

УДК 631.879.3:631.41:631.415.12:631.445.4(470.57)

ВЛИЯНИЕ ДЕФЕКТА НА АГРОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И БУФЕРНУЮ СПОСОБНОСТЬ ЧЕРНОЗЕМА ВЫЩЕЛОЧЕННОГО ПРЕДУРАЛЬСКОЙ СТЕПНОЙ ЗОНЫ РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН

© 2022 г. Д. Х. Фазыльянов^{1,*}, Ф. И. Назырова¹, Г. А. Гималетдинова²

¹Уфимский институт биологии УФИЦ РАН
450054 Уфа, просп. Октября, 69, Россия

²Центр агрохимической службы “Башкирский”
450059 Уфа, ул. Рихарда Зорге, 19/1, Россия

*E-mail: nazyfli@mail.ru

Поступила в редакцию 13.01.2022 г.

После доработки 22.04.2022 г.

Принята к публикации 10.06.2022 г.

Изучили влияние известкового материала — дефеката свеклосахарного производства на агрохимические свойства чернозема выщелоченного и кислотнo-основную буферность почвы в полевом производственном опыте. Внесение дефеката сахарного производства (в дозе 6.5 т/га) в паровое поле в чернозем выщелоченный способствовало снижению кислотности почвы и значительному увеличению буферной площади в кислотном интервале. Заметно возросло количество обменного кальция в почве и повысилась урожайность озимой пшеницы.

Ключевые слова: чернозем выщелоченный, дефекат, урожайность, агрохимические свойства почвы, буферность.

DOI: 10.31857/S0002188122090046

ВВЕДЕНИЕ

Повышение плодородия деградированных почв, в том числе черноземов выщелоченных, улучшение их физико-химических свойств, нейтрализация излишней кислотности почв остаются актуальными агрохимическими задачами при выращивании агрокультур. Преобладающими в почвенном покрове пахотных почв Башкортостана являются черноземы выщелоченные, которые занимают 2006 тыс. га (14% общей площади республики). Под сельскохозяйственные угодья занято 1723 тыс. га, в том числе под пашней — 1335, под лесом — 145 тыс. га. Им принадлежит ведущее место в почвенном покрове Предуральской степной зоны [1].

На плодородие почвы решающее влияние оказывают ее гумусное состояние и почвенно-поглощающий комплекс, которые являются определяющими в проявлении ее буферных свойств и кислотнo-основного равновесия в ней. Кислотнo-основную буферность почв при этом можно использовать в качестве интегрального показателя агроэкологического состояния почв. Ее параметры позволяют судить об устойчивости почвы к кислотным и щелочным воздействиям применяемых удобрений, в частности, и позволяют вычислить дозы внесения извести для нейтрализации кислотности почвы до необходи-

мого или оптимального уровня ее реакции среды [2, 3]. Одним из эффективных методов снижения кислотности почв является использование дефеката сахарного производства в качестве более усвояемого удобрения, чем молотый известняк. В отличие от известковой муки, дефекат выделяется большей площадью поверхности мелких частиц, что делает его более реакционноспособным. При его внесении в почву может быть решено сразу 2 проблемы — повышение почвенного плодородия и утилизация дефеката как отхода производства [4, 5]. Дефекат складывают в отстойниках на территории заводов, что является источником загрязнения окружающей среды пылью карбоната кальция и других химических элементов в его составе. В настоящее время на заводах установлено современное фильтрационное оборудование, позволяющее получать дефекат с высоким содержанием сухих веществ — до 80%. Кроме нейтрализации кислотности, дефекат повышает содержание питательных веществ в почве. Дефекат эффективен в почвах с гидролитической кислотностью ≥ 2.0 мг-экв/100 г почвы и превосходит по эффективности известковую муку при внесении в эквивалентном по СаО количестве. Последствие дефеката отмечено на урожайность зерновых культур и сахарной свеклы на

протяжении 10–12 лет [6]. По многим результатам исследований на черноземах выщелоченных, имеющих кислую реакцию среды, целесообразно сочетать применение минеральных удобрений с периодическим внесением дефектата [7–9]. Использование дефектата способствует уменьшению загрязнения окружающей среды за счет снижения объемов сбрасываемых отходов, более того, процесс их утилизации в виде внесения в почву в качестве известкового материала на близлежащих полях имеет более низкие энергозатраты, по сравнению с другими известьесодержащими меллиорантами. Производственный опыт в Чишминском р-не проводили в первую очередь в целях утилизации побочной продукции производства местного свеклосахарного производства.

Цель работы – изучение влияния известкования почвы дефектатом сахарного производства на фоне внесения минеральных удобрений на агрохимические свойства чернозема выщелоченного, его буферную способность в кислотно-основном интервале и продуктивность озимой пшеницы в условиях Предуральской степной зоны Республики Башкортостан.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Производственные опыты проводили в 2016–2020 гг. в Чишминском р-не на черноземе выщелоченном тяжелосуглинистом в зернопаровом севообороте: озимая пшеница–сахарная свекла–яровая пшеница–занятый пар (сидерат – горчица 30 т/га)–озимая пшеница. Образцы почв для анализа отбирали осенью 2019 г. перед внесением дефектата в паровое поле с последующим посевом озимой пшеницы сорта Новоршовская и осенью 2020 г. после уборки урожая. Варианты опыта: 1 – контроль N10P26K26 (93 кг д.в./га при посеве в рядки) + КАС-28 (карбамидно-аммиачная смесь 42 кг д.в./га в подкормку), 2 – дефектат 5 т/га + N10P26K26 (93 кг д.в./га при посеве в рядки) + КАС-28 (42 кг д.в./га в подкормку), 3 – дефектат 6.5 т/га + N10P26K26 (93 кг д.в./га при посеве в рядки) + КАС-28 (42 кг д.в./га в подкормку). Общая площадь опытного поля – 660000 м², учетной делянки – 60000 м². Повторность опыта – трехкратная. Мощность гумусового горизонта – 45–60 см. Плотность почвы – 1.14 г/см.

Агрохимические показатели и физико-химические свойства изучали общепринятыми методами согласно руководствам по химическому анализу почв [10]: валовое содержание гумуса – по Тюрину, валовый азот – по Корнфильду, содержание фосфора и калия в почве – по Мачигину [11]. Степень подвижности калия и фосфора определяли по методу ЦИНАО, ОСТ 10–271, п. 5 “Определение легкоподвижного фосфора и ка-

лия в почве с использованием кальций-хлор вытяжки”. Для характеристики буферной способности в кислотно-основном интервале использовали метод непрерывного потенциометрического титрования (НПТ). Буферную площадь рассчитывали методом численного интегрирования по формуле трапеции [12].

Состав дефектата ОАО “Чишминский сахарный завод”: 56.8% CaCO₃, 6.2% MgO, 10% органического вещества, 0.7% N, 0.55% P₂O₅ и 0.46% K₂O. Содержание микроэлементов, мг/кг: Cu – 2.86, Co – 0.29, Mn – 31.0, Zn – 2.85, Mo – 2.90. Массовая доля влаги – 22.9%. По проверенным показателям образцы соответствовали требованиям ТУ 9112-005-00008064-95, осадок фильтратный II класса.

Посев озимой пшеницы проводили 4 сентября 2019 г. в благоприятных условиях, температура воздуха была в пределах среднесезонной нормы, количество осадков за август было больше на 4.5% от нормы. В период весенней вегетации озимой пшеницы в 2020 г. май месяц характеризовался осадками меньше на 28.8% от нормы, температура воздуха была выше на 3.3°C. Норма высева семян в рядки составляла 170 кг/га при глубине заделки 4–5 см.

Основная характеристика агрохимических показателей почвенного покрова опытного участка до закладки опыта приведена в табл. 1. Степень подвижности фосфора и калия: P₂O₅ – 0.15, K₂O – 5.2 мг/л в 0.02 н. CaCl₂. Статистическая обработка – определение ошибки разности средних независимых выборок проводили по критерию существенности разности: $t = d/s_d$ – достоверно различающиеся величины по отношению к контролю при уровне значимости $P = 0.05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

При внесении в почву дефектата в дозе 6.5 т/га отмечено наиболее выраженное снижение кислотности: pH_{H₂O} – на 0.6 ед., pH_{KCl} – на 1.35 ед. (табл. 1). При этом количество обменно-поглощенного кальция повысилось на 2.5 смоль (экв)/100 г почвы. Наблюдали тенденцию к снижению гидролитической кислотности и количества Mg²⁺ в составе ППК. Таким образом, поглощающий комплекс чернозема выщелоченного (насыщенный основаниями на 93%) оставался стабильным, при этом соотношение обменного магния к количеству кальция, равное 1 : 4, не сужалось. Черноземы выщелоченные изначально характеризуются высоким содержанием гумуса и большой насыщенностью основаниями. Поэтому внесение дефектата в почву на содержание гумуса существенно не повлияло.

Таблица 1. Кислотно-основная буферность чернозема выщелоченного

Вариант	pH_{H_2O} в НТТ*	pH_{KCl}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$S_{кисл}$	$S_{щел}$
	ед. pH		смоль (экв)/100 г почвы		см ²	
N10P26K26 + КАС-28 (фон, контроль)	6.61	5.45	43	11	31.9	37.3
Фон + дефекат 5.0 т/га	6.71	5.75	48	9	33.9	37.7
Фон + дефекат 6.5 т/га	7.21	6.71	51	9	44.3	34.1

*НТТ — начальная точка непрерывного потенциометрического титрования почвенной суспензии.

Таблица 2. Агрохимические свойства чернозема выщелоченного при внесении дефеката (средние 3-х повторностей)

Вариант	Гумус, %		рН _{KCl} , ед. рН		H _г , ммоль (экв)/100 г почвы		N		P ₂ O ₅		K ₂ O	
							мг/кг почвы					
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
N10P26K26 + КАС-28 (фон, контроль)	7.5	7.6	5.4	5.4	3.9	4.1	174	102	108	123	97	110
Фон + дефекат 5.0 т/га	7.6	7.7	5.5	6.4*	3.9	1.3	168	113	129	124	101	108
Фон + дефекат 6.5 т/га	7.8	7.8	5.3	6.8*	3.8	0.7*	175	124	127	125	115	101
HCP ₀₅				0.5		0.6		57		64		13

Примечание. В графе 1 — в начале опыта, 2 — в конце опыта.

Уменьшение кислотности почвы положительно отразилось на повышении ее общей буферной способности в кислотном интервале. Относительно контрольного варианта буферная площадь исследованной почвы в этом же варианте с внесением в почву большей дозы дефеката в кислом диапазоне увеличилась на 10, в щелочном — уменьшилась на 4 см². При внесении дефеката в почву в дозе 5 т/га буферная способность против подкисления заметно повысилась, в то время как против подщелачивания она осталась на уровне контроля.

Удобрение дефекатом не оказало существенного влияния на содержание общего гумуса в черноземе выщелоченном (табл. 2). Его среднее содержание генетически обусловлено в пределах степного Предуралья и характеризуется слабой подвижностью, хотя она и больше, чем у почв южной и северо-восточной лесостепи, в связи с различиями условий почвообразования. Почти 80% от суммы гуминовых кислот в них приходится на 2-ю фракцию, связанную с кальцием [13].

При внесении дефеката содержание фосфора оставалось стабильным. Содержание калия при внесении меньшей дозы дефеката 5.0 т/га было на уровне контрольного варианта, а при внесении дефеката в дозе 6.5 т/га его количество снизилось на 9 мг/кг (но разность средних оказалась несущественной по *t*-критерию Стьюдента при $P = 0.95$). Изменение содержания элементов питания и баланс между фосфором и калием в черноземах выщелоченных после известкования могут быть

различными в зависимости от их степени подвижности, а также степени ухудшения других параметров плодородия конкретной почвы. Уменьшение содержания калия в черноземе выщелоченном при известковании отмечали в своих опытах и другие исследователи. При этом для сохранения положительного баланса между фосфором и калием в почвах предложено при известковании вносить дополнительно более высокие дозы калийных удобрений [14–17].

Через год после внесения дефеката в почву наблюдали незначительное повышение подвижности калия (K_2O): в контроле — 4.41, в варианте с внесением дефеката 5.0 т/га — 6.64, в варианте с дозой дефеката 6.5 т/га — 5.03 мг/л в 0.02 н. $CaCl_2$. Количество подвижного фосфора возросло в 2 раза: 0.17, 0.44, 0.36 мг/л соответственно вариантам опыта. Именно данная группа фосфатов определяет условия питания растений, поскольку цикл их превращений в почве от времени внесения удобрений до поглощения растениями короче, чем для всех других форм фосфорных соединений [18]. В фосфатном фонде черноземов выщелоченных в регионе содержание фосфора невысокое — 2–5 мг/100 г почвы. Эти почвы преимущественно относятся к группе слабо обеспеченных подвижным фосфором. Учитывая это обстоятельство и исходя из аналитических данных подвижности фосфора можно утверждать, что внесение дефеката оправданно может способ-

Таблица 3. Содержание элементов питания, урожайность и показатели качества зерна и соломы озимой пшеницы (2020 г.)

Вариант	Зерно									Солома				
	урожайность, ц/га	сухое вещество	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	клейковина	протеин	ИДК, ед. прибора	урожайность, ц/га	сухое вещество	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	протеин
N10P26K26 + КАС-28 (фон, контроль)	59	87.6	2.06	0.28	0.71	24.7	12.9	67.2	77	92.3	0.33	0.04	1.76	2.06
Фон + дефекат 5.0 т/га	60	87.8	2.11	0.27	0.68	25.2	13.1	68.2	78	94.7	0.33	0.04	2.06	2.11
Фон + дефекат 6.5 т/га	62	88.5	2.16	0.32	0.66	25.9	13.5	68.2	80	93.8	0.45	0.05	2.23	2.52
НСП ₀₅	2								3					

ствовать увеличению количества доступных форм фосфора в почве.

По обеспеченности обменным калием до 70% площади пахотных почв отнесены в группу высоко- и среднеобеспеченных, его содержание меняется в широких пределах (7.8–17.9 мг/100 г почвы). Хотя повышение степени подвижности калия, выявленное в опыте, было статистически незначимым, его тенденция к возрастанию показала, что применение дефеката целесообразно для пополнения запасов быстроусвояемых форм калия.

Черноземы выщелоченные Предуралья характеризуются высоким содержанием общего азота в Апах — 0.40–0.60%, его запасы в слое 0–50 см составляют 18–24 т/га, а в слое 0–100 см — 27–33 т/га. До 90–95% соединений азота этих почв составляют органические формы, преобладающими среди них являются негидролизующие и трудногидролизующие соединения, содержание легкогидролизующей фракции значительно меньше, ≈15% [13]. Усиление биологических процессов мобилизации труднодоступных форм азота в этом случае является первоочередной задачей агрономии. Результаты опыта показали, что содержание общего азота после известкования уменьшилось во всех вариантах опыта: в контроле — на 72, в варианте с внесением дефеката в дозе 5.0 т/га — на 55, в варианте с внесением дефеката 6.5 т/га — на 40 мг/кг. Эти изменения могли быть связаны как с вероятным усилением минерализационных процессов гумификации в почве после известкования, так и с потерей определенного количества азота в результате потребления растениями и выноса его урожаем.

Урожайность озимой пшеницы на фоне комплексных удобрений была статистически значительно больше в известкованных вариантах. При внесении дефеката в почву в дозе 5.0 т/га урожай-

ность озимой пшеницы повысилась на 1.0, в дозе 6.5 т/га — на 2.6 ц/га (табл. 3).

Содержание азота, фосфора и калия в зерне незначительно изменялось, и в вариантах опыта находилось примерно на одинаковом уровне. По индексу деформации клейковина была оценена в основном 1-й группой качества, а именно как хорошая с хорошей эластичностью в вариантах с внесением дефеката. Анализ сухого вещества соломы также подтвердил положительный эффект последствий удобрения почвы дефекатом на ее урожайность, содержание азота в ней через год после его внесения в почву.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, внесение дефеката сахарного производства в паровое поле в дозе 6.5 т/га в чернозем выщелоченный способствовало снижению кислотности, повышению его буферной способности в кислотном диапазоне и повышению урожайности озимой пшеницы. Внесение дефеката в дозе 5.0 т/га также положительно повлияло на буферную способность против подкисления, в то время как в щелочном она осталась на уровне контроля. На содержание гумуса, азота, фосфора и калия существенного влияния использование дефеката не оказало, эти показатели оставались стабильными.

Данные производственного опыта позволили сделать вывод, что использование дефеката свеклосахарного производства ООО «НЕПАЛ Чишмы» в качестве известкового мелиоранта не оказало отрицательного влияния на агрохимические и физико-химические свойства чернозема выщелоченного. Целесообразность его применения в целях утилизации очевидна, особенно на обедненных кальцием и магнием кислых почвах Пре-

дуралья как в близлежащих, так и в отдаленных полях от местонахождения этого сахарного завода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Хазиев Ф.Х.* Почвы Республики Башкортостан и регулирование их плодородия. Уфа: Изд-во Гилем, 2007. 285 с.
2. *Надточий П.П.* Кислотно-основная буферность почвы — критерий оценки ее качественного состояния // Почвоведение. 1998. № 9. С. 1094–1102.
3. *Кираев Р.С., Хабиров И.К., Чанышев И.О., Абдуллин М.М.* Воспроизводство и оптимизация физико-химических свойств лесостепных черноземов Башкортостана. Уфа: РИО РУНМЦ Госкомнауки РБ, 2000, 236 с.
4. *Пигорев И.Я., Беседин Н.В., Недбаев В.Н., Малышева Е.В.* Окультуривание зональных почв Черноземья отходами свеклосахарного производства // Вестн. Курск. ГСХА. 2017. № 1. С. 15–20.
5. *Кожокина А.Н.* Изменение агрохимических свойств чернозема выщелоченного под влиянием удобрений // Роль молодых ученых в решении актуальных задач АПК. Мат-лы Междунаро. научн.-практ. конф. молод. ученых и обучающихся, посвящ. 115-летию СПб. ГАУ. СПб., 2019. С. 12–15.
6. Известкование и применение дефеката на кислых почвах Орловской области. Орел: ВНИИЗБК, 2015. 56 с.
7. *Кожокина А.Н.* Динамика физико-химических свойств чернозема выщелоченного в звене зернопаропропашного севооборота под влиянием удобрений и известкования // Инновационные технологии и технические средства для АПК. Мат-лы Междунаро. научн.-практ. конф. молод. ученых СПб., 2019. С. 130–135.
8. *Козловских В.А., Кириков Н.И., Кожокина А.Н.* Кислотно-основные свойства чернозема выщелоченного при внесении удобрений // Роль молодых ученых и исследователей в решении актуальных задач АПК / Под ред. Бухтоярова Н.И., Дерканосовой Н.М., Гулевского В.А. 2016. С. 46–50; 2020. С. 44–47.
9. *Осипов А.В., Жуков А.С., де Souza Бело К.М.* Влияние дефеката на агрохимические свойства чернозема выщелоченного Западного Предкавказья // Энтузиасты аграрной науки. Сб. ст. по мат-лам Всерос. научн.-практ. конф., посвящ. 100-летию кафедры почвоведения Кубан. ГАУ им. Трубилина и 80-летию члена-корр. РАН Кудеярова В.Н. 2019. С. 321–324.
10. Агрохимические исследования почв. М.: Наука, 1975. 656 с.
11. *Аринушкина Е.Б.* Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во МГУ, 1970. 91 с.
12. *Назырова Ф.И.* Влияние удобрений на буферные свойства чернозема типичного карбонатного // Агрохимия. 2002. № 2. С. 5–12.
13. *Хазиев Ф.Х., Кольцова Г.А., Рамазанов Р.Я.* Почвы Башкортостана. Т. 1. Воспроизводство плодородия: зонально-экологические аспекты. Уфа: Изд-во Гилем, 1977. 309 с.
14. *Берсенева А.О., Ломанцов А.А., Брехов П.Т.* Влияние удобрений и извести на структуру урожая озимой пшеницы // Вестн. студ. научн. общ-ва. 2017. Т. 8. № 1. С. 43–44.
15. *Мязин Н.Г., Кожокина А.Н.* Влияние удобрений на изменение содержания элементов питания в почве, продуктивность и качество корнеплодов сахарной свеклы // Вестн. Воронеж. ГАУ. 2013. № 3 (38). С. 15–21.
16. *Брехов П.Т.* Влияние удобрений и извести на урожай и качество озимой пшеницы на черноземе выщелоченном // Современные проблемы сохранения плодородия черноземов. Мат-лы Междунаро. научн.-практ. конф., посвящ. 170-летию В.В. Докучаева / Под ред. Бухтоярова Н.И., Дерканосовой Н.М., Гулевского В.А. 2016. С. 46–50.
17. *Берсенева А.О., Аникеева А.Ю., Брехов П.Т.* Эффективность удобрений и извести на черноземе выщелоченном в стационарном опыте // Вестн. студ. научн. общ-ва. 2019. Т. 10. № 1. С. 12–14.
18. *Глазунова Н.М.* О равновесии между фосфатами почвы и солевым раствором // Бюл. ВИУА. 1976. № 28. С. 14–20.

Effect of Defecate on Agrochemical Properties and Buffering Capacity of Leached Chernozem of the Pre-Ural Steppe Zone of the Republic of Bashkortostan

D. H. Fazylyanov^{a, #}, F. I. Nasyrova^a, and G. A. Himaletdinova^b

^aUfa Institute of Biology UfaSC RAS
prosp. October 69, Ufa 450054, Russia

^bAgrochemical Service Center "Bashkirsky"
ul. Richarda Sorge 19/1, Ufa 450059, Russia

[#]E-mail: nazyfli@mail.ru

The influence of calcareous material — defecate of sugar beet production on the agrochemical properties of leached chernozem and acid-base buffering of the soil in the field production experience was studied. The introduction of sugar production defecate (at a dose of 6.5 t/ha) into the steam field in leached chernozem contributed to a decrease in soil acidity and a significant increase in the buffer area in the acid range. The amount of exchangeable calcium in the soil has increased markedly and

Key words: leached chernozem, defecate, yield, agrochemical properties of soil, buffering.