

ВЛИЯНИЕ ИЗВЕСТКОВАНИЯ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ЛЕГКОСУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЫ ОТХОДАМИ ПРОИЗВОДСТВА ОАО «БЕЛОРУССКИЙ ЦЕМЕНТНЫЙ ЗАВОД» И ДОЛОМИТОВОЙ МУКОЙ НА РЕАКЦИЮ ПОЧВЫ, СОДЕРЖАНИЕ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ И ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВЕ И ЗЕРНЕ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ

В. Б. ВОРОБЬЕВ, О. И. МИШУРА, М. Л. РАДКЕВИЧ

УО «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия», г. Горки, Республика Беларусь, 213407, e-mail: agrohimpbgsa@mail.ru

(Поступила в редакцию 02.06.2023)

В статье представлена сравнительная оценка влияния известкования доломитовой мукой, байпасной пылью и пылью электрофильтра ЦПИ на реакцию почвенной среды, содержание в почве подвижных соединений меди, цинка, марганца, свинца и кадмия валовое содержание меди, цинка, марганца, свинца, кадмия в растительной продукции. Известкование доломитовой мукой снижало обменную кислотность пахотного горизонта на 0,97 единицы (с $pH_{kcl} = 5,56$ до $pH_{kcl} = 6,53$), байпасной пылью и пылью электрофильтра ЦПИ до $pH_{kcl} = 6,62$ и $pH_{kcl} = 6,69$ соответственно. Известкование материалами не оказывало влияния на содержание в почве и зерне озимой пшеницы меди, цинка, свинца и кадмия, но снижало содержание марганца в почве. Содержание тяжелых металлов в зерне находилось в пределах гигиенических нормативов, а в почве – ниже ОДК. По действию байпасная пыль и пыль электрофильтра ЦПИ при возделывании озимой пшеницы не уступали доломитовой муке.

Ключевые слова: *озимая пшеница, известковые удобрения, микроэлементы, тяжелые металлы, реакция почвы.*

The article presents a comparative assessment of the effect of liming with dolomite flour, bypass dust and dust from the electrostatic precipitator of the central processing plant on the reaction of the soil environment, the content of mobile compounds of copper, zinc, manganese, lead and cadmium in the soil, and the gross content of copper, zinc, manganese, lead, cadmium in plant products. Liming with dolomite flour reduced the exchangeable acidity of the arable horizon by 0.97 units (from $pH_{kcl} = 5.56$ to $pH_{kcl} = 6.53$), with bypass dust and dust from the electric precipitator of the central processing plant to $pH_{kcl} = 6.62$ and $pH_{kcl} = 6.69$, respectively. Lime materials did not affect the content of copper, zinc, lead and cadmium in the soil and grain of winter wheat, but reduced the content of manganese in the soil. The content of heavy metals in grain was within hygienic standards, and in the soil – below the maximum permissible concentration. The effect of bypass dust and dust from the CPI electrostatic precipitator during the cultivation of winter wheat was not inferior to dolomite flour.

Key words: *winter wheat, lime fertilizers, microelements, heavy metals, soil reaction.*

Введение

Современные технологии производства цемента неразрывно связаны с накоплением больших количеств таких пылевидных отходов, как байпасная пыль и пыль электрофильтров ЦПИ. Остро встала проблема их утилизации и рационального использования. Эти отходы в своем составе могут иметь примеси тяжелых металлов и отличаются высоким содержанием $CaCO_3$, благодаря которому их можно использовать в качестве известковых материалов. При этом важно знать, какова эффективность их применения при известковании кислых почв и не способствуют ли они накоплению тяжелых металлов в растительной продукции и почве.

Химизация сельского хозяйства проводится путем использования минеральных, органических удобрений и известкования кислых почв, является основным путем повышения эффективного и потенциального плодородия почв Беларуси.

Получать высокие и устойчивые урожаи на кислых почвах можно только после проведения комплекса агротехнических мероприятий. Особенно важно оптимизировать реакцию почвенной среды при применении интенсивных технологий возделывания сельскохозяйственных культур, так как интенсивные сорта зерновых культур весьма требовательны к реакции среды [1].

Известкование имеет определенную связь с применением удобрений, в принципе, это приемы, дополняющие друг друга. Известкование ускоряет минерализацию и мобилизацию питательных веществ, то есть улучшает питание, но уменьшает их запасы на будущее. На сильнокислых почвах отмечается пониженная эффективность минеральных удобрений, во многих случаях внесение извести существенно увеличивает отдачу от туков. Но имеется и немало данных об их антагонизме, хотя чаще эффективность минеральных удобрений повышается [1].

Многие исследователи отмечают природоохранные функции известкования, сводимые в основном к снижению подвижности тяжелых металлов, снижению засоренности посевов, активизации

деятельности полезных микроорганизмов, улучшению азотного и фосфатного режимов питания растений [2, 3, 4].

Многие из достоинств известкования кислых почв раскрыты в работах И. А. Шильникова [5]. В этих работах подчеркиваются такие важные моменты: 1 т CaCO_3 обеспечивает за ротацию в среднем около 5 ц зерна; на известкованных почвах на 15–20 % ниже оптимальные дозы азотных и фосфорных удобрений; при pH 6,2–6,5 снижается поступление в растения тяжелых металлов; улучшает биологические параметры; снижается поступление радиостронция; уменьшаются потери калия от вымывания на легких почвах. Основная проблема при проведении известкования – значительные потери карбонатов, составляющие на дерново-подзолистых почвах 350–450 кг/га в год [6, 7].

В целом, очевидно, что избыточная кислотность часто является фактором, лимитирующим нормальный рост и развитие растений, и единственным кардинальным путем оптимизации кислотности является известкование. Оно улучшает питательный режим, снижает действие токсичных и радиоактивных элементов, активизирует микробиологическую деятельность, а в ряде случаев улучшает физические свойства почв [3].

Цель исследований заключалась в оценке возможности использования байпасной пыли и пыли электрофильтра ЦПИ в качестве материалов для известкования дерново-подзолистых почв.

Основная часть

Исследования проводили в 2021–2022 годах на территории УНЦ «Опытные поля БГСХА». В этом опыте на удобренном ($\text{N}_{90}\text{P}_{60}\text{K}_{60}$) фоне изучалась эффективность известкования кислой дерново-подзолистой почвы полной дозой доломитовой муки, байпасной пыли и пыли электрофильтра ЦПИ, рассчитанных по $\text{pH}_{\text{ккл}}$. Контролем служил вариант без известкования.

Объектом исследования была озимая пшеница сорта Василиса. Почва опытного участка дерново-подзолистая легкосуглинистая, развивающаяся на лессовидном суглинке, подстилаемом моренным суглинком с глубины около 1 м. Пахотный горизонт участка, подобранного для посева озимой пшеницы перед закладкой опыта имел слабокислую реакцию среды ($\text{pH}_{\text{ккл}}=5,56$) и характеризовался низким содержанием гумуса (1,2 %), повышенным содержанием подвижных соединений фосфора (246,7 мг/кг) и высоким содержанием подвижного калия (329,4 мг/кг). Почва перед проведением предпосевной культивации была произвесткована из расчета 5 т/га CaCO_3 . С учетом содержания в известковых материалах CaCO_3 и их плотности сложения было внесено 5,3 т/га физической массы доломитовой муки, 4,4 т/га байпасной пыли и 5,6 т/га пыли электрофильтра ЦПИ. До посева были внесены минеральные удобрения в дозе $\text{N}_{14}\text{P}_{60}\text{K}_{90}$ в виде аммофоса и хлористого калия. Ранневесеннюю подкормку озимой пшеницы (в дозе 60 кг д.в./га) проводили после окончания поверхностного и внутрипочвенного стока избыточной влаги. В это время растения начали активно вегетировать, а среднесуточная температура воздуха превысила +5 °С. Вторая азотная подкормка проводилась в конце фазы кушения – начале фазы выхода в трубку, перед появлением над землей первого узла. Доза второй азотной подкормки составила 30 кг д.в./га. При этом в качестве азотного удобрения использовался карбамид. Агротехника возделывания общепринятая для Беларуси. Исследования велись в трехкратной повторности. Площадь делянки – 20 м². Учет урожая зерна и соломы проводился сплошным обмолотом в фазу полного созревания. Результаты исследований подвергнуты дисперсионному анализу по Б.А. Доспехову.

Изучение реакции пахотного горизонта в образцах почвы, отобранных после уборки озимой пшеницы, показало, что известкование, проведенное доломитовой мукой, снизило обменную кислотность пахотного горизонта на 0,97 единицы (с $\text{pH}_{\text{ккл}} = 5,56$ до $\text{pH}_{\text{ккл}} = 6,53$) (табл. 1). На фоне известкования байпасной пылью и пылью электрофильтра ЦПИ обменная кислотность почвы снизилась соответственно до $\text{pH}_{\text{ккл}} = 6,62$ и $\text{pH}_{\text{ккл}} = 6,69$. При этом различия в значении данного показателя, полученными при применении в качестве известкового материала доломитовой муки, байпасной пыли и пыли электрофильтра ЦПИ оказались незначительными.

Таблица 1. Реакция среды пахотного горизонта после уборки озимой пшеницы, возделываемой на фоне известкования почвы доломитовой мукой и отходами цементного производства

Варианты опыта	Реакция почвенной среды после уборки	
	$\text{pH}_{\text{ккл}}$	\pm фон
Без известкования (фон)	5,56	
Доломитовая мука	6,53	0,97
Байпасная пыль	6,62	1,06
Пыль электрофильтра ЦПИ	6,69	1,13
НСР_{05}	0,396	

К тяжелым металлам относятся химические элементы с атомной массой более 50 атомных единиц и удельным весом свыше 5 г/см³ [3]. Среди них довольно много микроэлементов, являющихся необходимыми и незаменимыми компонентами живых организмов. Такие элементы называются эссенциальными. Они ускоряют и регулируют физиологические процессы и являются токсичными лишь при высоких концентрациях. В условиях Республики Беларусь наиболее распространенными являются такие эссенциальные элементы, как медь, цинк, марганец, железо. При этом первые три из них используются в качестве микроудобрений. Их дефицит или избыток в организме человека снижает его устойчивость к неблагоприятным факторам окружающей среды, нарушает работу иммунной и антиоксидантной защиты, повышает риск развития распространенных заболеваний, снижает качество жизни и эффективность лечебных мероприятий. Среди неэссенциальных загрязнителей окружающей среды широко встречаются свинец и кадмий, относящиеся к первому, то есть к высшему классу опасности [8, 9].

В наших исследованиях в зерне озимой пшеницы содержание меди по вариантам опыта составило 1,95–2,15 мг/кг, цинка – 14,1–14,95 мг/кг, марганца – 26,0–30,0 мг/кг (табл. 2).

Таблица 2. Содержание микроэлементов и тяжелых металлов в зерне озимой пшеницы, возделываемой на фоне известкования почвы доломитовой мукой и отходами цементного производства

Варианты опыта	Микроэлементы, мг/кг			Тяжелые металлы, мг/кг	
	Cu	Zn	Mn	Pb	Cd
Без известкования (фон)	2,15	14,35	28,00	0,34	0,00
Доломитовая мука	1,95	14,95	26,00	0,32	0,00
Байпасная пыль	2,10	14,55	27,50	0,10	0,00
Пыль электрофильтра ЦПИ	2,10	14,10	30,00	0,00	0,00
НСР ₀₅	0,267	0,554	5,410		

Проведение известкования, как доломитовой мукой, так и отходами цементного производства не повлияло на содержание меди в зерне озимой пшеницы. Содержание меди в зерне озимой пшеницы было значительно меньше допустимых гигиенических нормативов [3].

Следует отметить, что известкование почвы до посева озимой пшеницы не оказывало влияния на содержание цинка в зерне, которое находилось в пределах 14,10–14,95 мг/кг. Разница между вариантами опыта незначительна и находится в пределах ошибки опыта. В результате исследований установлено, что применение доломитовой муки, пыли электрофильтра ЦПИ и байпасной пыли равноценно. Содержание цинка в зерне во всех вариантах опыта было также значительно ниже допустимых гигиенических нормативов для зерна и не представляет никакой опасности.

Проведенные исследования позволили установить, что известкование почвы доломитовой мукой и байпасной пылью не оказывает влияния на содержание марганца в зерне.

В почве по вариантам опыта содержание меди было средним, цинка высоким [8]. Под влиянием вышеизученных известковых материалов содержание меди и цинка в почве не изменялось.

Исследования, проведенные с озимой пшеницей, показали, что известкование влияет на доступность для растений марганца. На известкованных почвах снижается подвижность марганца (табл. 3).

Таблица 3. Содержание микроэлементов и подвижных соединений тяжелых металлов в почве при возделывании озимой пшеницы на фоне известкования почвы доломитовой мукой и отходами цементного производства

Варианты опыта	Микроэлементы, мг/кг			Тяжелые металлы, мг/кг	
	Cu	Zn	Mn	Pb	Cd
Без известкования (фон)	1,98	6,51	43,0	6,07	0,000
Доломитовая мука	2,02	6,37	18,5	5,66	0,005
Байпасная пыль	1,92	6,39	17,0	5,48	0,000
Пыль электрофильтра ЦПИ	1,86	6,13	15,5	5,00	0,000
НСР ₀₅	0,153	0,399	8,535	0,638	

Так как для растений будет наблюдаться недостаток марганца, следует при возделывании озимой пшеницы и других культур применять соответствующие микроудобрения. Под влиянием известкования доломитовой мукой, байпасной пыли, пыли электрофильтра ЦПИ содержание марганца в почве снизилось от среднего до низкого (табл. 3).

Содержание в почве свинца в опыте с озимой пшеницей колебалось в пределах от 5 до 6,07 мг/кг и было максимальным в фоновом варианте. Необходимо отметить, что оно было значительно ниже ОДК [9]. При внесении доломитовой муки и байпасной пыли содержание свинца по сравнению с фоном в почве не изменилось, пыли электрофильтра ЦПИ – снизилось содержание свинца в почве. В результате проведенных исследований установлено, что в почве без известкования и при внесении доломитовой муки, байпасной пыли и пыли электрофильтра ЦПИ лишь при применении доломитовой муки

обнаружены следы по содержанию кадмия. Таким образом, содержание кадмия в почве при известковании всеми изучаемыми формами известковых материалов было значительно ниже ОДК [3].

В зависимости от вариантов опыта урожайность зерна озимой пшеницы находилась в пределах от 57,48 до 75,82 ц/га. Наименьшее значение данного показателя было отмечено на делянках без известкования. Известкование почвы доломитовой мукой увеличило урожайность зерна в среднем на 18,34 ц/га, байпасной пылью и пылью электрофилтра ЦПИ соответственно на 17,34 и 16,76 ц. Такая высокая прибавка урожайности (в среднем на 22,6–24,2 %) объясняется в первую очередь тем, что озимая пшеница гораздо лучше произрастает на почвах с близкой к нейтральной реакцией среды и плохо переносит кислые почвы.

Вместе с тем следует отметить, что различия в урожайности зерна озимой пшеницы между вариантами с применением доломитовой муки и отходов цементного производства оказались в пределах наименьшей существенной разницы ($НСР_{05} = 5,91$ ц/га). Это говорит о том, что известкование почвы байпасной пылью, и пылью электрофилтра ЦПИ оказало практически такое же влияние на урожайность зерна изучаемой культуры, как и общепринятое известкование доломитовой мукой. В этих же вариантах опыта равновеликой оказалась и урожайность соломы (56,12–56,24 ц/га).

Следует отметить, что такая, достаточно высокая прибавка урожайности зерна озимой пшеницы при известковании доломитовой мукой и отходами цементного производства связана с тем, что оптимальная реакция для озимой пшеницы близкая к нейтральной ($pH_{KCl} 6,0–6,5$). Такая реакция почвы и достигалась при известковании в опыте.

Заключение

В опыте с озимой пшеницей известкование почвы доломитовой мукой, снизило обменную кислотность пахотного горизонта на 0,97 единицы (с $pH_{KCl} = 5,56$ до $pH_{KCl} = 6,53$), байпасной пылью и пылью электрофилтра ЦПИ обменная кислотность почвы снизилась соответственно до $pH_{KCl} = 6,62$ и $pH_{KCl} = 6,69$. При этом различия в значении данных показателей, полученных на фоне изучаемых вариантов, были несущественными.

Применение байпасной пыли и пыли электрофилтра ЦПИ в качестве известкового материала не способствует накоплению в почве подвижных соединений меди, цинка, марганца, свинца, кадмия и их валового содержания в зерне озимой пшеницы.

Известкование кислой дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы доломитовой мукой и отходами цементного производства увеличило урожайность зерна озимой пшеницы по сравнению с вариантом без известкования (57,48 ц/га) на 16,76–18,34 ц/га. При этом различия в урожайности зерна между вариантом с применением доломитовой муки, байпасной пыли и пыли электрофилтра ЦПИ были несущественными.

Содержание в зерне озимой пшеницы меди, свинца и кадмия было при известковании байпасной пылью и пылью электрофилтра ЦПИ значительно ниже допустимых гигиенических нормативов, а содержание меди, цинка, свинца и кадмия в почве значительно ниже ОДК.

ЛИТЕРАТУРА

1. Клебанович, Н. В. Известкование почв Беларуси / Н. В. Клебанович, Г. В. Васюк. – Мн.: БГУ, 2003. – 322 с.
2. Овчаренко, М. М. Почвенное плодородие и содержание тяжелых металлов в растениях / М. М. Овчаренко, Г. А. Графская, И. А. Шильников // Химия в сельском хозяйстве. – 1996. – № 5. – С. 40–43.
3. Агрохимия. Удобрения и их применение в современном земледелии: учебно-методическое пособие / И. Р. Вильдфлуш [и др.]; под ред. И. Р. Вильдфлуша. – Горки: БГСХА, 2019. – 405 с.
4. Минеев, В. Г. Агрохимия: учебник / В. Г. Минеев, В. Г. Сычев. – М: Из-во ВНИИА им Д.Н. Прянишникова, 2017. – 854 с.
5. Шильников, И. А. Факторы, влияющие на поступление тяжелых металлов в растения / И. А. Шильников, Л. А. Лебедева, С. Н. Лебедев // Агрохимия. – 1994. – № 10. – С. 94–101.
6. Шильников, И. А. Эффективность сочетания известковых и минеральных удобрений под зерновые культуры в длительном стационарном опыте / Шильников И. А., Удалова Л. П., Аканова Н. И. // Агрохимия. – 1997. – № 4. – С. 34–39.
7. Справочник агрохимика / В. В. Лапа [и др.]; под ред В. В. Лапа. – Минск; ИВЦ Минфина, 2021. – 260 с.
8. Эффективность применения микроудобрений и регуляторов роста при возделывании сельскохозяйственных культур / И. Р. Вильдфлуш [и др.]. – Минск: Беларуская навука, 2011. – 293 с.
9. Агрохимия: учебник / И. Р. Вильдфлуш [и др.]; под ред. И. Р. Вильдфлуша. – Минск: ИВЦ Минфина, 2013. – 704 с.