги перед посевом кукурузы (2023 г.) как в пахотном, так и в метровом слоях обеспечивает последствие диатомита нормами 8...10 т/га в комплексе с индюшиным пометом.

Данные, представленные в таблице 5, отражают влияние последствия диатомита и индюшиного помета на запас продуктивной влаги в почве перед посевом яровой пшеницы в 2024 г., то есть на четвертый год последствия изучаемых агроприемов. Анализ полученных результатов подтверждает наличие положительного эффекта от применения мелиорантов на влагообеспеченность серой лесной почвы, при этом необходимо отметить, что значения влагозапасов на всех вариантах, включая контрольный, были ниже по сравнению с предыдущими годами исследований, что, вероятно, связано с гидротермическими условиями конкретного вегетационного периода.

Таблица 5. Запас продуктивной влаги, мм (перед посевом яровой пшеницы, 2024 г.)

Вариант	Слой почвы, см			
	0...30		0...100	
	ЗПВ	отклонение от контроля	ЗПВ	отклонение от контроля
К (без диатомита и индюшиного помета)	32,7	–	136,2	–
ИП	36,6	3,9	141,6	5,4
Д1	34,3	1,6	139,7	3,5
Д2	34,6	1,9	140,5	4,3
Д3	35,0	2,3	141,8	5,6
Д4	35,0	2,3	141,9	5,7
Д1+ИП	36,9	4,2	142,0	5,8
Д2+ИП	37,2	4,5	143,3	7,1
Д3+ИП	37,8	5,1	144,1	7,9
Д4+ИП	37,8	5,1	144,8	8,6
НСР ₀₅		2,0		7,0

На контрольном варианте (без диатомита и индюшиного помета) величина влагозапасов в слое 0...30 см составляла 32,7 мм, в слое 0...100 см – 136,2 мм. Последствием повторно внесенного индюшиного помета повышало запасы продуктивной влаги на 3,9 и 5,4 мм соответственно. Последствием диатомита также сопровождалось ростом влагообеспеченности, причем наблюдалась прямая зависимость эффекта от нормы: в метровом слое почвы прибавка варьировала от 3,5 мм (Д1) до 5,6...5,7 мм (Д3, Д4), тогда как в пахотном слое максимальное увеличение (2,3 мм) достигнуто при норме диатомита 10 т/га.

Наибольшее увеличение запасов продуктивной влаги отмечено в вариантах с комплексным внесением диатомита и индюшиного помета. Величина прибавки в этих условиях была выше, чем сумма эффектов, полученных при отдельном применении каждого из мелиорантов. На варианте Д1+ИП запас влаги в метровом слое превысил контроль на 5,8 мм, на варианте Д2+ИП – на 7,1 мм, на варианте Д3+ИП –

на 7,9 мм, а максимальное значение отмечено на варианте Д4+ИП, где отклонение от контроля в слое 0...100 см составило 8,6 мм при прибавке в пахотном слое 5,1 мм. Характерно, что на вариантах Д3+ИП и Д4+ИП запасы продуктивной влаги в метровом слое достигли 144,1 и 144,8 мм соответственно против 136,2 мм на контроле, что свидетельствует о способности изучаемых агроприемов улучшать влагонакопление даже спустя несколько лет после внесения. Достоверность полученных результатов подтверждается значениями наименьшей существенной разницы, которая для слоя 0...30 см составила 2,0 мм, а для слоя 0...100 см – 7,0 мм, что позволяет считать прибавки на вариантах ИП, Д3, Д4, а также на всех вариантах с совместным применением диатомита и индюшиного помета статистически значимыми.

Таким образом, анализ табличных данных показывает, что к четвертому году последствия изучаемые агроприемы продолжают оказывать положительное влияние на накопление продуктивной влаги, причем наибольшая эффективность достигается при комплексном использовании диатомита нормами 6...10 т/га с индюшиным пометом.

Данные, представленные в таблице 6, характеризуют влияние диатомита и индюшиного помета на суммарную продуктивность звена севооборота, включавшего озимую пшеницу, кукурузу и яровую пшеницу. Анализ полученных результатов показывает, что все изучаемые агроприемы обеспечили прирост продуктивности относительно контрольного варианта, где диатомит и индюшиный помет не применялись, однако величина этого прироста существенно различалась в зависимости от состава и доз вносимых мелиорантов. На контрольном варианте суммарная продуктивность звена севооборота составила 15,93 т/га зерновых единиц. Внесение одного индюшиного помета позволило увеличить данный показатель до 20,02 т/га з.ед., что на 4,09 т/га з.ед., или на 25,7 %, выше контроля. Применение диатомита в чистом виде также способствовало росту продуктивности, причем наблюдалась определенная зависимость от нормы: на варианте Д1 прибавка составила 0,65 т/га з.ед., или 4,1 %, на варианте Д2 – 1,00 т/га з.ед., или 6,3 %, на варианте Д3 продуктивность достигла 17,85 т/га з.ед., превысив контроль на 1,92 т/га з.ед., или на 12,1 %, а на варианте Д4 – 17,51 т/га з.ед., что выше контроля на 1,58 т/га з.ед., или на 9,9 %.

Наилучшие результаты по формированию суммарной продуктивности получены при совместном использовании диатомита и индюшиного помета, где эффект от комплексного применения оказался значительно выше, чем при раздельном внесении мелиорантов. На варианте Д1+ИП продуктивность составила 20,68 т/га з.ед., что на 4,75 т/га з.ед., или на 29,8 %, выше контроля, на варианте Д2+ИП – 21,17 т/га з.ед., с прибавкой 5,24 т/га з.ед., или 32,9 %, максимальное значение зафиксировано на варианте Д3+ИП, где суммарная продуктивность

достигла 22,33 т/га з.ед., превысив контроль на 6,40 т/га з.ед., или на 40,2%, на варианте Д4+ИП продуктивность составила 22,11 т/га з.ед., что выше контроля на 6,18 т/га з.ед., или на 38,8 %. Следует отметить, что на всех вариантах с комплексным использованием диатомита и индюшиного помета продуктивность превышала 20 т/га з.ед., тогда как на контроле этот показатель не достигал 15,93 т/га з.ед.

Таблица 6. Влияние диатомита и индюшиного помета на суммарную продуктивность звена зернопаропропашного севооборота

Вариант	Суммарная продуктивность, т/га з.ед.	Отклонение от контроля	
		т/га з.ед.	%
К (без диатомита и индюшиного помета)	15,93	–	–
ИП	20,02	4,09	25,7
Д1	16,58	0,65	4,1
Д2	16,93	1,00	6,3
Д3	17,85	1,92	12,1
Д4	17,51	1,58	9,9
Д1+ИП	20,68	4,75	29,8
Д2+ИП	21,17	5,24	32,9
Д3+ИП	22,33	6,40	40,2
Д4+ИП	22,11	6,18	38,8

Таким образом, наибольший эффект в повышении суммарной продуктивности звена зернопаропропашного севооборота обеспечивает комплексное применение диатомита нормами 6...10 т/га с индюшиным пометом, причем максимальная прибавка получена на варианте с диатомитом нормой 8 т/га в сочетании с пометом, где превышение контроля составило 40,2 %.

Заключение

На основании экспериментальных данных доказано, что наибольшее снижение равновесной плотности почвы достигалось при комплексном последствии диатомита (нормы 6...10 т/га) и двукратного внесения индюшиного помета. На этих вариантах опыта равновесная плотность пахотного слоя достигала оптимальных значений, составляя в агроценозе озимой пшеницы в период уборки 1,23...1,24 г/см³, в агроценозах кукурузы и яровой пшеницы – 1,25...1,28 г/см³. Снижение данного показателя относительно контроля являлось статистически достоверным и варьировало по годам исследований: в 2022 г. – на 0,11...0,12 г/см³, в 2023 г. – на 0,09...0,12 г/см³, в 2024 г. – на 0,10...0,13 г/см³.

Результаты исследований свидетельствуют, что наибольшее увеличение общей пористости пахотного слоя серой лесной почвы происходило при последствии диатомита (6...10 т/га) в комплексе с индюшиным пометом. Превышение контрольных значений по годам и культурам составляло: 4,3...4,7 % (2022 г., озимая пшеница), 3,5...4,7 % (2023 г., кукуруза), 3,9...5,4 % (2024 г., яровая пшеница).

Наибольшее увеличение запасов продуктивной влаги в метровом профиле серой лесной почвы обеспечивало комплексное использование диатомита и

подстилочного индюшиного помета. В данных вариантах опыта превышение над контролем в начале вегетации озимой пшеницы достигало 6,36...8,28 мм, перед посевом кукурузы – 6,42...8,65 мм, а перед посевом яровой пшеницы – 7,1...8,6 мм.

Наибольшая продуктивность звена зернопаро-пропашного севооборота зафиксирована при совместном применении диатомита и повторного внесения индюшиного помета. Суммарная продуктивность звена севооборота на данных вариантах опыта варьировала в пределах 20,68...22,33 т/га зерновых единиц, что превышало контрольный показатель на 5,24...6,40 т/га зерновых единиц или на 32,9...40,2 %.

Литература

1. Мишина З. А., Сурова Т. С. К вопросу о причинах снижения плодородия почвы земель сельскохозяйственного назначения // Азимут научных исследований: экономика и управление. 2020. Т. 9/ № 3(32). С. 349-353. doi: 10.26140/anie-2020-0903-0083. EDN NRRNONZ.
2. Использование агробιοлогических приемов и местных сырьевых ресурсов в земледелии / А. Н. Арефьев, Е. Е. Кузина, О. Н. Кухарев и др. Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2023. 253 с. ISBN 978-5-00196-186-4. EDN MFSHBY.
3. Влияние диатомита и его сочетаний с птичьим пометом на плодородие почвы и продуктивность сельскохозяйственных культур / А. Н. Арефьев, К. Ю. Ковальский, Е. Н. Кузин и др. // Молочнохозяйственный вестник. 2021. № 3(43). С. 8-20. doi: 10.52231/2225-4269_2021_3_8. EDN YCBJVT.
4. Кузина Е. Е., Арефьев А. Н., Кузин Е. Н. Последствие диатомита и его сочетаний с навозом на плодородие чернозема выщелоченного и урожайность моркови // Нива Поволжья. 2019. № 3(52). С. 111-116. EDN NIONTO.
5. 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.
6. Иванов В. В. Использование куриного помета как удобрение в сельском хозяйстве // Теория и практика мировой науки. 2021. № 9. С. 19-21. EDN SPKBCM.
7. Арефьев А. Н., Кузина Е. Е., Кузин Е. Н. Использование местных сырьевых ресурсов для повышения плодородия чернозема выщелоченного в лесостепном Поволжье. Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2023. 190 с. ISBN 978-5-00196-177-2. EDN VXCPXN.
8. Куликова А. Х. Кремний и высококремнистые породы в системе удобрения сельскохозяйственных культур. Ульяновская государственная сельскохозяйственная академия им. П.А. Столыпина. Ульяновск: Ульяновский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина, 2013. 176 с. ISBN 978-5-905970-04-7. EDN SBYECF.
9. Куликова А. Х. Влияние кремнистых пород на свойства почвы и урожайность сельскохозяйственных культур // Агрoхимия. 2023. № 12. С. 11-21. doi: 10.31857/S0002188123120104. EDN SRXNKR.
10. Козлов А. В., Куликова А. Х., Уромова И. П. Влияние диатомита на эффективное плодородие дерново-подзолистой почвы, урожайность и качество продукции сельскохозяйственных культур // Проблемы агрохимии и экологии. 2019. № 2. С. 24-30. doi: 10.26178/AE.2019.63.92.005. EDN PHKUAK.
11. Варламова Л. Д., Бахарев А. В., Сергеев В. В. Оценка эффективности кремнийсодержащих минералов при внесении под полевые культуры // Агрoхимический вестник. 2017. № 2. С. 21-24. EDN YKJSZN.
12. 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. EDN RMUZPG.
13. Никитин С. Н., Сайдяшева Г. В., Петров М. В. Урожайность озимой пшеницы при комплексном использовании органических удобрений с диатомитом и биопрепаратом // Достижения науки и техники АПК. 2017. Т. 31, № 4. С. 36-39. EDN YOSHUV.
14. Окорков В. В., Шукин Н. Н. Влияние куриного помета на изменение плодородия дерново-подзолистой почвы // Актуальные проблемы почвоведения, экологии и земледелия: Сборник докладов XV Международной научно-практической конференции Курского отделения МОО «Общество почвоведов имени В.В. Докучаева», Курск, 28–29 мая 2020 года. Курск: ФГБНУ «Курский ФАНЦ», 2020. С. 282-286. EDN WLMNOC.
15. Самсонова, Н. Е. Кремний в растительных и животных организмах // Агрoхимия. 2019. № 1. С. 86-96. doi: 10.1134/S0002188119010071. EDN YVTRSP.
16. Изменение агрофизических свойств серой лесной почвы под влиянием диатомита / И. М. Суханова, Р. Р. Газизов, Л. М. Х. Биккинина и др. // Владимирский земледелец. 2020. № 3(93). С. 34-37. doi: 10.24411/2225-2584-2020-10129. EDN MJHPIZ.
17. Уромова И. П., Козлов А. В. Влияние кремниевых регуляторов роста на продуктивность и качество урожая сельскохозяйственных культур // Естественные и технические науки. 2021. № 12 (163). С. 159-163. EDN QQAGXX.
18. Природоподобные агрохимические средства в вопросах обеспечения продовольственной безопасности и повышения плодородия почв / Д. М. Хомяков, К. Вэй, Ю. Ксионг и др. // Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение. 2020. № 2. С. 29-36. EDN GWNROJ.
19. Изменение показателей плодородия серой лесной почвы и продуктивность культур в звене севооборота при внесении удобрений / Р. С. Шакиров, З. М. Бикмухаметов, Ф. Ф. Хисамиев и др. // Вестник Казанского государственного аграрного университета.

2020. Т. 15. № 2(58). С. 59-65. doi: 10.12737/2073-0462-2020-59-65. EDN QJUESE.

20. Продуктивность сельскохозяйственных культур на фоне последствия диатомита и двукратного внесения птичьего помета / Д. А. Люлин, А. Н. Арефьев, Е. Н. Кузин и др. // *Нива Поволжья*. 2025. № 1(73). doi: 10.36461/NP.2025.73.1.016. EDN QSWVAN.

21. Арефьев А. Н., Кузин Е. Н., Кузина Е. Е. Влияние элементов биологического земледелия на водные свойства лугово-Черноземной почвы // *Нива Поволжья*. 2021. № 2(59). С. 55-61. doi: 10.36461/NP.2021.59.2.008. – EDN MINEZN.

References

1. Mishina Z. A., Surova T. S. On the issue of the causes of the decrease in soil fertility of agricultural lands // *Azimuth of scientific research: economics and management*. 2020. Vol. 9/ No. 3(32). P. 349-353. doi: 10.26140/anie-2020-0903-0083. EDN NRNONZ.

2. The use of agrobiological techniques and local raw materials in agriculture / A. N. Arefyev, E. E. Kuzina, O. N. Kukharev et al. Penza: Penza State Agrarian University, 2023. 253 p. ISBN 978-5-00196-186-4. EDN MFSHBY.

3. The influence of diatomite and its combinations with bird droppings on soil fertility and crop productivity / A. N. Arefyev, K. Y. Kovalsky, E. N. Kuzin et al. // *Dairy Bulletin*. 2021. No. 3(43). P. 8-20. doi: 10.52231/2225-4269_2021_3_8. EDN YCBJVT.

4. Kuzina E. E., Arefyev A. N., Kuzin E. N. The aftereffect of diatomite and its combinations with manure on the fertility of leached chernozem and carrot yields // *Niva of the Volga region*. 2019. No. 3(52). pp. 111-116. EDN NIONTO.

5. The use of fertilizers from chicken manure for growing organic products / A. S. Ganiev, F. S. Sibagatullin, B. G. Ziganshin and others // *Bulletin of Kazan State Agrarian University*. 2022. – Vol. 17, No. 1(65). P. 9-14. doi: 10.12737/2073-0462-2022-9-14. – EDN BAGTXU.

6. Ivanov V. V. The use of chicken manure as fertilizer in agriculture // *Theory and practice of world science*. 2021. No. 9. pp. 19-21. EDN SPKBCM.

7. Arefyev A. N., Kuzina E. E., Kuzin E. The use of local raw materials to increase the fertility of leached chernozem in the forest-steppe Volga region. Penza: Penza State Agrarian University, 2023. 190 p. ISBN 978-5-00196-177-2. EDN BXCPXN.

8. Kulikova A. H. Silicon and high-silica rocks in the fertilizer system of agricultural crops. Ulyanovsk State Agricultural Academy named after P.A. Stolypin. Ulyanovsk: Ulyanovsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin, 2013. 176 p. ISBN 978-5-905970-04-7. EDN SBYECF.

9. Kulikova A. H. The influence of siliceous rocks on soil properties and crop yields // *Agrochemistry*. 2023. No. 12. P. 11-21. doi: 10.31857/S0002188123120104. EDN SRXNKR.

10. Kozlov A.V., Kulikova A. Kh., Uromova I. P. The influence of diatomite on the effective fertility of sod-podzolic soil, yield and quality of agricultural crops //

Problems of agrochemistry and ecology. 2019. No. 2. P. 24-30. doi: 10.26178/AE.2019.63.92.005. EDN PHKUAU.

11. Varlamova L. D., Bakharev A.V., Sergeev V. V. Evaluation of the effectiveness of silicon-containing minerals when applied to field crops // *Agrochemical Bulletin*. 2017. No. 2. P. 21-24. EDN YKJSZN.

12. Prospects for the use of silicon preparations in agriculture (review of scientific literature) / V. V. Matychenkov, E. A. Bocharnikova, G. V. Pirogovskaya et al. // *Soil science and agrochemistry*. 2022. No. 1(68). P. 219-234. doi: 10.47612/0130-8475-2022-1(68)-219-234. EDN RmuzPG.

13. Nikitin S. N., Saidyasheva G. V., Petrov M. V. Productivity of winter wheat in the complex use of organic fertilizers with diatomite and biologics // *Achievements of science and technology of the agroindustrial complex*. 2017. Vol. 31, No. 4. P. 36-39. EDN YOSHUV.

14. Okorkov V. V., Shchukin N. N. The influence of chicken manure on changes in the fertility of sod-podzolic soil // *Actual problems of soil science, ecology and agriculture: Collection of reports of the XV International Scientific and practical Conference of the Kursk branch of the NGO "Society of Soil Scientists named after V.V. Dokuchaev"*, Kursk, May 28-29, 2020. Kursk: FGBNU "Kursky FANTS", 2020. P. 282-286. EDN WLMNOC.

15. Samsonova, N. E. Silicon in plant and animal organisms // *Agrochemistry*. 2019. No. 1. P. 86-96. doi: 10.1134/S0002188119010071. EDN YVTRSP.

16. Changes in the agrophysical properties of gray forest soil under the influence of diatomite / I. M. Sukhanova, R. R. Gazizov, L. M. H. Bikkinina et al. // *Vladimirsky husbandman*. 2020. No. 3(93). P. 34-37. doi: 10.24411/2225-2584-2020-10129. EDN MJHPIZ.

17. Uromova I. P., Kozlov A.V. The influence of silicon growth regulators on productivity and crop quality // *Natural and technical Sciences*. 2021. No. 12 (163). P. 159-163. EDN QQAGXX.

18. Natural-like agrochemical agents in matters of ensuring food security and increasing soil fertility / D. M. Khomyakov, K. Wei, Yu. Xiong et al. // *Bulletin of the Moscow University. Series 17: Soil Science*. 2020. No. 2. P. 29-36. EDN GWNROJ.

19. R. S. Shakirov, Z. M. Bikmukhametov, F. F. Khisamiev, et al., Changes in the fertility of gray forest soil and crop productivity in the crop rotation during fertilization, *Bulletin of the Kazan State Agrarian University*. 2020. Vol. 15. No. 2(58). P. 59-65. doi: 10.12737/2073-0462-2020-59-65. EDN QJUESE.

20. Productivity of agricultural crops against the background of the aftereffect of diatomite and double application of bird droppings / D. A. Lyulin, A. N. Arefyev, E. N. Kuzin et al. // *Field of the Volga region*. 2025. № 1(73). doi: 10.36461/NP.2025.73.1.016. EDN QSWVAN.

21. Arefyev A. N., Kuzin E. N., Kuzina E. E. The influence of elements of biological agriculture on the water properties of meadow-chernozem soil // *Niva of the Volga region*. 2021. No. 2(59). P. 55-61. doi: 10.36461/NP.2021.59.2.008. – EDN MINEZN.