

УДК 631.415.1:631.445:631.412

**ВЛИЯНИЕ ИЗВЕСТНЯКА НА СОДЕРЖАНИЕ ПОДВИЖНЫХ ФОРМ
ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ
И АГРОДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВАХ**

Пилип Л. В., кандидат ветеринарных наук, доцент¹

E-mail: pilip_larisa@mail.ru

Сырчина Н. В., кандидат химических наук, доцент²

E-mail: nvms1956@mail.ru

¹Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Вятский государственный агротехнологический университет»,
г. Киров, Россия

²Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Вятский государственный университет», г. Киров, Россия

Аннотация. Изучено влияние известняка (CaCO_3) на динамику кислотности и содержание подвижных форм тяжелых металлов (Mn, Fe, Cu, Zn, Cd, Pb, Ni) в дерново-подзолистых и агродерново-подзолистых почвах в лабораторных условиях. Время наблюдений составило 8 недель. Норма внесения CaCO_3 – 1 г/кг. Наиболее значительное снижение кислотности почвы наблюдали в течение первых четырех недель после внесения добавки. К концу эксперимента кислотность почвы увеличилась и приблизилась к исходному уровню. Добавка CaCO_3 привела к существенному (статистически значимому) увеличению содержания подвижных форм Zn и Cd, а также незначительному повышению подвижности Cu и Fe во всех вариантах эксперимента. Влияние CaCO_3 на подвижность Pb было неоднозначным. Повышение подвижности Cd под влиянием известкования следует учитывать для предотвращения рисков загрязнения сельскохозяйственной продукции соответствующим экотоксикантом.

Ключевые слова: почвы, тяжелые металлы, известкование, подвижность тяжелых металлов

**THE LIMESTONE INFLUENCE ON THE CONTENT OF MOBILE FORMS
OF HEAVY METALS IN SOD-PODZOLIC
AND AGRODERNUM-PODZOLIC SOILS**

Pilip L. V., candidate of veterinary sciences, associate professor¹

E-mail: pilip_larisa@mail.ru

Syrchina N. V., candidate of chemical sciences, associate professor²

E-mail: nvms1956@mail.ru

¹Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education



«Vyatka State Agrotechnological University», Kirov, Russia

²Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education

«Vyatka State University», Kirov, Russia

Annotation. The limestone (CaCO_3) influence on the dynamics of acidity and content of mobile forms of heavy metals (Mn, Fe, Cu, Zn, Cd, Pb, Ni) in sod-podzolic and agrodernum-podzolic soils has been studied in laboratory conditions. The observation period is 8 weeks. The rate of application of CaCO_3 is 1 g/kg. The most significant decrease in soil acidity has been observed during the first four weeks after applying the additive. By the end of the experiment, the acidity of the soil has increased and approached the initial level. The addition of CaCO_3 has led to a significant (statistically significant) increase in the content of mobile forms of Zn and Cd, as well as a slight increase in the mobility of Cu and Fe in all the experimental variants. The effect of CaCO_3 on Pb mobility has been ambiguous. The increased mobility of Cd under the influence of liming should be taken into account to prevent the risks of contamination of agricultural products with an appropriate ecotoxicant.

Keywords: soils, heavy metals, liming, mobility of heavy metals.

Введение. Приоритетные цели государственной политики РФ включают эффективное вовлечение в оборот земель сельскохозяйственного назначения, повышение агрохимического потенциала соответствующих угодий, предотвращение деградации почв, обеспечение населения качественной и безопасной сельскохозяйственной продукцией. Перечень основных мероприятий, направленных на достижение соответствующих целей, определен в Государственной программе «Эффективное вовлечение в оборот земель сельскохозяйственного назначения и развития мелиоративного комплекса», утвержденной постановлением Правительства от 14 мая 2021 года № 731. Согласно установленным в программе ориентирам, на площади 2737,7 тыс. гектаров должна быть проведена химическая мелиорация. Основной задачей химической мелиорации является обеспечение оптимальных почвенных условий для развития растений и повышение их урожайности за счет целенаправленного воздействия на состав почвенного поглощающего комплекса (ППК) [6].



На кислых почвах целесообразно использование известковых мелиорантов, способствующих снижению кислотности, улучшению физико-химических свойств почвы, поддержанию в корнеобитаемом горизонте положительного баланса кальция и магния, стимулированию биологической активности, накоплению органического вещества, повышению урожайности и качества продукции [12, 13]. Несмотря на длительный период использования приема известкования в практической земледелии, многие вопросы, касающиеся отдельных аспектов воздействия известковых мелиорантов на химические свойства почвы, остаются недостаточно изученными, например влияние известкования на содержание подвижных (биодоступных) форм тяжелых металлов (ТМ). В ряде публикаций отмечено, что известкование способствует снижению подвижности ТМ и радионуклидов в почве и аккумуляции их в растениях в 2-10 раз [11, 15]. Результаты других исследований свидетельствуют о неоднозначном влиянии известковых материалов на подвижность различных ТМ и о возможном повышении подвижности и биодоступности ряда опасных ТМ под влиянием соответствующих мелиорантов [2-5]. Противоречивость опубликованных данных не позволяет прогнозировать возможные экологические последствия известкования различных по химическому составу и свойствам почв [1, 7, 14]. Исследования в данном направлении являются актуальными и практически значимыми.

Цель работы – изучить влияние известняка на содержание подвижных форм тяжелых металлов в дерново-подзолистых и агродерново-подзолистых почвах в контролируемых (лабораторных) условиях.

Материалы и методы исследований. Исследования проводили на примере образцов (проб) кислых дерново-подзолистых (ДП) и агродерново-подзолистых почв (АДП), отобранных вблизи г. Кирова. Глубина отбора проб – 0-20 см. Пробы АДП отбирали на пахотном поле, удобряемом откачиваемой из лагун



жидкой фракцией свиных навозных стоков. Поле использовалось в кормовом севообороте. Стоки вносились в почву ежегодно на протяжении 7 лет в норме $200 \pm 30 \text{ м}^3$ в год. Дерново-подзолистую почву отбирали на заросшем лесом участке на расстоянии 500-600 м от границ пахотного поля. По гранулометрическому составу отобранные образцы почвы были одинаковыми.

Пробы высушивали до воздушно-сухого состояния, просеивали через сито с размером ячеек 2x2 мм, вносили добавки CaCO_3 (квалификация ЧДА) в норме 1 г/кг, перемешивали, помещали в пластиковые контейнеры, увлажняли дистиллированной водой до влажности $65 \pm 5 \%$ и оставляли в лабораторном помещении при температуре $22 \pm 2^\circ\text{C}$ в условиях естественного освещения. Влажность почвы в период проведения эксперимента контролировали гравиметрическим методом. При снижении массы контейнера на 2 % в почву добавляли дистиллированную воду. Пробы для анализа отбирали методом конверта на всю глубину слоя почвы в контейнерах.

Варианты эксперимента:

- 1) агродерново-подзолистая почва с добавкой CaCO_3 ;
- 2) дерново-подзолистая почва с добавкой CaCO_3 .

Для определения содержания ТМ в пробах использовали атомно-абсорбционный метод. Исследования проводили с помощью спектрометра ААС «Спектр-5-4» согласно ФР 1.31.2018.31189. Другие методы исследования представлены в таблице 1.

Эксперимент выполняли в трех повторностях. Для статистической обработки полученных данных применяли программу Microsoft Excel. Достоверность различий между вариантами оценивали по t-критерию Стьюдента.

Результаты исследований. Результаты исследований показали, что отобранные образцы почвы существенно различались между собой по свойствам. Агродерново-подзолистая почва характеризовалась более высоким



содержанием органического вещества, подвижных форм фосфора и калия, обменного кальция, а также меньшей кислотностью. Выявленные различия статистически значимые и представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Состав и свойства отобранных образцов почвы

Показатель	Вариант		Метод исследования
	агродерново-подзолистая почва	дерново-подзолистая почва	
Содержание органического вещества, % масс.	5,6±1,3*	2,4±0,4	метод Тюринга в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26213-91)
Обменная кислотность (рН _{KCl})	4,7±0,4 (среднекислая)	4,3±0,3 (сильнокислая)	ионометрический по методу ЦИНАО (ГОСТ 26483-85)
Содержание подвижного калия (K ₂ O), мг/кг	378±32	140±22	фотометрический по ГОСТ Р 54650-2011
Содержание подвижного фосфора (P ₂ O ₅), мг/кг	784±82	160±35	
Обменный кальций, мг-экв/100г	6,4±1,4	2,7±0,4	комплексометрический по ГОСТ 26487-85
Гранулометрический состав почвы	суглинистые		мокрый метод (метод скатывания) по Н. А. Качинскому

Примечание: *полужирным шрифтом выделены статистически значимые различия показателей.

В таблице 2 приведены данные о динамике изменения рН и содержания подвижных форм ТМ через 1, 2, 4 и 8 недель после внесения известняка (CaCO₃).

Согласно полученным результатам, внесение CaCO₃ привело к повышению рН_{KCl} в АДП и ДП. Эффект проявлялся на протяжении первых 4 недель и значительно снизился к концу эксперимента. Наиболее существенное влияние добавка CaCO₃ оказала на переход в подвижную форму Zn и высоко токсичного Cd. Коэффициент корреляции (r) между Zn_{подв.} и рН_{KCl} в АДП составил +0,8; в ДП – +0,9; r между Cd_{подв.} и рН_{KCl} – +0,7 и +0,6 соответственно.



В ДП под влиянием CaCO_3 значительно увеличилось содержание подвижного Mn.

Таблица 2 – Влияние CaCO_3 на динамику pH и концентрацию тяжелых металлов (подвижные формы)

Показатель	Значение показателя				
	до внесения CaCO_3	1 неделя	2 недели	4 недели	8 недель
агродерново-подзолистая почва					
Mn, мг/кг	124±29	228±66	236±54	240±56	236±54
Fe, мг/кг	18,4±4,6	30,2±7,6	26,1±6,5	26,4±6,6	21,1±5,3
Zn, мг/кг	8,5±2,8	11,4±3,8	20,3±6,7*	21,4±6,4	15,1±5,0
Cu, мг/кг	1,8±0,4	2,1±0,6	2,5±0,7	2,5±0,7	2,5±0,7
Pb, мг/кг	1,11±0,28	0,43±0,11	0,86±0,22	0,86±0,22	1,27±0,32
Ni, мг/кг	0,24±0,10	0,21±0,09	0,61±0,26	0,46±0,14	0,62±0,26
Cd, мг/кг	0,016±0,005	0,07±0,03	0,06±0,04	0,07±0,04	0,07±0,03
pH _{KCl}	4,7±0,2	5,9±0,2	6,2±0,1	6,3±0,2	5,2±0,2
дерново-подзолистая почва					
Mn, мг/кг	19±4	184±53	217±50	220±52	274±63
Fe, мг/кг	132,7±33,2	179±45	235±59	240±55	398±99
Zn, мг/кг	0,8±0,3	12,7±4,3	10,7±3,5	11,4±3,6	2,0±0,7
Cu, мг/кг	0,5±0,2	0,4±0,1	0,6±0,2	0,6±0,1	0,7±0,2
Pb, мг/кг	0,66±0,16	0,83±0,21	1,16±0,29	1,03±0,26	1,08±0,27
Ni, мг/кг	0,43±0,18	0,36±0,15	0,41±0,17	0,42±0,17	0,25±0,11
Cd, мг/кг	<0,001	0,06±0,02	0,08±0,02	0,08±0,02	0,06±0,02
pH _{KCl}	4,3±0,1	4,7±0,2	4,9±0,1	5,1±0,2	4,1±0,2

Примечание: *полужирным шрифтом выделены статистически значимые различия между показателями до и после внесения CaCO_3 .

Выявленное влияние CaCO_3 на мобильность тяжелых металлов, возможно, связано с образованием растворимых комплексов с фульвокислотами (ФК), которыми богаты дерново-подзолистые почвы. Повышение pH, обусловленное внесением CaCO_3 , способствует депротонированию ФК, благодаря чему возрастает устойчивость фульватных комплексов и активизируется переход катионов ТМ в почвенный раствор [8-10].

Влияние известкования на содержание $\text{Pb}_{\text{подв}}$ было весьма неоднозначным. В более богатой органическим веществом АДП внесение



CaCO₃ привело к уменьшению содержания подвижных форм соответствующего ТМ в 2,5 раза спустя 7 дней после внесения добавок. Однако уже на второй неделе наблюдений эффект начал снижаться и полностью исчез к концу эксперимента. В бедной органическим веществом ДП внесение CaCO₃ привело к некоторому увеличению подвижности Pb. К концу эксперимента данный эффект также снизился. Содержание подвижных соединений Cu и Fe в ДП и АДП с добавкой CaCO₃ несколько увеличилось, однако выявленные эффекты оказались статистически не значимыми.

Заключение. Внесение в кислые дерново-подзолистые и агродерново-подзолистые почвы карбоната кальция оказывает существенное влияние на концентрацию подвижных форм тяжелых металлов. Снижение кислотности почвы способствует переходу в подвижную форму важного микроэлемента Zn и некоторому увеличению подвижности Cu. В бедных микроэлементами дерново-подзолистых почвах соответствующий эффект можно рассматривать в качестве фактора увеличения почвенного плодородия, однако в загрязненных медью и цинком почвах внесение извести сопряжено с увеличением риска транслокации соответствующих элементов в растения.

Крайне нежелательным результатом известкования является повышение подвижности Cd. Переход Cd в подвижную форму увеличивает опасность накопления соответствующего ТМ в сельскохозяйственной продукции и передачу его по пищевым цепям. В почвах с повышенным содержанием Cd прием известкования необходимо сочетать с внесением натуральных сорбентов, способных эффективно связывать соответствующий экотоксикант.

Список источников

1. Утилизация навозных стоков животноводческих предприятий с целью улучшения экологии окружающей среды / А. Н. Бетин, А. И. Фролов, О. Б.



- Филиппова, З. Н. Хализова. DOI: 10.24412/cl-33489-2021-6-96-98 // Эффективное животноводство. 2021. № 6 (172). С. 96-98.
2. Влияние глауконитсодержащих хвостов обогащения фосфоритов на подвижность свинца в почвах / Н. В. Сырчина, Л. В. Пилип, Т. Я. Ашихмина, Г. Я. Кантор. DOI: 10.35885/1684-7318-2022-3-350-360 // Поволжский экологический журнал. 2022. № 3. С. 350-360.
3. Известкование почв, загрязненных тяжелыми металлами / А. Н. Небольсин, З. П. Небольсина, Ю. В. Алексеев, Л. В. Яковлева // Агрехимия. 2004. № 3. С. 48-54.
4. Маркина Е. О., Григорьев В. В., Сырчина Н. В. Влияние различных добавок на подвижность тяжелых металлов в почвах // Экология родного края: проблемы и пути решения : сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Киров : Радуга-ПРЕСС, 2016. С. 87-90.
5. Накопление кадмия и ртути в пшенице при известковании дерново-подзолистой почвы / М. А. Ефремова, В. В. Митрофанов, А. А. Лохматова, А. А. Акатова. DOI: 10.25695/AGRPH.2020.01.02 // Агрофизика. 2020. № 1. С. 8-16.
6. Осипов А. И. Научные основы химической мелиорации почв и перспективы их дальнейшего изучения // Агрофизика. 2012. Т. 3. С. 41-50.
7. Пилип Л. В. Анализ экологических рисков отрасли свиноводства в Кировской области // Вестник Вятской ГСХА. 2020. № 1(3). С. 1.
8. Пилип Л. В., Сырчина Н. В. Влияние мелиорантов на подвижность кадмия в почвах // Российский журнал прикладной экологии. 2023. № 4 (36). С. 60-66. DOI: 10.24852/2411-7374.2023.4.60.66.
9. Пилип Л. В., Сырчина Н. В., Ашихмина Т. Я. Промышленные свинокомплексы как источники загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами // Известия Коми научного центра УрО РАН. 2021. № 5 (51). С. 88-91.



10. Пилип Л. В., Сырчина Н. В., Кузнецов Д. А. Животноводческие комплексы как источники загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами (Cu, Zn). DOI: 10.15393/j1.art.2023.13182 // Принципы экологии. 2023. № 1 (47). С. 82-89.
11. Приемы повышения плодородия почв (известкование, фосфоритование, гипсование) : научн.-методические рекомендации. Москва : Росинформагротех, 2021. 116 с.
12. Сискевич Р. Ю., Корчагин Е. В., Косикова Н. А. Химическая мелиорация земель сельскохозяйственного назначения. DOI: 10.24411/0044-3913-2021-1020 // Земледелие. 2021. № 2. С. 14-17.
13. Сычев В. Г., Аканова Н. И. Современные проблемы и перспективы химической мелиорации кислых почв. DOI: 10.25680/S19948603.2019.106.01 // Плодородие. 2019. № 1 (106). С. 3-7.
14. Тарасов С. И., Кравченко М. Е., Бужина Т. А. Мониторинг почв в хозяйствах индустриального животноводства // Современные тенденции в научном обеспечении агропромышленного комплекса : монография. Суздаль-Иваново : ПресСто ; ФГБ НУ «Верхневолжский федеральный аграрный научный центр», 2022. С. 50-54.
15. Шильников И. А., Аканова Н. И., Ефремова С. Ю. Прогнозирование состояния почвенного плодородия под влиянием химической мелиорации // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2016. № 2 (30). С. 128-138.

