

УДК 631.811.93:631.559

ВЛИЯНИЕ КРЕМНИЙСОДЕРЖАЩЕЙ АГРОРУДЫ (ДИАТОМИТА) НА УРОЖАЙНОСТЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР И КАЧЕСТВО РАСТЕНИЕВОДЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ

© 2023 г. Е. Н. Кузин¹, А. Н. Арефьев^{1,*}, Е. Е. Кузина¹

¹Пензенский государственный аграрный университет
440014 Пенза, ул. Ботаническая, 30, Россия

*E-mail: arefiev.a.n@pgau.ru

Поступила в редакцию 06.07.2023 г.

После доработки 12.08.2023 г.

Принята к публикации 15.09.2023 г.

В почвенно-климатических условиях лесостепи Среднего Поволжья научно обосновано и экспериментально доказано действие и последствие различных доз кремнийсодержащей агроруды (диатомита) и ее сочетаний с птичьим пометом на продуктивность сельскохозяйственных культур. Наибольший эффект влияния на продуктивность кукурузы, яровой пшеницы, однолетних трав обеспечивало комплексное действие и последствие кремнийсодержащей агроруды совместно с птичьим пометом. Урожайность зерна кукурузы в этих вариантах изменялась в пределах от 5.48 до 5.92, яровой пшеницы – от 3.12 до 3.33, сена однолетних трав – от 9.15 до 10.2 т/га. Суммарная продуктивность культур звена зернопаропропашного севооборота при использовании кремнийсодержащей агроруды (диатомита) в смеси с птичьим пометом варьировала в интервале от 13.0 до 14.1 т з.е./га, превышая контроль на 3.36–4.44 т з.е./га, или на 34.8–45.9%.

Ключевые слова: кремнийсодержащая агроруда (диатомит), птичий помет, кукуруза, яровая пшеница, вико-яровая, овес, урожайность, элементы структуры урожая.

DOI: 10.31857/S0002188123120116, **EDN:** IFXTPZ

ВВЕДЕНИЕ

Проблема устойчивого ведения сельскохозяйственного производства была и остается решающей в обеспечении продовольственной безопасности страны, особенно в условиях экономических санкций. В решении ее всегда придавалось и имеет большое значение применение удобрений, являющихся неотъемлемым фактором повышения урожайности [1, 2].

В агрохимии кремний рассматривается как условно нужный растениям элемент, не входящий в двадцатку наиболее необходимых. Однако, несмотря на высокое содержание кремния в почвах, его доступность для растений очень низкая. Вместе с тем имеются данные, свидетельствующие о важной роли этого элемента в повышении продуктивности сельскохозяйственных культур, в процессах формирования устойчивости растений к различным неблагоприятным факторам окружающей среды, положительном его влиянии на качество продукции и, в конечном итоге, на участие кремния в процессах жизнеобеспече-

ния сельскохозяйственных животных и человека [3–8].

Использование кремниевых удобрений и кремнийсодержащих мелиорантов важно с точки зрения восстановления природного баланса питательных элементов в системе почва–растения, снижения скорости деградационных почвенных процессов и получения стабильных урожаев высокого качества [9]. Цель работы – изучение эффективности применения кремнийсодержащей агроруды (диатомита) и птичьего помета на урожайность сельскохозяйственных культур и качество растениеводческой продукции.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование влияния кремнийсодержащей агроруды и ее сочетаний с птичьим пометом на урожайность культур звена зернопаропропашного севооборота проводили в стационарном опыте Пензенского ГАУ в условиях лесостепи Среднего Поволжья. Схема опытов включала вариант без применения диатомита и птичьего помета (контроль), а также внесение птичьего помета 10 т/га

(вариант — ПП), диатомита 4, 6, 8, 10 т/га (соответственно варианты Д1, Д2, Д3, Д4) и совместное их применение (соответственно варианты Д1 + ПП, Д2 + ПП, Д3 + ПП, Д4 + ПП).

Повторность опыта трехкратная, варианты в опыте размещались методом рендомизированных повторений. Учетная площадь одной делянки составляла 7.8 м². В опыте в качестве кремнийсодержащего удобрения использовали диатомит Коржевского месторождения, расположенного в Никольском р-не Пензенской обл., со следующим содержанием элементов (в окисной форме, % на абсолютно сухое вещество): Н₂О — 3.14, SiO₂ — 80.42, Al₂O₃ — 8.01, Fe₂O₃ — 2.46, СаО — 0.26, MgO — 0.78, К₂О — 1.00, Р₂О₅ — 0.04. В качестве органического удобрения использовали подстилочный птичий помет в дозе 10 т/га в пересчете на сухое вещество. Влажность птичьего помета равнялась 50%. Доза птичьего помета в физическом весе составляла 20 т/га. Содержание азота в птичьем помете было равно 2.73, фосфора — 6.24, калия — 3.40%. Диатомит и птичий помет были внесены под основную обработку почвы. В опыте возделывали кукурузу (*Zea mays* L.) гибрид Ладожский 175 МВ на зерно, яровую пшеницу (*Triticum aestivum* L.) сорта Гранни, вику яровую (*Vicia sativa* L.) сорта Льговская 22, овес (*Avena sativa* L.) сорта Конкур.

Погодные условия характеризовались следующими гидротермическими коэффициентами увлажнения Селянинова (ГТК): в 2019 г. ГТК составлял 0.77 (засушливый), в 2020 г. — 1.24 (обеспеченное увлажнение), в 2021 г. — 0.85 (засушливый).

Почва опытного участка была представлена серой лесной типичной среднесуглинистой глубоко-вскипающей легкосуглинистой почвой. Агротехника возделывания кукурузы, яровой пшеницы и однолетних трав в опыте была общепринятой для Пензенской обл.

Методы исследований включали закладку полевых опытов, проведение лабораторных анализов, учетов и наблюдений, урожайность сельскохозяйственных культур учитывали весовым методом поделочно, содержание клейковины в зерне пшеницы определяли по ГОСТ Р 54478-2011, качество зерна пшеницы определяли на приборе ИДК-3М, содержание протеина в зерне кукурузы — методом Кьельдаля (ГОСТ 32044.1-2012). Дисперсионный и корреляционно-регрессионный анализ результатов исследований проведен с использованием пакетов прикладных программ для статистической обработки Statistica 7.0 и Microsoft Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Главная задача растениеводства — увеличение продуктивности сельскохозяйственных культур и повышение качества растениеводческой продукции. В связи с этим эффективность технологического приема повышения плодородия почвы в первую очередь определяется его влиянием на урожайность полевых культур и качество продукции [10–12].

Птичий помет, различные дозы диатомита и их сочетания оказывают не только влияние на свойства почвы, определяющие ее эффективное плодородие, но и существенно повышают продуктивность сельскохозяйственных культур [13].

Кремнийсодержащая агроруда (диатомит) и ее внесение в комплексе с птичьим пометом оказали положительное влияние на основные элементы структуры урожая кукурузы. Аналогичные закономерности отмечены в ряде работ отечественных авторов [14–16]. При выращивании кукурузы на зерно длина початка в контрольном варианте равнялась 12.0 см, число зерен с одного початка составляло 183 шт., их масса — 53.0 г, масса 1000 зерен — 290 г (табл. 1).

Внесение птичьего помета в дозе 10 т/га в пересчете на сухое вещество увеличивало длину початка на 27.9, количество зерен в початке — на 28.5, их массу — на 40.9 и массу 1000 зерен — на 9.7%.

Длина початка в варианте с внесением кремнийсодержащей агроруды изменялась от 13.2 до 14.3 см, превышая контроль на 10.0–19.7%. Число зерен на их фоне варьировало от 217 до 231 шт., масса зерна с одного початка — от 65.9 до 71.7 г, достоверно превышая контроль в первом случае на 18.7–26.2%, во втором — на 24.4–35.4%. Масса 1000 зерен в этих вариантах опыта изменялась в пределах от 304 до 311 г, превышая контроль на 4.3–7.3%. Достоверное увеличение обеспечивали дозы кремнийсодержащей агроруды (диатомита) 8 и 10 т/га.

Использование кремнийсодержащей агроруды (диатомита) в комплексе с птичьим пометом увеличивало длину початка на 30.0–32.4%. Длина початка в этих вариантах опыта изменялась в пределах от 15.5 до 15.8 см. Выход зерна с одного початка в этих вариантах достоверно превышал контроль на 28.1–36.9, масса зерна с початка — на 41.7–51.7%. Масса 1000 зерен изменялась в интервале от 320 до 323 г, превышая контроль на 10.3–11.3%.

В контрольном варианте урожайность зерна кукурузы в условиях 2019 г. составила 3.71 т/га. Птичий помет 10 т/га достоверно повышал уро-

Таблица 1. Элементы структуры урожая кукурузы (2019 г.)

Вариант	Длина початка, см	Число зерен в одном початке, шт.	Масса зерна с одного початка, г	Масса 1000 зерен, г
Без Д и ПП (контроль)	12.0	183	53.0	290
ПП 10 т/га	15.3	235	74.7	318
Д1 4 т/га	13.2	217	65.9	304
Д2 6 т/га	13.8	221	66.8	303
Д3 8 т/га	14.2	230	71.6	311
Д4 10 т/га	14.3	231	71.7	311
Д1 4 т/га + ПП 10 т/га	15.5	234	75.1	321
Д2 6 т/га + ПП 10 т/га	15.7	240	76.7	320
Д3 8 т/га + ПП 10 т/га	15.8	248	79.9	323
Д4 10 т/га + ПП 10 т/га	15.8	250	80.2	320
<i>HCP</i> ₀₅	1.2	17	4.7	19

Примечание. ПП – птичий помет, Д – диатомит. То же в табл. 2–10.

Таблица 2. Урожайность зерна кукурузы (2019 г.)

Вариант	Урожайность, т/га	Отклонение от контроля	
		т/га	%
Без Д и ПП (контроль)	3.71	—	—
ПП 10 т/га	5.23	1.52	41.0
Д1 4 т/га	4.62	0.91	24.5
Д2 6 т/га	4.68	0.97	26.1
Д3 8 т/га	5.01	1.30	35.0
Д4 10 т/га	5.02	1.31	35.3
Д1 4 т/га + ПП 10 т/га	5.48	1.77	47.7
Д2 6 т/га + ПП 10 т/га	5.60	1.89	50.9
Д3 8 т/га + ПП 10 т/га	5.89	2.18	58.8
Д4 10 т/га + ПП 10 т/га	5.92	2.21	59.6
<i>HCP</i> ₀₅	0.58		

жайность зерна кукурузы на 1.52 т/га или на 41%. Урожайность зерна кукурузы на фоне прямого действия птичьего помета составила 5.23 т/га (табл. 2).

Внесение в серую лесную почву кремнийсодержащей агроруды (диатомита) достоверно повышало урожайность зерна кукурузы на 0.91–1.31 т/га или на 24.5–35.3%. Урожайность зерна кукурузы изменялась в пределах от 4.62 до 5.02 т/га. Установлено, что в вариантах с внесением диатомита в дозах 8 и 10 т/га урожайность зерна кукурузы в условиях 2019 г. была практически одинаковой (5.01–5.02 т/га).

Наиболее существенное влияние на урожайность зерна кукурузы оказало внесение диатомита в комплексе с птичьим пометом. Урожайность

зерна кукурузы изменялась в пределах от 5.48 до 5.92 т/га, достоверно превышая контроль на 1.77–2.21 т/га, или на 47.7–59.6%. В вариантах с внесением диатомита 8 и 10 т/га совместно с птичьим пометом урожайность зерна кукурузы была равнозначной.

Содержание протеина в зерне кукурузы в контрольном варианте было равно 9.3%, его сбор с 1 га составил 345 кг. Птичий помет 10 т/га (в пересчете на сухое вещество) повышал содержание протеина в зерне кукурузы на 0.5%, его сбор с 1 га – на 168 кг или на 48.6% (табл. 3).

Содержание протеина в зерне кукурузы на фоне одностороннего действия кремнийсодержащей агроруды было на уровне контроля и изменялось в пределах от 9.2 до 9.4%. Сбор протеина со-

Таблица 3. Качество зерна кукурузы

Вариант	Содержание протеина, %	Отклонение от контроля, %	Сбор протеина, кг/га	Отклонение от контроля	
				кг/га	%
Без Д и ПП (контроль)	9.3	—	345	—	—
ПП 10 т/га	9.8	0.5	513	168	48.6
Д1 4 т/га	9.2	–0.1	425	80.0	23.2
Д2 6 т/га	9.3	0.0	435	90.2	26.1
Д3 8 т/га	9.4	0.1	466	121	35.0
Д4 10 т/га	9.4	0.1	481	136	39.5
Д1 4 т/га + ПП 10 т/га	9.8	0.5	537	192	55.7
Д2 6 т/га + ПП 10 т/га	9.8	0.5	549	204	59.0
Д3 8 т/га + ПП 10 т/га	9.9	0.6	583	238	69.0
Д4 10 т/га + ПП 10 т/га	9.8	0.5	580	235	68.2
<i>HCP</i> ₀₅		0.4		48	

Таблица 4. Элементы структуры урожая яровой пшеницы (2020 г.)

Вариант	Число продуктивных стеблей, шт./м ²	Отклонение от контроля, шт./м ²	Длина колоса, см	Отклонение от контроля, см	Число зерен в колосе, шт.	Отклонение от контроля, шт.	Масса зерна одного колоса, г	Отклонение от контроля, г	Масса 1000 зерен, г	Отклонение от контроля, г
Без Д и ПП (контроль)	404	—	4.8	—	16.8	—	0.61	—	36.3	—
ПП 10 т/га	426	22	6.3	1.5	19.0	2.2	0.71	0.10	37.4	1.1
Д1 4 т/га	406	2	4.9	0.1	17.0	0.2	0.63	0.02	37.1	0.2
Д2 6 т/га	410	6	5.0	0.2	17.4	0.6	0.65	0.04	37.4	1.1
Д3 8 т/га	411	6	5.2	0.4	17.5	0.8	0.66	0.05	37.7	1.4
Д4 10 т/га	411	7	2.2	0.4	17.4	0.6	0.65	0.04	37.4	1.1
Д1 4 т/га + ПП 10 т/га	427	23	6.3	1.5	19.2	2.4	0.73	0.12	38.0	1.7
Д2 6 т/га + ПП 10 т/га	430	26	3.4	1.6	19.5	2.7	0.76	0.15	38.9	2.6
Д3 8 т/га + ПП 10 т/га	433	29	6.5	1.7	19.6	2.8	0.77	0.16	39.3	3.0
Д4 10 т/га + ПП 10 т/га	432	28	6.4	1.6	19.5	2.7	0.77	0.16	39.3	3.0
<i>HCP</i> ₀₅	21		0.9		1.6		0.06		2.0	

ставил 425–481 кг/га, достоверно превышая контроль на 80.0–136 кг/га или на 23.2–35.9%. Использование диатомита совместно с птичьим пометом достоверно увеличивало содержание протеина в зерне кукурузы на 0.5–0.6%, его сбор – на 192–238 кг/га или на 55.7–69.0%.

В условиях 2020 г. число продуктивных стеблей в период уборки яровой пшеницы в контрольном варианте равнялось 404 шт./м². При использовании птичьего помета в дозе 10 т/га число продуктивных стеблей составляло 426 шт./м², достоверно превышая контроль на 22 шт. Кремний-

содержащая агроруда не оказала существенного влияния на число продуктивных стеблей, которое на фоне ее применения в зависимости от дозы диатомита варьировало от 406 до 411 шт. На фоне применения различных доз кремнийсодержащей агроруды совместно с птичьим пометом число продуктивных стеблей варьировало в интервале от 427 до 433 шт., достоверно превышая контроль на 23–29 шт. (табл. 4).

В агроценозе яровой пшеницы в контрольном варианте длина колоса была равна 4.8 см. Птичий помет в дозе 10 т/га достоверно увеличивал длину

Таблица 5. Урожайность яровой пшеницы (2020 г.)

Вариант	Урожайность, т/га	Отклонение от контроля	
		т/га	%
Без Д и ПП (контроль)	2.46	—	—
ПП 10 т/га	3.03	0.57	23.2
Д1 4 т/га	2.56	0.10	4.1
Д2 6 т/га	2.67	0.21	8.5
Д3 8 т/га	2.71	0.25	10.2
Д4 10 т/га	2.72	0.26	10.6
Д1 4 т/га + ПП 10 т/га	3.12	0.66	26.8
Д2 6 т/га + ПП 10 т/га	3.27	0.81	32.9
Д3 8 т/га + ПП 10 т/га	3.33	0.87	35.4
Д4 10 т/га + ПП 10 т/га	3.33	0.87	35.4
<i>НСР</i> ₀₅	0.14		

колоса на 1.5 см. Кремнийсодержащая агроруда в дозах от 4 до 10 т/га не оказала существенного влияния на длину колоса яровой пшеницы. Достоверное увеличение длины колоса было отмечено при использовании диатомита в комплексе с птичьим пометом. Длина колоса на их фоне варьировала в пределах от 6.3 до 6.5 см и превышала контроль на 1.5–1.7 см.

В варианте без удобрений число зерен в колосе по окончании вегетации яровой пшеницы составляло 16.8 шт., а их масса равнялась 0.61 г. Птичий помет в дозе 10 т/га достоверно повышал число зерен в колосе яровой пшеницы на 2.2 шт., массу зерен в колосе — на 0.10 г. В вариантах с использованием диатомита в дозах от 4 до 10 т/га не было отмечено достоверных изменений данных элементов структуры урожая. Последствие кремнийсодержащей агроруды в дозах от 4 до 10 т/га в сочетании с птичьим пометом оказало наиболее существенное влияние на число зерен в колосе и их массу: оно изменялось от 19.2 до 19.6 шт., масса зерна с колоса — от 0.73 до 0.77 г, что было достоверным и больше контроля на 2.4–2.8 шт. и 0.12–0.16 г.

В контрольном варианте масса 1000 зерен была равна 36.3 г. Достоверное увеличение массы 1000 зерен было отмечено в вариантах с внесением кремнийсодержащей агроруды в дозах от 6 до 10 т/га совместно с птичьим пометом. Масса 1000 зерен в этих вариантах изменялась от 38.9 до 39.3 г.

В условиях 2020 г. в варианте без удобрений урожайность зерна яровой пшеницы составляла 2.46 т/га (табл. 5). Птичий помет 10 т/га достоверно повышал урожайность зерна яровой пшеницы на 0.57 т/га или на 23.2%. Внесение диатомита 4 т/га не оказало существенного влияния на повы-

шение урожайности яровой пшеницы. Достоверное увеличение урожайности яровой пшеницы обеспечивала кремнийсодержащая агроруда в дозах от 6 до 10 т/га. Урожайность яровой пшеницы на их фоне изменялась в пределах от 2.67 до 2.72 т/га, превышая контроль на 0.21–0.26 т/га или на 8.5–10.6%.

Наивысшая урожайность яровой пшеницы была получена на фоне использования кремнийсодержащей агроруды в дозах от 4 до 10 т/га совместно с птичьим пометом 10 т/га. Урожайность зерна яровой пшеницы в этих вариантах достоверно превышала контроль на 0.66–0.87 т/га или на 26.8–35.4%. Внесение диатомита в дозах 8 и 10 т/га совместно с птичьим пометом оказало практически равнозначное влияние на урожайность зерна яровой пшеницы.

Содержание клейковины в зерне яровой пшеницы в варианте без использования удобрений было равно 23.8%. На фоне внесения птичьего помета 10 т/га содержание клейковины в зерне яровой пшеницы достоверно превышало контроль на 2.1% (табл. 6). В вариантах с использованием кремнийсодержащей агроруды содержание клейковины в зерне яровой пшеницы не существенно отличалось от контроля. Внесение диатомита совместно с птичьим пометом 10 т/га достоверно увеличивало содержание клейковины в зерне яровой пшеницы на 2.3–2.6%.

В условиях 2021 г. в варианте без удобрений урожайность зеленой массы однолетних трав была равна 18.6, сена — 7.44 т/га (табл. 7). Применение птичьего помета достоверно увеличивало урожайность зеленой массы однолетних трав на 3.68 т/га или на 19.8%, урожайность сена — на 1.48 т/га или на 19.9%. Последствие диатомита

Таблица 6. Качество зерна яровой пшеницы (2020 г.)

Вариант	Содержание клейковины	Отклонение от контроля
	%	
Без Д и ПП (контроль)	23.8	—
ПП 10 т/га	25.9	2.1
Д1 4 т/га	23.9	0.1
Д2 6 т/га	24.0	0.2
Д3 8 т/га	24.2	0.4
Д4 10 т/га	24.3	0.5
Д1 4 т/га + ПП 10 т/га	26.1	2.3
Д2 6 т/га + ПП 10 т/га	26.2	2.4
Д3 8 т/га + ПП 10 т/га	26.4	2.6
Д4 10 т/га + ПП 10 т/га	26.4	2.6
<i>HCP</i> ₀₅	1.4	

в дозах от 4 до 6 т/га оказало несущественное влияние на урожайность зеленой массы и сена однолетних трав. Урожайность зеленой массы при этом составила 20.3–21.8 т/га, сена – 8.13–8.71 т/га. Кремнийсодержащая агроруда совместно с птичьим пометом достоверно повышала урожайность зеленой массы однолетних трав на 4.26–6.86 т/га или на 22.9–36.9%, сена – на 1.71–2.74 т/га или на 23.0–36.8%.

В контрольном варианте содержание сырого протеина в зеленой массе однолетних трав составляло 2.74%, его сбор – 498 кг/га (табл. 8). Использование птичьего помета 10 т/га, кремнийсодержащей агроруды и их сочетаний не оказало существенного влияния на содержание сырого

протеина. В варианте с внесением птичьего помета сбор сырого протеина составил 617 кг/га, достоверно превышая контроль на 120 кг/га или на 24.1%.

При использовании диатомита в дозах 4 и 6 т/га сбор сырого протеина составил 523–537 кг/га. Отклонение от контроля было несущественным и равнялось 25.5–39.4 кг/га или 5.1–7.9%. Достоверное увеличение сбора сырого протеина было отмечено в вариантах с использованием кремнийсодержащей агроруды в дозах 8 и 10 т/га. На их фоне сбор сырого протеина составил 559–599 кг/га, превышая контроль на 61.3–101 кг/га или на 12.3–20.3%.

Наибольший эффект на сбор сырого протеина оказало последствие кремнийсодержащей агроруды в комплексе с птичьим пометом. Сбор сырого протеина на их фоне изменялся в пределах от 631 до 706 кг/га, достоверно превышая контроль на 134–208 кг/га или на 26.9–41.8%.

Интегральным показателем, характеризующим степень эффективности агроприемов, является продуктивность сельскохозяйственных культур [17].

В условиях 2019 г. продуктивность кукурузы в контрольном варианте составила 4.23 т з.е./га, в условиях 2020 г. продуктивность яровой пшеницы была равна 2.46 т з.е./га, в условиях 2021 г. продуктивность однолетних трав составила 2.98 т з.е./га. Суммарная продуктивность равнялась 9.96 т з.е./га (табл. 9).

На фоне внесения птичьего помета продуктивность кукурузы составила 5.96, яровой пшеницы – 3.03, однолетних трав – 3.57 т з.е./га. Сум-

Таблица 7. Урожайность однолетних трав (2021 г.)

Вариант	Урожайность зеленой массы, т/га	Отклонение от контроля		Урожайность сена, т/га	Отклонение от контроля	
		т/га	%		т/га	%
Без Д и ПП (контроль)	18.6	—	—	7.44	—	—
ПП 10 т/га	22.3	3.7	19.8	8.92	1.48	19.9
Д1 4 т/га	19.1	0.5	2.6	7.64	0.20	2.7
Д2 6 т/га	19.6	1.0	5.3	7.84	0.40	5.4
Д3 8 т/га	21.8	3.2	17.0	8.71	1.27	17.1
Д4 10 т/га	20.3	1.7	9.2	8.13	0.69	9.3
Д1 4 т/га + ПП 10 т/га	22.9	4.3	22.9	9.15	1.71	23.0
Д2 6 т/га + ПП 10 т/га	23.3	4.7	25.2	9.32	1.88	25.3
Д3 8 т/га + ПП 10 т/га	25.5	6.9	36.9	10.2	2.74	36.8
Д4 10 т/га + ПП 10 т/га	24.0	5.4	29.1	9.61	2.17	29.2
<i>HCP</i> ₀₅	1.4			0.41		

Таблица 8. Содержание и сбор сырого протеина (2021 г.)

Вариант	Содержание сырого протеина, %	Сбор сырого протеина, кг/га	Отклонение от контроля	
			кг/га	%
Без Д и ПП (контроль)	2.74	498	—	—
ПП 10 т/га	2.77	617	120	24.1
Д1 4 т/га	2.74	523	26	5.1
Д2 6 т/га	2.74	537	39	7.9
Д3 8 т/га	2.75	599	101	20.3
Д4 10 т/га	2.75	559	61	12.3
Д1 4 т/га + ПП 10 т/га	2.76	631	134	26.9
Д2 6 т/га + ПП 10 т/га	2.76	643	146	29.2
Д3 8 т/га + ПП 10 т/га	2.77	706	208	41.8
Д4 10 т/га + ПП 10 т/га	2.78	668	170	34.3
<i>HCP</i> ₀₅	0.15	57		

Таблица 9. Продуктивность культур зернопаропропашного севооборота

Вариант	Кукуруза (2019 г.)	Яровая пшеница (2020 г.)	Однолетние травы (2021 г.)	Суммарная продуктивность	Отклонение от контроля	
						%
	т з.е./га					
Без Д и ПП (контроль)	4.23	2.46	2.98	9.67	—	—
ПП 10 т/га	5.96	3.03	3.57	12. 6	2.89	29.9
Д1 4 т/га	5.27	2.56	3.06	10.9	1.22	12.6
Д2 6 т/га	5.34	2.67	3.14	11.2	1.48	15.3
Д3 8 т/га	5.71	2.71	3.48	11.9	2.23	23.1
Д4 10 т/га	5.72	2.72	3.25	11.7	2.02	20.9
Д1 4 т/га + ПП 10 т/га	6.25	3.12	3.66	13.0	3.36	34.8
Д2 6 т/га + ПП 10 т/га	6.38	3.27	3.73	13.4	3.71	38.4
Д3 8 т/га + ПП 10 т/га	6.71	3.33	4.07	14.1	4.44	45.9
Д4 10 т/га + ПП 10 т/га	6.75	3.33	3.84	13.9	4.25	44.0

марная продуктивность в этом варианте была равна 12.6 т з.е./га, превышая контроль на 2.89 т з.е./га или на 29.9%.

При использовании кремнийсодержащей агроруды в дозах от 4 до 10 т/га продуктивность кукурузы изменялась в пределах от 5.27 до 5.72, яровой пшеницы — от 2.56 до 2.72, однолетних трав — от 3.06 до 3.25 т з.е./га. Суммарная продуктивность варьировала в интервале от 10.9 до 11.9 т з.е./га, превышая контроль на 1.22–2.23 т з.е./га или на 12.6–23.1%.

Наиболее существенное влияние на продуктивность изученных культур оказало комплексное действие и последствие кремнийсодержащей агроруды совместно с птичьим пометом. Продуктивность кукурузы на их фоне изменялась

в пределах от 6.25 до 6.75, яровой пшеницы — от 3.12 до 3.33, однолетних трав — от 3.66 до 4.07 т з.е./га. Суммарная продуктивность в этих вариантах варьировала в интервале от 13.0 до 14.1 т з.е./га и была больше контроля на 3.36–4.44 т з.е./га или на 34.8–45.9%.

Урожайность сельскохозяйственных культур тесно связана с плодородием почвы. Воздействие почвы на формирование урожайности растений определяется ее режимами и свойствами. В связи с этим весьма важно установить степень взаимосвязей урожайности сельскохозяйственных культур со свойствами, характеризующими уровень плодородия почвы [18].

Корреляционно-регрессионный анализ данных опыта показал, что между урожайностью зер-

на кукурузы, яровой пшеницы, сена однолетних трав и количеством гумуса в пахотном слое существовала сильная корреляционная связь. Прямолинейная взаимосвязь урожайности кукурузы (y_1), яровой пшеницы (y_2), однолетних трав (y_3) от количества гумуса (x) описывалась уравнениями прямолинейной регрессии:

$$\begin{aligned}y_1 &= 16.714x - 60.92, & r &= 0.89; \\y_2 &= 5.4426x - 18.752, & r &= 0.97; \\y_3 &= 13.45x - 45.037, & r &= 0.81.\end{aligned}$$

Как свидетельствовали коэффициенты прямолинейной регрессии, увеличение количества гумуса в пахотном слое серой лесной почвы на 1% повышало урожайность зерна кукурузы на 16.7, зерна яровой пшеницы – на 5.4, сена однолетних трав – на 13.5 т/га.

Урожайность зерна кукурузы (y_1), яровой пшеницы (y_2), сена однолетних трав (y_3) в сильной степени зависела от содержания в пахотном слое серой лесной почвы щелочногидролизуемого азота (x_1), подвижного фосфора (x_2), подвижного калия (x_3). Прямолинейная взаимосвязь выражалась уравнениями регрессии:

$$\begin{aligned}\text{азот: } y_1 &= 0.1065x_1 - 3.2418, & r &= 0.73; \\y_2 &= 0.0734x_1 - 2.7344, & r &= 0.94; \\y_3 &= 0.2143x_1 - 7.7672, & r &= 0.82;\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{фосфор: } y_1 &= 0.1462x_2 - 3.2104, & r &= 0.75; \\y_2 &= 0.0846x_2 - 1.882, & r &= 0.95; \\y_3 &= 0.2392x_2 - 4.6797, & r &= 0.83;\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{калий: } y_1 &= 0.1368x_3 - 7.9136, & r &= 0.75; \\y_2 &= 0.0777x_3 - 4.4664, & r &= 0.95; \\y_3 &= 0.2158x_3 - 11.693, & r &= 0.84.\end{aligned}$$

Таким образом, коэффициенты прямолинейной регрессии показали, что увеличение содержания щелочногидролизуемого азота в пахотном слое серой лесной почвы на 1 мг/кг повышало урожайность зерна кукурузы на 0.107, зерна яровой пшеницы – на 0.073, сена однолетних трав – на 0.214 т/га. Увеличение содержания подвижного фосфора в пахотном слое на 1 мг/кг повышало урожайность зерна кукурузы на 0.146, зерна яровой пшеницы – на 0.085, сена однолетних трав – на 0.239 т/га. Увеличение содержания подвижного калия в пахотном слое на 1 мг/кг повышало урожайность зерна кукурузы на 0.137, зерна яровой пшеницы – на 0.0787, сена однолетних трав – на 0.216 т/га.

Установлено, что урожайность зерна кукурузы (y_1), зерна яровой пшеницы (y_2), сена однолетних трав (y_3) в сильной степени зависела от количества обменных оснований (x). Прямолинейная взаимосвязь выражалась уравнениями регрессии:

$$\begin{aligned}y_1 &= 0.9487x - 15.785, & r &= 0.92; \\y_2 &= 0.4067x - 6.105, & r &= 0.88; \\y_3 &= 0.8908x - 10.938, & r &= 0.73.\end{aligned}$$

Таким образом, увеличение в почве количества обменных оснований на 1 мг-экв/100 г почвы повышало урожайность зерна кукурузы на 0.949, зерна яровой пшеницы – на 0.407, сена однолетних трав – на 0.891 т/га.

Установлено, что между урожайностью зерна кукурузы (y_1), зерна яровой пшеницы (y_2), сена однолетних трав (y_3) и величиной pH_{KCl} существовала сильная корреляционная связь. Характер взаимосвязи выражался уравнениями прямолинейной регрессии:

$$\begin{aligned}y_1 &= 3.6291x - 14.227, & r &= 0.85; \\y_2 &= 1.2207x - 3.7938, & r &= 0.87; \\y_3 &= 3.3198x - 9.5319, & r &= 0.73.\end{aligned}$$

Как свидетельствовали коэффициенты прямолинейной регрессии, увеличение pH_{KCl} на 1 ед. pH повышало урожайность зерна кукурузы на 3.63, зерна яровой пшеницы – на 1.22, сена однолетних трав – на 3.32 т/га.

Взаимосвязь урожайности зерна кукурузы (y_1), зерна яровой пшеницы (y_2), сена однолетних трав (y_3) от количества водопрочных агрегатов (x) в пахотном слое серой лесной почвы указывала на сильную связь между параметрами. Прямолинейная взаимосвязь выражалась уравнениями регрессии:

$$\begin{aligned}y_1 &= 0.1385x - 0.8847, & r &= 0.93; \\y_2 &= 0.0546x + 0.4517, & r &= 0.99; \\y_3 &= 0.1654x + 1.3658, & r &= 0.93.\end{aligned}$$

Таким образом, увеличение количества водопрочных агрегатов в пахотном слое серой лесной почвы на 1% повышало урожайность зерна кукурузы на 0.139, зерна яровой пшеницы – на 0.055, сена однолетних трав – на 0.165 т/га.

Установлено, что между равновесной плотностью (x) пахотного слоя серой лесной почвы и урожайностью зерна кукурузы (y_1), зерна яровой пшеницы (y_2), сена однолетних трав (y_3) существовала сильная обратная корреляционная

связь. Прямолинейная зависимость выражалась уравнениями регрессии:

$$y_1 = -15.457x + 25.829, \quad r = -0.82;$$

$$y_2 = -12.248x + 19.393, \quad r = -0.91;$$

$$y_3 = -33.417x + 50.832, \quad r = -0.86.$$

Установлено, что с увеличением плотности пахотного слоя почвы на 1 г/см³ урожайность зерна кукурузы снижалась на 15.5, зерна яровой пшеницы — на 12.2, сена однолетних трав — на 33.4 т/га.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, наивысший эффект влияния кремнийсодержащей агроруды (диатомита) на урожайность сельскохозяйственных культур и качество растениеводческой продукции обеспечивало комплексное применение и последствие кремнийсодержащей агроруды с птичьим пометом. Урожайность зерна кукурузы в этих вариантах изменялась от 5.48 до 5.92, яровой пшеницы — от 3.12 до 3.33, сена однолетних трав — от 9.15 до 10.2 т/га. Суммарная продуктивность культур варьировала в интервале от 13.1 до 14.1 т з.е./га, превышая контроль на 3.36–4.44 т з.е./га или на 34.8–45.9%.

Корреляционно-регрессионный анализ экспериментальных данных показал, что урожайность зерна кукурузы и яровой пшеницы, сена однолетних трав в сильной степени зависела от содержания в пахотном слое серой лесной почвы основных элементов питания, а также ее агрофизических и агрохимических свойств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аскаров А.А., Аскарова А.А. Устойчивое сельское хозяйство: сущность и необходимые условия его формирования // Управл.-эконом. сист.: электр. научн. журн. 2012. № 6 (42). С. 31.
2. Куликова А.Х., Яшин Е.А., Волкова Е.С. Местные нетрадиционные ресурсы и отходы сельскохозяйственного производства как источники элементов питания растений // Вестн. УлГСХА. 2022. № 2 (58). С. 60–66.
3. Матыченков В.В., Бочарникова Е.А., Пироговская Г.В., Ермолович И.Е. Перспективы использования кремниевых препаратов в сельском хозяйстве (обзор научной литературы) // Почвовед. и агрохим. 2022. № 1 (68). С. 219–234.
4. Куликова А.Х., Яшин Е.А. Роль кремния и высококремнистых пород в защите посевов сельскохозяйственных культур // 2015. № 4 (32). С. 30–35.
5. Козлов А.В., Куликова А.Х., Яшин Е.А. Роль и значение кремния и кремнийсодержащих веществ в агроэкосистемах // Вестн. Минин. ун-та. 2015. № 2 (10). С. 23–32.
6. Самсонова Н.Е. Кремний в растительных и животных организмах // Агрохимия. 2019. № 1. С. 86–96.
7. Матыченков И.В. Взаимное влияние кремниевых, фосфорных и азотных удобрений в системе почва–растение: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 2014. 21 с.
8. Безручко Е.В., Федотова Л.С. Доступный для растений кремний — фактор устойчивого производства картофеля // Агрохимия. 2021. № 8. С. 70–81.
9. Кузин Е.Н., Арефьев А.Н., Кузина Е.Е. Влияние природных цеолитов и их сочетаний с удобрениями на урожайность сельскохозяйственных культур // Нива Поволжья. 2016. № 1 (38). С. 42–49.
10. Серая Т.М., Богатырева Е.Н., Кирдун Т.М., Мачок Т.В., Бирюкова О.М., Белявская Ю.А. Урожайность и качество зерна озимой пшеницы в зависимости от систем удобрения при традиционной и поверхностной обработке дерново-подзолистой супесчаной почвы // Агрохимия. 2022. № 5. С. 71–78.
11. Kuzina E.E., Arefyev A.N., Kuzin E.N. Influence of diatomite and its combinations with manure on the fertility of leached black earth soil (chernozem) and on the yield of vegetable crops // Bulg. J. Agricult. Sci. 2021. T. 27. № 3. С. 512–518.
12. Афанасьев Р.А., Мерзлая Г.Е. Сравнительная эффективность систем удобрения // Агрохимия. 2021. № 2. С. 31–36.
13. Арефьев А.Н., Ковальский К.Ю., Кузин Е.Н., Кузина Е.Е. Влияние диатомита и его сочетаний с птичьим пометом на плодородие почвы и продуктивность сельскохозяйственных культур // Молочн.-хоз. вестн. 2021. № 3 (43). С. 8–20.
14. Никулина Е.В., Дубина Л. Влияние препарата нанокремния на продуктивность кукурузы // Инновационные идеи молодых исследователей для агропромышленного комплекса. Пенза, 2022. С. 203–205.
15. Царева М.В. Оценка эффективности куриного помета на дерново-подзолистой почве разного гранулометрического состава на урожайность и качество силосной массы кукурузы // Агроэкологические аспекты устойчивого развития АПК. Брянск, 2022. С. 64–72.
16. Хежеев А.М., Абубекиров Р.Н., Антихович О.К., Дорожкина Л.А. Реакция гибридов кукурузы на применение удобрений // Агрохим. вестн. 2022. № 2. С. 31–36.
17. Медведева Т.Н., Артамонова И.А. Методика интегральной оценки эффективности использования земель сельскохозяйственного назначения // Вестн. КурганГСХА. 2015. № 2. С. 16–18.
18. Алексеев А.И. Влияние природных цеолитов на плодородие чернозема выщелоченного и продуктивность сельскохозяйственных культур: Дис. ... канд. с.-х. наук. Пенза, 2013. 168 с.

Influence of Silicon-Containing Agro-Ore (Diatomite) on the Yield of Agricultural Crops and the Quality of Crop Production

E. N. Kuzin^a, A. N. Arefyev^{a, #}, and E. E. Kuzina^a

*^aPenza State Agrarian University
ul. Botanicheskaya 30, Penza 440014, Russia*

[#]E-mail: arefyev.a.n@pgau.ru

In the soil and climatic conditions of the forest-steppe of the Middle Volga region, the effect and aftereffect of various doses of silicon-containing agro-ore (diatomite) and its combinations with bird droppings on the productivity of agricultural crops has been scientifically substantiated and experimentally proven. The highest effect on the productivity of corn, spring wheat, annual grasses was provided by the complex action and aftereffect of silicon-containing agricultural ore together with bird droppings. The yield of corn grain in these variants varied from 5.48 to 5.92, spring wheat – from 3.12 to 3.33, hay of annual grasses – from 9.15 to 10.2 t/ha. The total productivity of crops of the grain-to-crop rotation link when using silicon-containing agricultural ore (diatomite) mixed with bird droppings varied in the range from 13.0 to 14.1 tons of grain/ha, exceeding the control by 3.36–4.44 tons of grain/ha, or by 34.8–45.9%.

Keywords: silicon-containing agricultural ore (diatomite), bird droppings, corn, spring wheat, spring vetch, oats, yield, crop structure elements.