

УДК 631.821:631.445.41:631.879

ИЗВЕСТКОВАНИЕ ЧЕРНОЗЕМА ВЫЩЕЛОЧЕННОГО ФИЛЬТРАЦИОННЫМ ОСАДКОМ САХАРНОГО ЗАВОДА

© 2022 г. А. Х. Куликова¹, Е. А. Черкасов², Д. А. Лобачев², К. Ч. Хисамова^{2,*}¹Ульяновский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина
432017 Ульяновск, бул. Новый Венец, 1, Россия²Станция агрохимической службы “Ульяновская”
432025, Ульяновск, ул. Маяковского, 35, Россия*E-mail: agrohim_73@mail.ru

Поступила в редакцию 08.04.2022 г.

После доработки 02.06.2022 г.

Принята к публикации 12.07.2022 г.

В полевом опыте (2017–2021 гг.) изучили действие фильтрационного осадка АО “Ульяновский сахарный завод” в качестве известкового материала для нейтрализации кислотности чернозема выщелоченного на территории землепользования ООО “Хлебороб” Ульяновского р-на Ульяновской обл., характеризующегося высокой культурой земледелия. Дозы CaCO_3 рассчитывали по величинам гидролитической и обменной кислотности. Фильтрационный осадок вносили по схеме, варианты: 1 – контроль без внесения, 2 – CaCO_3 6.1 т/га, 3 – CaCO_3 4.5 т/га. Установили, что применение фильтрационного осадка позволило снизить кислотность почвы в зависимости от дозы внесения CaCO_3 в первый год на 1.1 ед. pH_{KCl} , гидролитическую кислотность – на 2.94 ммоль/100 г, в последующие годы – на 0.4–0.6 ед. pH_{KCl} и 2.27–2.88 ммоль/100 г почвы соответственно. Известкование почвы фильтрационным осадком значительно улучшало питательный режим чернозема выщелоченного. Содержание доступных форм фосфора и калия на 3-й год исследования увеличилось по сравнению с исходным уровнем на 30–50 и 11–32 мг/кг почвы соответственно. В первый год внесения фильтрационного осадка более высокая урожайность ячменя (6.40 т/га) сформировалась в варианте с внесением мелиоранта в дозе 4.5 т CaCO_3 /га, во 2-й и 3-й годы наблюдали одинаковую прибавку урожайности озимой и яровой пшеницы на 0.34, 0.48 и 0.47 т/га соответственно в зависимости от варианта опыта. В 2020 г. наиболее высокую в данном опыте прибавку урожайности зерна яровой пшеницы наблюдали при внесении в почву 6.1 т CaCO_3 /га (0.75 т/га). В 2021 г. более высокую прибавку урожайности семян подсолнечника (0.28 т/га) отметили при применении мелиоранта в дозе 4.5 т/га.

Ключевые слова: фильтрационный осадок, ячмень, озимая и яровая пшеница, подсолнечник, урожайность, экономическая эффективность.

DOI: 10.31857/S0002188122100052

ВВЕДЕНИЕ

Проблема повышения урожайности сельскохозяйственных культур и получения экологически безопасной и качественной продукции была и остается главной в обеспечении продовольственной безопасности страны. Одним из основных факторов, ограничивающих повышение их продуктивности, является наличие в регионах активного земледелия больших площадей кислых почв. В частности, на 01.01.2022 г. кислые почвы в Ульяновской обл. составили 728.6 тыс. га от обследованной площади сельскохозяйственных угодий в 1491.2 тыс. га, или 48.8% пашни. Более того, в связи с практическим прекращением объемов известкования в конце прошлого века и по настоящее время процесс подкисления почв

пашни продолжается, площади с нейтральной и близко к нейтральной реакцией среды сокращаются, соответственно увеличиваются площади среднекислых почв.

Нет необходимости доказывать, что кислые почвы губительны для возделываемых культур и полезной микрофлоры. В них усложняется поступление кальция в растения, сосуды корневых волосков закупориваются, угнетается деятельность нитрификаторов, азотфиксаторов, увеличивается подвижность тяжелых металлов, повышается содержание в почве подвижных алюминия и марганца до токсичных количеств [1]. Известно также, что эффективным, радикальным средством устранения кислотности является из-

весткование почв, т.е. внесение материалов, содержащих CaCO_3 и MgCO_3 [2–5].

Ульяновская область богата месторождениями известковых материалов. Например, мел Шиловского месторождения содержит до 98.5% CaCO_3 и MgCO_3 . Однако добыча мела в целях известкования кислых почв приостановлена. В сложившейся обстановке и крайней необходимости устранения кислотности почв хорошей альтернативой известки могут стать отходы сахарного производства. Сахарная промышленность относится к материалоемким видам производства, в которых объем сырья и основных вспомогательных производственных материалов в несколько раз превышает выход готовой продукции. Соответственно велик объем побочных продуктов и отходов и следовательно появляется проблема их утилизации. Таким отходом является фильтрационный осадок (дефекат), содержащий в своем составе значительное количество углекислого кальция и углекислого магния. Наличие на территории области крупного сахарного завода с ежегодным объемом фильтрационного осадка >20 тыс. т предполагает возможность эффективного использования его в качестве известкового материала.

В связи с вышеизложенным целью работы – изучение эффективности известкования чернозема выщелоченного с pH_{KCl} 5.52 фильтрационным осадком Ульяновского сахарного завода, в том числе влияния его на агрохимические показатели и урожайность сельскохозяйственных культур.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проводили на территории земледельческого ООО “Хлебороб” Ульяновской обл. Почва опытного поля – чернозем выщелоченный тяжелосуглинистый с содержанием гумуса по Тюрину (в модификации ЦИНАО) – 6.9%, подвижного фосфора (P_2O_5 по Чирикову) – 95 мг/кг, обменного калия (K_2O по Чирикову) – 128 мг/кг, серы – 5.6 мг/кг; pH_{KCl} – 5.22, H_f – 6.65 ммоль/100 г, Ca – 22.0 ммоль/100 г, Mg – 4.87 ммоль/100 г, Cu – 5.2 мг/кг, Mn – 20.8 мг/кг, Zn – 0.42 мг/кг почвы, сумма поглощенных оснований – 46.1 ммоль/100 г. Содержание солей тяжелых металлов в валовой и подвижной формах не превышало ПДК ни одного элемента.

Полевой опыт заложен в 3-х вариантах и в четырехкратной повторности осенью 2016 г. по следующей схеме, варианты: 1 – контроль – без удобрений и мелиоранта, 2 – внесение фильтра-

ционного осадка (CaCO_3) в дозе, рассчитанной по гидролитической кислотности (H_f) – 6.1 т/га, 3 – внесение фильтрационного осадка (CaCO_3) в дозе, рассчитанной по обменной кислотности (рН) – 4.5 т/га. Общая площадь делянки составляла 88 м² (11 × 8 м), учетная – 54 м² (9 × 6 м), соответственно, общая площадь одной повторности – 264 м², всего опытного участка – 1056 м². В качестве известкового материала использовали фильтрационный осадок АО “Ульяновский сахарный завод”, расстояние перевозки мелиоранта – 50 км.

Фильтрационный осадок образуется при очистке свекловичного сока путем добавления к нему известкового раствора. Его выход от веса переработанной массы составляет 10–12%. Фильтрационный осадок, полученный на заводе в качестве отхода свеклосахарного производства не отдельного способа приготовления, имел высокую влажность до 40–60%. Однако при хранении на специальных картах-отстойниках его влажность значительно уменьшалась (до 17–20%). По мере снижения в указанном материале влажности в нем возрастало относительное содержание органических и минеральных веществ. В пересчете на сухое вещество в нем могло содержаться до 70–80% углекислого кальция и углекислого магния, 0.2–0.4% – азота, 0.15–0.5% – P_2O_5 , 0.3–0.5% – K_2O , а также другие макро- и микроэлементы и до 10–20% органических веществ. В фильтрационном осадке АО “Ульяновский сахарный завод”, использованном при проведении опыта, содержание $\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$ составляло 43.8%, органического вещества – 12.6%, серы – 74 мг/кг, азота – 0.17%, фосфора (P_2O_5) – 0.41%, калия (K_2O) – 0.43%, микроэлементов: Zn – 6.6, Cu – 1.1, Mn – 43.3 мг/кг. Фильтрационный осадок находился на хранении более 3-х лет. Фильтрационный осадок вносили осенью 2016 г. вручную, равномерно распределяя по поверхности почвы, заделку осуществляли дисковыми боронами (БДМ 4 × 4) на глубину 14–16 см.

Определение дозы мелиоранта проводили двумя способами: по величине гидролитической кислотности и по ожидаемому сдвигу pH_{KCl} от внесения 1 т CaCO_3 [6]. По величине гидролитической кислотности дозу CaCO_3 определяли по формуле: доза $\text{CaCO}_3 = 0.05 \times H_f \times d \times h$, где H_f – гидролитическая кислотность, ммоль/100 г = 5.11, d – плотность почвы, г/см³ = 1.09, h – глубина пахотного слоя почвы, см = 22. Доза $\text{CaCO}_3 = 0.05 \times 5.1 \times 1.09 \times 22 = 6.11$ т/га. Доза фильтрационного осадка при этом составила 20.1 т/га. Доза CaCO_3 , определенная по нормативам ожидаемого

повышения pH_{KCl} от внесения 1 т $CaCO_3$, учитывающих содержание гумуса и гранулометрический состав (для данной почвы равна 0.09 ед. pH) составила: 4.5 т/га (0.4 : 0.09). При этом величину pH_{KCl} планировали довести до 5.6 ед., т.е. близкой к нейтральной, планируемая величина сдвига pH при этом составила: $pH = 5.6 - 5.2 = 0.4$ ед. Доза фильтрационного осадка при данном расчете равна 14.8 т/га. Таким образом, доза $CaCO_3$, определенная по величине H_T , составила 6.1, по величине $pH_{KCl} - 4.5$ т/га.

За годы исследования на опытном участке возделывали следующие культуры: яровой ячмень сорта Камашевский (2017 г.), озимую пшеницу сорта Марафон (2018 г.), яровую пшеницу сорта Бурлак (2019 и 2020 г.), гибрид подсолнечника Саванна (2021 г.).

Метеорологические условия вегетационных периодов по годам исследования имели следующие особенности: весной 2017 г. сложились не характерные для области прохладные погодные условия и наблюдали превышение нормы выпавших осадков на 13.5 мм. Сумма эффективных температур $>10^\circ C$ за вегетационный период составила $1617^\circ C$ (при норме $1773^\circ C$). В 2018 г. средняя температура мая составила $15.6^\circ C$ (на $2.1^\circ C$ больше нормы). Осадков выпало в 2 раза меньше среднегодовых показателей. В июне и июле температура воздуха была незначительно выше нормы, что отразилось на урожайности культур. 2019 г. отличался переменными погодными условиями: недостаток влаги в начале вегетации культур и избыток – во второй половине (превышение нормы в 2.6 раза). Среднесуточные температуры соответствовали норме. В 2020 г. в начале вегетации культур отмечали небольшое превышение среднесуточных температур. В июне выпала двойная норма осадков. Вегетационный период 2021 г. характеризовался превышением температурных норм особенно в июле и неравномерным выпадением осадков. Тем не менее, в среднем условия вегетации соответствующих культур были относительно благоприятными.

Отбор образцов почвы для определения агрохимических показателей проводили во время уборки возделываемых культур. Организацию полевого опыта, проведение лабораторных анализов и наблюдений осуществляли по общепринятым методикам и ГОСТам. Все анализы почвенных и растительных образцов проводили в аккредитованной агрохимической лаборатории САС “Ульяновская”, имеющей аттестат аккредитации (№ RA.RU. 510251). Обменную кислотность определяли по ГОСТ 26483-85, гидролити-

ческую кислотность – по ГОСТ 26212-91, содержание органического вещества (гумуса) – по (ГОСТ 26213-91), азота нитратного – по ГОСТ 26951-86, азота обменного аммония – по ГОСТ 26489-85, подвижных формы фосфора и калия – по методу Чирикова в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26204-91). Обработку данных проводили в соответствии с методическими указаниями и инструкциями научных учреждений и организаций МСХ РФ.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Динамика кислотности почвы. Поглотительная способность почвы является одним из главных ее свойств. Среди поглощенных катионов преобладает кальций. Последнее связано с его высокой способностью к внедрению и слабой способностью к вытеснению из почвенного поглощающего комплекса (ППК). Ион водорода, несмотря на малые концентрации его в почвенном растворе, также способен накапливаться в почвах в больших количествах. Присутствие его в ППК обуславливает кислую реакцию среды почвенного раствора. При внесении в кислую почву $CaCO_3$ происходит реакция обмена и нейтрализация ее кислотности [7, 8].

Результаты исследования показали, что за весь период наблюдений (2016–2021 гг.) прослежено устойчивое снижение избыточной кислотности почвы. Уже в первый год (2017 г.) в варианте с внесением $CaCO_3$ в дозе 6.1 т/га снижение обменной кислотности составило 1.1 ед. pH_{KCl} . В последующие годы оно составляло 1.1, 0.6, 0.5, 0.5 ед. pH соответственно (табл. 1). В варианте внесения $CaCO_3$ в дозе 4.5 т/га также наблюдали устойчивое раскисление почвы, которое составило в 2017 г. 1.1 ед. pH_{KCl} , в последующие годы – 0.4, 0.5, 0.4 ед. pH соответственно.

Гидролитическая кислотность определяется количеством ионов водорода, переходящими в раствор при взаимодействии с почвой гидролитически щелочных солей, и включает менее подвижные ионы водорода, не вытесняемые нейтральными солями [8–10]. Показано, что в варианте внесения $CaCO_3$ в дозе 6.1 т/га сдвиг H_T составил в 2017 г. 2.94 ммоль/100 г, в последующие годы – 2.71, 2.88, 2.27 и 2.53 ммоль/100 г соответственно. В варианте, где вносили $CaCO_3$ в дозе 4.5 т/га, сдвиг гидролитической кислотности в 2017 г. произошел на 3.54 ммоль/100 г, в последующие годы – на 1.63, 2.25, 2.19 и 1.9 ммоль/100 г. Произошедшие изменения, по-видимому, были обусловлены тем, что карбонат кальция в чистом

Таблица 1. Динамика обменной и гидролитической кислотности пахотного слоя чернозема выщелоченного при внесении фильтрационного осадка

Вариант		Исходный показатель	ммоль/100 г почвы				
			2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.
Контроль без внесения	pH _{KCl}	5.2	5.2	5.0	5.0	5.3	5.2
	H _T	5.0	3.5	5.5	3.9	3.8	5.1
CaCO ₃ 6.1 т/га	pH _{KCl}	5.2	6.3	6.3	5.8	5.7	5.7
	H _T	4.9	2.0	2.2	2.0	2.6	2.4
CaCO ₃ 4.5 т/га	pH _{KCl}	5.1	6.2	5.5	5.6	5.5	5.5
	H _T	5.3	1.8	3.7	3.1	3.1	3.4
HCP ₀₅			0.6	0.5	0.4	0.5	0.5
			1.2	1.2	1.5	1.5	1.6

виде нерастворим, но при внесении в почву, где в почвенном растворе постоянно присутствует диоксид углерода (CO₂), постепенно растворяется вследствие образования растворимого гидрокарбоната кальция: CaCO₃ + H₂O + CO₂ = Ca(HCO₃)₂, т.е. происходит процесс раскисления. Кроме того, необходимо отметить, что в присутствии воды, содержащейся в фильтрационном осадке (подсушенном до 20%), происходило значительное растворение CaCO₃.

Питательный режим. Формирование питательного режима почвы зависит в основном от активности микроорганизмов. В результате их деятельности происходит трансформация питательных веществ и высвобождение элементов питания в почвенный раствор [11, 12].

Азот, фосфор и калий являются необходимыми элементами питания сельскохозяйственных культур, соответственно в товарной продукции они содержатся в определенном соотношении. Растения выше перечисленные макроэлементы извлекают из почвы, величина содержания их доступных форм определяет продуктивность агро- и биоценозов [13, 14].

Внесение фильтрационного осадка оказало положительное влияние на питательный режим почвы. Показано (рис. 1), что на протяжении всех лет исследования сохранялось преимущество варианта внесения CaCO₃ в дозе 6.1 т/га. Несмотря на потребление макроэлементов на формирование урожая, в варианте с внесением фильтрационного осадка агрохимические показатели были более оптимальными для культур по сравнению с контролем. Последнее было обусловлено тем, что при внесении дефеката активизировалась биологическая активность почвы и жизнедеятельность полезных микроорганизмов [15–19].

За 2016–2021 гг. количество подвижных форм азота, фосфора и калия в почве было различным и менялось в зависимости от года. При этом на следующий год после внесения мелиоранта отмечали снижение содержания доступных форм фосфора при внесении CaCO₃ в дозе 6.1 т/га на 14%, 4.5 т/га – на 6.3%. При поступлении кальция в почву происходило связывание подвижного фосфора с образованием фосфатов кальция, что приводило к временному снижению доступности данного элемента питания для растений. В последующие годы доступность подвижного фосфора возрастала соответственно в экспериментальных вариантах на 11.9–39.6 и 6.3–53.7% (рис. 1а).

Обращает на себя внимание значительное улучшение азотного питания озимой пшеницы при внесении в почву фильтрационного осадка в 2017 г., особенно дозы 6.1 т/га. Преимущество данного варианта сохранялось в течение всей вегетации культуры. Несмотря на усиленное питание растений элементом, содержание минерального азота в пахотном слое почвы к концу вегетации составляло 20.3 мг/кг, что было на 14% больше, чем в контроле (рис. 1б). В последующие годы исследования наблюдали изменения содержания минерального азота в почве, однако выявленная закономерность сохранялась.

Обращает на себя внимание содержание обменного калия (рис. 1в) на третий и последующие годы действия мелиоранта по сравнению с 2017 г. При этом отметили повышение его содержания в вариантах от 13.3 до 456%. Следовательно, можно утверждать наличие пролонгированного действия фильтрационного осадка на свойства почвы.

Среди наиболее необходимых элементов, играющих жизненно важную роль в питании сельскохозяйственных культур, сера (S) занимает особое место. Хотя количество потребления ее расте-

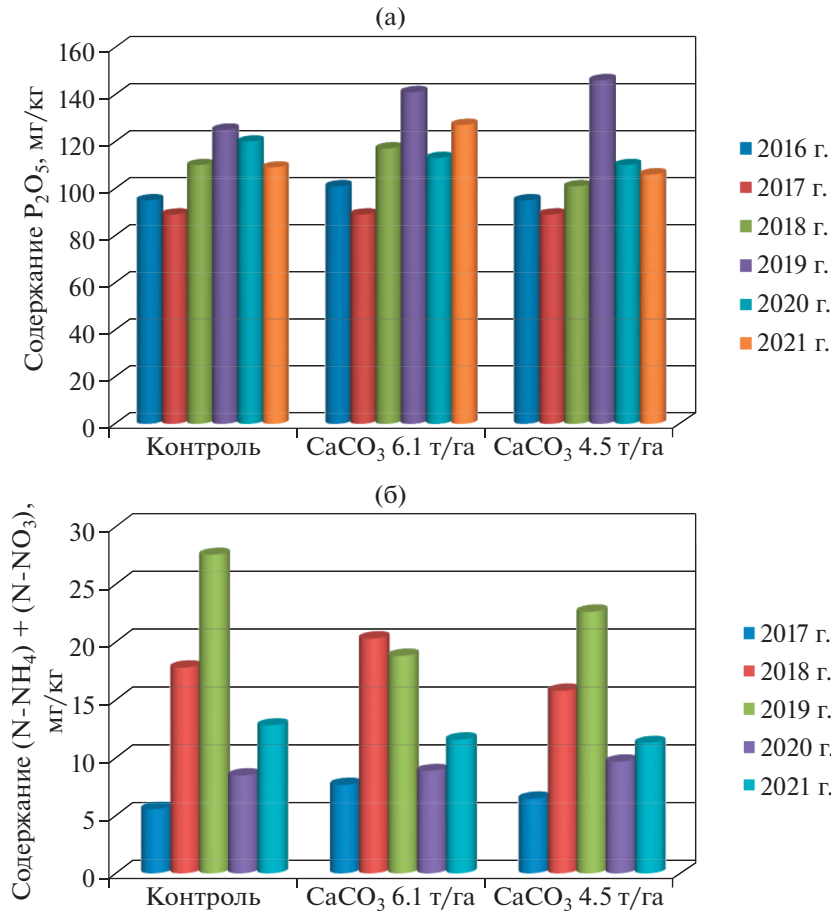


Рис. 1. Влияние фильтрационного осадка на содержание доступного фосфора (а), минерального азота ($N-NH_4$) + ($N-NO_3$) (б) и обменного калия (в) и серы (г) в пахотном слое чернозема выщелоченного, мг/кг.

ниями не столь велико по сравнению с азотом, фосфором и калием, для полноценного роста и развития растений она имеет важное значение. Заменить ее другими элементами питания невозможно [20]. За годы исследования прослежена тенденция к увеличению содержания доступной серы при внесении в почву $CaCO_3$ по сравнению с контрольным вариантом (рис. 1г). Более высокое содержание серы отмечали в 2018 г., содержание ее в вариантах 2 и 3 было больше на 3.4 и 4.3 мг/кг относительно исходного (2016 г.). Последнее, по-видимому, было обусловлено улучшением микробиологической активности почвы. Известно, что органические и неорганические формы серы под влиянием деятельности микроорганизмов подвергаются в почве различным превращениям. Направление трансформаций соединений серы регулируется в основном факторами внешней среды. Органические соединения серы могут быть разрушены и минерализованы. В определенных условиях восстановленные неорганические соединения серы подвергаются окислению

микроорганизмами, а окисленные (сульфаты, сульфиты и др.), наоборот, могут быть восстановлены в H_2S [15, 16].

Содержание гумуса. Содержание и запасы гумуса традиционно служат критерием оценки почвенного плодородия. Гумус является непосредственным продуктом почвообразования, что придает почве новое свойство – плодородие, которое играет основную роль в процессе жизнедеятельности растений и создания ими органического вещества из компонентов минеральных веществ [21, 22]. Поддержание бездефицитного баланса органического вещества в пахотных почвах – одна из приоритетных задач в земледелии. Динамика содержания гумуса по годам в зависимости от внесения фильтрационного осадка представлена в табл. 2. В первый год после внесения дефеката ожидаемо не произошло изменений в содержании гумуса. Однако в последующие годы наметилась устойчивая тенденция к стабилизации его содержания в пахотном слое при внесении фильтрационного осадка.

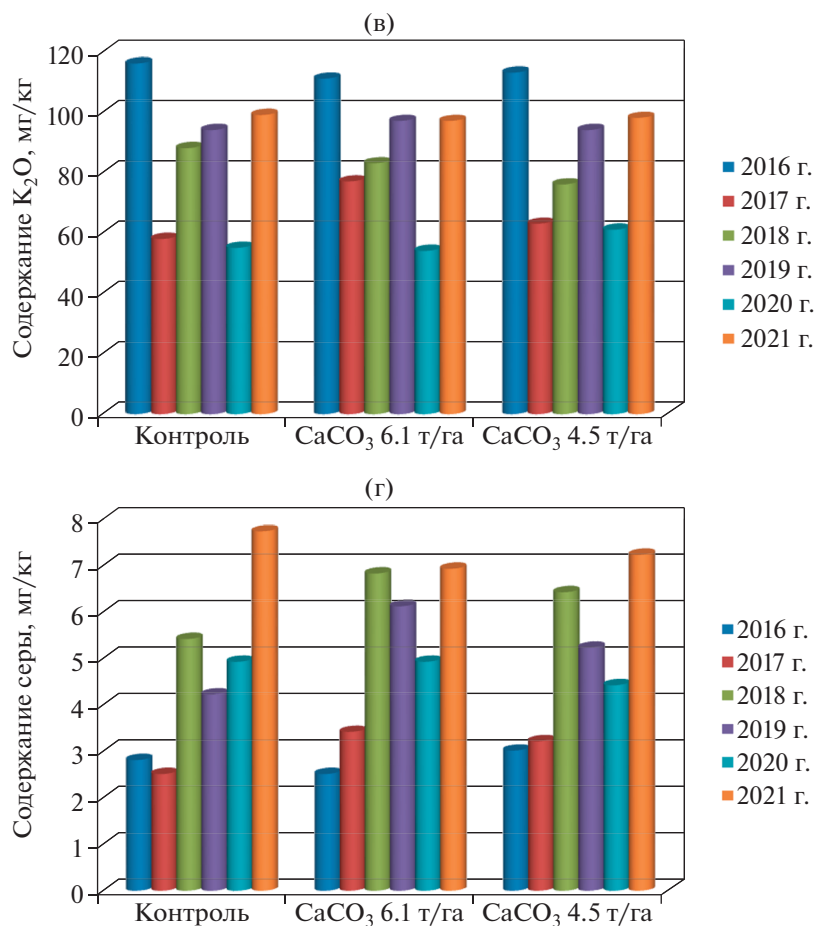


Рис. 1. Окончание

По мнению ряда авторов [23–25], внесение фильтрационного осадка оказывает положительное влияние на количество бактерий, использующих органический и минеральный азот, и уменьшает численность грибной микрофлоры в 2 раза. Показано, что коэффициент минерализации во всех вариантах проведенного опыта был равен ≈ 1 , что свидетельствовало о сбалансированности процессов минерализации, синтеза и ресинтеза органического вещества при известковании кислых почв.

Урожайность культур. Несомненно, интегральным показателем реакции растений на условия возделывания служит продуктивность культуры [21]. За период наблюдений урожайность зерна возделываемых культур в вариантах с применением фильтрационного осадка была больше, чем в контрольном варианте, за исключением 2017 г. (табл. 3). Последнее вполне объяснимо слабым взаимодействием мелиоранта с почвой в первый год внесения, тем более ячмень – культура короткого вегетационного периода. В 2018 г.

Таблица 2. Влияние фильтрационного осадка на содержание гумуса в пахотном слое чернозема выщелоченного, %

Вариант	2016 г. (до закладки опыта)	Годы исследования				
		2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.
Контроль без внесения	7.05	6.53	7.05	7.42	7.44	7.13
CaCO ₃ 6.1 т/га	7.15	6.84	6.72	7.13	6.81	7.05
CaCO ₃ 4.5 т/га	7.13	6.55	7.08	7.54	7.16	7.23
HCP ₀₅	0.31	0.32	0.26	0.56	0.42	0.34

Таблица 3. Урожайность культур в зависимости от применения фильтрационного осадка (2017–2021 г.)

Вариант	Ячмень, 2017 г.		Озимая пшеница, 2018 г.		Яровая пшеница, 2019 г.		Яровая пшеница, 2020 г.		Подсолнечник, 2021	
	т/га	± к контролю	т/га	± к контролю	т/га	± к контролю	т/га	± к контролю	т/га	± к контролю
Контроль без внесения	5.91		1.76		4.40		3.92		4.17	
CaCO ₃ 6.1 т/га	5.59	–0.32	2.10	+0.34	4.88	+0.48	4.67	+0.75	4.33	+0.16
CaCO ₃ 4.5 т/га	6.40	+0.49	2.10	+0.34	4.87	+0.47	4.25	+0.33	4.45	+0.28
HCP ₀₅	0.46		0.29		0.41		0.55		0.30	

Таблица 4. Экономическая эффективность применения фильтрационного осадка при возделывании зерновых культур (2017–2020 г.)

Вариант	Ячмень (2017 г.)		Озимая пшеница (2018 г.)		Яровая пшеница (2019 г.)		Яровая пшеница (2020 г.)	
	условный чистый доход, тыс. руб./га	рентабельность, %	условный чистый доход, тыс. руб./га	рентабельность, %	условный чистый доход, тыс. руб./га	рентабельность, %	условный чистый доход, тыс. руб./га	рентабельность, %
Контроль без внесения	49.0	225	6.3	37	48.4	200	42.4	151
CaCO ₃ 6.1 т/га	43.5	183	10.2	60	56.6	234	56.0	200
CaCO ₃ 4.5 т/га	53.6	231	10.2	60	56.6	234	48.5	173

урожайность зерна озимой пшеницы в контроле составила 1.76 т/га, в вариантах с внесением фильтрационного осадка – по 2.10 т/га, прибавка урожайности зерна составила 0.34 т/га. В 2019 г. прибавка урожайности зерна яровой пшеницы в вариантах 2 и 3 от внесения фильтрационного осадка составила по 0.48 и 0.47 т/га соответственно относительно контрольного варианта (4.40 т/га). В 2020 г. на опытном участке была посеяна яровая пшеница сорта Бурлак. Наиболее высокую урожайность отметили в варианте внесения CaCO₃ в дозе 6.1 т/га (4.67 т/га), что было на 0.75 т/га больше контроля. В варианте внесения CaCO₃ в дозе 4.5 т/га прибавка урожайности зерна яровой пшеницы была на уровне 0.33 т/га. Урожайность гибрида подсолнечника Саванна в 2021 г. была более высокой в варианте внесения CaCO₃ в дозе 4.5 т/га и составила 4.45 т/га, что было на 0.28 т/га больше контроля. Повышение урожайности культур, возделываемых при внесении фильтрационного осадка, свидетельствовало о том, что данный мелиорант способствовал созданию благоприятных почвенных условий (снижению избыточной кислотности, повышению доступности элементов

питания) для роста, развития и формирования урожая [17, 19].

Экономическая эффективность. Оценка экономической эффективности применения агротехнических приемов является важнейшим критерием, определяющим рентабельность применения новых форм мелиорантов. Расчет экономической эффективности использования фильтрационного осадка в качестве мелиоранта для зерновых культур представлен в табл. 4. При расчете экономической эффективности технологий возделывания сельскохозяйственных культур учитывали все производственные затраты и стоимость продукции. Исходя из этих данных рассчитывали остальные показатели. Из представленных данных следует, что применение фильтрационного осадка (дефеката) Ульяновского сахарного завода для известкования кислых почв было рентабельным: во все годы исследования условно чистый доход и уровень рентабельности возделывания сельскохозяйственных культур превышали контрольный вариант на 3.9–13.6 тыс. руб./га или на 6–49%.

ВЫВОДЫ

1. Использование фильтрационного осадка Ульяновского сахарного завода в качестве известкового материала сопровождалось устойчивым пролонгированным снижением избыточной кислотности почвы: за 2016–2021 гг. при внесении дозы CaCO_3 6.1 т/га снижение обменной кислотности составило соответственно по годам 1.1, 1.1, 0.6, 0.5, 0.5 ед. pH_{KCl} , при применении дозы CaCO_3 4.5 т/га – 1.1, 0.4, 0.5, 0.4, 0.4 ед. pH_{KCl} . Гидролитическая кислотность в варианте 2 (доза 6.1 т CaCO_3 /га) уменьшилась на 2.94, 2.71, 2.88, 2.27, 2.53 ммоль/100 г. почвы, в варианте 3 (доза 4.5 т CaCO_3 /га) – на 3.54, 1.63, 2.25, 2.19, 1.9 ммоль/100 г почвы соответственно годам взаимодействия мелиоранта с почвой.

2. Известкование фильтрационным осадком благоприятно влияло на питательный режим почвы: содержание минеральных соединений азота, доступных форм фосфора и обменного калия, а также серы в пахотном слое чернозема выщелоченного поддерживалось на более высоком уровне в течение всех 5-ти лет эксперимента, несмотря на усиленное питание ими возделываемых культур. В варианте 2 при внесении фильтрационного осадка в дозе 6.1 т CaCO_3 /га содержание доступного фосфора находилось в пределах 87–141 мг/кг, обменного калия – 77–143 мг/кг, в варианте 3 (внесение фильтрационного осадка в дозе 4.5 т CaCO_3 /га) количество доступного фосфора изменялось от 89 до 146, обменного калия – от 63 до 128 мг/кг, минерального азота – от 1.2 до 21.9, серы – от 0.2 до 4.9 мг/кг почвы.

3. Известкование почвы фильтрационным осадком позволило стабилизировать содержание гумуса в пахотном слое чернозема выщелоченного относительно исходных показателей.

4. Прибавка урожайности зерновых культур (ячменя, яровой и озимой пшеницы) за годы исследования составила от 0.34 до 0.75 т/га и семян подсолнечника (2021 г.) – от 0.16 до 0.28 т/га. Наиболее высокая прибавка урожайности зерна яровой пшеницы сформировалась в 2020 г. в варианте внесения CaCO_3 в дозе 6.1 т/га и составила 0.75 т/га.

5. Использование фильтрационного осадка в качестве мелиоранта в технологии возделывания сельскохозяйственных культур позволило получить продукцию с более высоким уровнем рентабельности. Уровень рентабельности производства зерновых культур с применением фильтрационного осадка был на 6–49% больше контроля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шильников И.А., Аканова Н.А., Зеленов Н.А. Известкование – главный фактор сохранения плодородия почв и повышения продуктивности сельскохозяйственных культур // Достиж. науки и техн. АПК. 2008. № 1. С. 21–23.
2. Ивойлов А.В. Эффективность удобрения и известкования выщелоченных черноземов // Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2015. 264 с.
3. Liming acid soils in central. В.С. Ministry of agriculture Angus Campbell Road Abbotsford, В.С. Revised December, 2015. 5 p.
4. Jaskulskal D., Koberski M. Effect of liming on the change of some agrochemical soil properties in a long-term fertilization experiment // Plant Soil Environ. 2014. V. 60. №. 4. P. 146–150.
5. An Y.H., Dickinson R.B., Doyle R.J. Mechanisms of bacterial adhesion and pathogenesis of implant and tissue infections // Handbook of bacterial adhesion: principles, methods, and applications. 2000. № 2. P. 1–27.
6. Рекомендации по известкованию кислых почв. МСХ СССР ВПНО “Союзсельхозхимия” // М.: Колос, 1982. 37 с.
7. Гасанова Е.С., Кожокина А.Н., Мязин Н.Г., Стекольников К.Е. Изменение показателей ППК и гумусного состояния чернозема выщелоченного при многолетнем внесении удобрений и известковании // Вестн. Воронеж. ГАУ. 2018. № 4 (59). С. 13–21.
8. Осипов А.И. История и практические аспекты известкования кислых почв в России // Агрохим. вестн. 2019. № 3. С. 28–36.
9. Литвинович А.В., Небольсина З.П. Продолжительность действия известковых мелиорантов в почвах и эффективность известкования // Агрохимия. 2012. № 10. С. 79–94.
10. Проколова Л.В., Коноплина Е.А. Воздействие фильтрационных осадков на почвенно-биотический комплекс чернозема выщелоченного // Вестн. Воронеж. ГАУ. 2011. № 1 (28). С. 31–35.
11. Козлов А.В., Куликова А.Х., Селицкая О.В., Уромова И.П. Устойчивость микробиологической активности дерново-подзолистой почвы в условиях применения диатомита и цеолита // Вестн. Томск. гос. ун-та. Биология. 2019. № 46. С. 26–47.
12. Кирпичников Н.А. Последствие фосфорных удобрений на фосфатное состояние дерново-подзолистой почвы и урожайность озимой пшеницы при известковании // Плодородие. 2021. № 3 (120). С. 49–51.
13. Пугаев С.В., Прокина Л.Н. Эффективность комплекса агрохимических средств в зернотравяно-пропашных севооборотах // Агрохимия. 2016. № 7. С. 44–51.
14. Mokolobate M.S., Haynes R.J. Comparative liming effect of four organic residues applied to an acid soil // Biol. Fertil. Soils. 2002. T. 35. № 2. С. 79–85.
15. Свирина В.А., Артюфхова О.А. Азотный режим и биологическая активность почвы под влиянием известкования и удобрений // Плодородие. 2019. № 5 (110). С. 3–6.

16. Павлова О.Ю., Литвинович А.В., Лаврищев А.В., Буре В.М. Влияние известкования различными мелиорантами на величину pH_{KCl} в свежепроизвесткованных дерново-подзолистых почвах (по данным лабораторных опытов) // *Агрохимия*. 2020. № 10. С. 58–64.
17. Балабко П.Н., Славянский А.А., Хуснетдинова Т.И., Головков А.М., Черкашина Н.Ф., Карпова Д.В., Выборова О.Н. Использование фильтрационного осадка (дефеката) в растениеводстве // *АгроЭко-Инфо*. 2013. № 1 (12). С. 6.
18. Житин Ю.И., Стекольникова Н.В. Влияние отходов сахарного производства на состояние чернозема выщелоченного и продуктивность культур // *Земледелие*. 2013. № 6. С. 23–25.
19. Черкасов Е.А., Куликова А.Х., Лобачев Д.А. Эффективность фильтрационного осадка Ульяновского сахарного завода в качестве мелиоранта кислых почв // *Вестн. Ульянов. ГСХА*. 2019. № 4 (48). С. 61–65.
20. Черкасов Е.А., Лобачев Д.А., Захарова Д.А. Содержание подвижной серы в почвах сельскохозяйственных угодий Ульяновской области // *Вестн. Ульянов. ГСХА*. 2018. № 1 (41). С. 54–59.
21. Захаров Н.Г., Хайртдинова Н.А. Формирование урожайности и качества зерна озимой пшеницы в условиях среднего Поволжья // *Вестн. Ульянов. ГСХА*. 2020. № 3 (51). С. 41–46.
22. Донских И.Н., Аишрам М.Д., Мязин Н.Г. Влияние длительного применения разных систем удобрения на групповой состав фосфатов выщелоченного чернозема (в условиях Центрально-Черноземного района) // *Агрохимия*. 2008. № 5. С. 5–10.
23. Налиухин А.Н., Власова О.А., Ерегин А.В., Белозеров Д.А., Рыжакова А.А., Рябков А.В. Продуктивность полевого севооборота при различных системах удобрения и известковании // *Плодородие*. 2020. № 4 (115). С. 30–34.
24. Лукманов А.А., Хузина Г.К. Эффективность известкования черноземов Республики Татарстан // *Агротех. вестн.* 2020. № 1. С. 3–7.
25. Нурлыгаянов Р.Б., Гиниятова Ф.Ф., Зайнагабдинов А.Ф., Хаернасов И.И. Известкование кислых почв: прошлое и настоящее // *Вестн. Башкир. ГАУ*. 2021. № 1 (57). С. 34–41.

Liming of Leached Chernozem Filtration Sludge of a Sugar Factory

A. N. Kulikova^a, E. A. Cherkasov^b, D. A. Lobachev^b, and K. N. Hisamova^{b, #}

^a*Ulyanovsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin
bul. Novy Venets 1, Ulyanovsk 432017, Russia*

^b*Agrochemical Service Station “Ulyanovsk”
ul. Mayakovskogo 35, Ulyanovsk 432025, Russia*

[#]*E-mail: agrohim_73@mail.ru*

In the field experiment (2017–2021), the effect of the filtration sediment of Ulyanovsk Sugar Plant JSC as a lime material for neutralizing the acidity of the leached chernozem on the territory of the land use of LLC “Khleborob” of the Ulyanovsk district of the Ulyanovsk region, characterized by a high culture of agriculture, was studied. Doses of CaCO_3 were calculated by the values of hydrolytic and metabolic acidity. Filtration was carried out according to the scheme, options: 1 – control without application, 2 – CaCO_3 6.1 t/ha, 3 – CaCO_3 4.5 t/ha. It was found that the use of filtration sludge reduced the acidity of the soil depending on the dose of CaCO_3 in the first year by 1.1 units of pH_{KCl} , hydrolytic acidity – by 2.94 mmol/100 g, in subsequent years – by 0.4–0.6 units of pH_{KCl} and 2.27–2.88 mmol/100 g of soil, respectively. Liming the soil with filtration sediment significantly improved the nutrient regime of leached chernozem. The content of additional forms of phosphorus and potassium in the 3rd year of the study increased by 30–50 and 11–32 mg/kg of soil, respectively, compared with the baseline level. In the first year of application of the filtration sediment, a higher yield of barley (6.40 t/ha) was formed in the variant with the introduction of meliorant at a dose of 4.5 t CaCO_3 /ha, in the 2nd and 3rd years, the same increase in the yield of winter and spring wheat at 0.34, 0.48 and 0.47 t/ha, respectively, was observed in depending on the experience option. In 2020, the highest increase in the yield of spring wheat grain in this experiment was observed when 6.1 t CaCO_3 /ha (0.75 t/ha) was introduced into the soil. In 2021, a higher increase in the yield of sunflower seeds (0.28 t/ha) was noted when using meliorant at a dose of 4.5 t/ha.

Key words: filtration sediment, barley, winter and spring wheat, sunflower, yield, economic efficiency.