

ВЛИЯНИЕ УДОБРЕНИЙ И МЕЛИОРАНТОВ НА ВЫСОТУ И БИОМАССУ ГОРЧИЦЫ, АККУМУЛЯЦИЮ РАСТЕНИЯМИ КАДМИЯ И ЕМКОСТНО-СОРБЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ТОРФЯНОЙ НИЗИННОЙ ПОЧВЫ

А.А. Уткин¹, к.с.-х.н., Н.И. Аканова², д.б.н.,

¹ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева», 127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49,
e-mail: aleut@inbox.ru

²ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии им. Д.Н. Прянишникова», 127550, г. Москва, ул. Прянишникова, 31а

Оценка влияния агромелиорантов и минеральных удобрений на емкостно-сорбционные свойства торфяной низинной почвы, высоту и биомассу растений горчицы в вегетационном эксперименте показала, что минеральные удобрения увеличивали обменную и гидролитическую кислотность во всех вариантах опыта по сравнению с вариантами, где их не использовали. Максимальный нейтрализующий эффект по снижению кислотности почвы проявлялся от использования гашеной извести на фоне минеральных удобрений и кембрийской глины без внесения удобрений. Наибольшее существенное влияние на высоту и биомассу растений оказал только диатомит. Применение других агромелиорантов на фоне удобрений и без них не выявило положительного действия на высоту и биомассу растений горчицы. Использование агромелиорантов сильнее влияло на увеличение валовой концентрации кадмия в торфяной низинной почве, по сравнению с действием удобрений. Удобрения, как правило, приводили к увеличению подвижности металла в почве. Совместное применение удобрений и мелиорантов способствовало, в основном, увеличению концентрации металла в растениях, по сравнению с вариантами без удобрений. Возделывание горчицы на зеленый корм при внесении извести по минеральному фону создает риск отравления животных кадмием от поедания зеленой массы культуры.

Ключевые слова: торфяная низинная почва, минеральные удобрения, цеолит, диатомит, кембрийская глина, известь, емкостно-сорбционные свойства, биомасса, высота, кадмий, горчица белая.

Для цитирования: Уткин А.А., Аканова Н.И. Влияние удобрений и мелиорантов на высоту и биомассу горчицы, аккумуляцию растениями кадмия и емкостно-сорбционные свойства торфяной низинной почвы// Плодородие. – 2024. – №1. – С. 75-78. DOI: 10.25680/S19948603.2024.136.19.

На минеральных почвах проведено большое количество экспериментов по изучению воздействия различных удобрений и агромелиорантов на физико-химические свойства почв, биометрические показатели роста и развития сельскохозяйственных растений и их урожайность. Установлено, что характер воздействия средств химизации на почву во многом зависит от ее типа и происхождения. Немногочисленными опытами отмечены существенные различия по влиянию удобрений и мелиорантов на агрохимические свойства минеральных и органогенных почв. Проведение дополнительных экспериментов с различными агромелиорантами (цеолиты, диатомиты, глины, известковые материалы и др.), сельскохозяйственными культурами и типами торфяных почв, различающимися по агрохимическому составу и степени окультуренности, позволит детальнее изучить изменение свойств торфяных почв [3, 4, 6, 7].

В последние десятилетия в России торфяные почвы мало востребованы в сельскохозяйственном производстве, что стало причиной их выведения из оборота. Однако, принимая во внимание тот факт, что эти почвы характеризуются довольно высоким уровнем потенциального и эффективного плодородия, следует заботиться об их обратном вовлечении в производство. Это позволит получать на них дополнительное количество растениеводческой продукции, тем более что площадь торфяных низинных почв в стране составляет 56641,3 тыс. га [4].

Цель исследования – установить влияние агромелиорантов и минеральных удобрений на высоту и биомассу горчицы белой и накопление растениями кадмия,

изменение емкостно-сорбционных свойств торфяной низинной почвы.

Объект изучения – торфяная низинная почва, отобранная в естественных условиях из верхнего горизонта на торфяном массиве осушенного низинного болота около п. Новое Леушино Тейковского района Ивановской области.

Отобранная для опыта торфяная низинная почва имела следующие агрохимические показатели: зольность – 48,0% (высокозольная), $pH_{(KCl)}$ – 6,29 (нейтральная), гидролитическая кислотность (H_L) – 9,0 мг-экв/100 г почвы, подвижные формы P_2O_5 – 42,0 мг/100 г почвы (высокое), подвижные формы K_2O – 21,0 мг/100 г почвы (среднее), сумма поглощенных оснований (S) – 40,0 мг-экв/100 г почвы, обменные Ca и Mg – 0,26 и 0,27% соответственно, ЕКО – 49,0 мг-экв/100 г почвы, степень насыщенности основаниями (V) – 86,9% (повышенная). Концентрации валовой и подвижной формы кадмия в отобранной торфяной почве – 0,21 и 0,044 мг/кг почвы соответственно.

В целом исследуемая торфяная почва характеризуется как среднеокультуренная.

Характеристика цеолита: $pH_{(KCl)}$ 8,3, ЕКО – 32,1 мг-экв/100 г почвы, доступные формы соединений $N-NH_4 + NO_3$, P_2O_5 , K_2O , CaO , MgO , Na_2O и MnO – 7-8, 25-37, 120-270, 4400-5200, 1200-2000, 120-125 и 430-450 мг/кг соответственно. Препарат в виде неровных светло-серых гранул размером 2-4 мм. Производится по ТУ 2163-001-55345068-2001. Класс опасности – 4 (малоопасное вещество).

Характеристика диатомита: содержание основных соединений (%): SiO_2 (органический кремний) – 74,8-88,0, в т.ч. в аморфной форме – 40-45; Al_2O_3 – 3,3-9,7; CaO – 0,6; Fe_2O_3 – 2,3-4,8; MgO – 0,6-1,7; Na_2O – 0,74; K_2O – 0,96. Препарат в виде розовых гранул размером 1-3 мм. Производится по ТУ 2164-005-03811093-16. Класс опасности – 4.

Кембрийская глина – мелкодисперсный голубой порошок, состоящий из природных минералов. Производится по ТУ 5751-031-38605220-16. Класс опасности – 4.

Методика. В торфяной низинной почве выполняли следующие определения: 1 – зольность торфа: ГОСТ 11306-83; 2 – $\text{pH}_{(\text{KCl})}$ (потенциометрически): ГОСТ 11623-89; 3 – гидролитическая кислотность ($\text{H}_\text{г}$): ГОСТ 27894.1-88; 4 – подвижный фосфор (P_2O_5): ГОСТ 27894.5-88 и подвижный калий (K_2O): ГОСТ 27894.6-88; 5 – сумма поглощённых оснований (S) (по методу Каппена): ГОСТ 27821-88; 6 – обменные основания (Ca и Mg): ГОСТ 27894.10-88; 7 – подвижные соединения кадмия в почве: ГОСТ Р 53218; 8 – валовые концентрации кадмия в почве: М-МВИ-80-2008 ФР.1.31.2013.14150; 9 – содержание металла в растениях сухим озолением: РД 52.18.289-90; 10 – ЕКО и V – расчетным способом.

Схема эксперимента: **блок №1:** 1 – контроль (б/у); 2 – цеолит; 3 – гашеная известь; 4 – диатомит; 5 – кембрийская глина; **блок №2:** 1 – NPK (фон); 2 – фон + цеолит; 3 – фон + гашеная известь; 4 – фон + диатомит; 5 – фон + кембрийская глина.

Схема опыта включала два фактора – А (минеральные удобрения) и Б (агроомелиоранты) из 10 вариантов. Повторность – 3-кратная.

Опыт закладывали в пластиковых сосудах объемом 2,5 л. Масса воздушно-сухой торфяной почвы в сосудах с гашеной известью, контрольного и фонового вариантов – 1,4 кг.

Из цеолита и диатомита с торфом готовили смеси в соотношении по массе торф : цеолит (диатомит) – 6 : 1 или 1,2 : 0,2 (кг/сосуд). Доза гашеной извести $\text{Ca}(\text{OH})_2$ составила 9,3 г/сосуд. В качестве фона использовались минеральные удобрения – $\text{N}_\text{а}$, $\text{P}_\text{сг}$ и $\text{K}_\text{с}$ в дозах 0,15, 0,1 и 0,1 г д.в./кг сухой почвы соответственно, согласно рекомендациям для вегетационных опытов.

После набивки 25.10.2020 г. сосудов почвой, удобрениями и мелиорантами, они несколько месяцев до посева компостировались при регулярном поливе для растворения и наилучшего распределения мелиорантов в почве.

Норма высева проросших семян горчицы – 9 шт/сосуд. Посев семян – 19.07.2021 г. Уборка урожая биомассы – 22.10.2021 г. Период вегетации культуры – 90 дней. Сорт горчицы – Белянка.

В течение вегетации культуры в почве создавалась оптимальная влажность на уровне 70% НВ. Полив проводили дистиллированной водой по массе сосуда. Во время вегетации осуществляли морфологические наблюдения за растениями. После уборки урожая с опытного варианта каждой повторности отбирали индивидуальную пробу почвы и растений на химический анализ.

При уборке измеряли среднюю высоту растений каждого варианта с помощью мерной линейки путем суммирования индивидуальных значений высоты и деления на их количество растений. Растения подвергали сушке до воздушно-сухого состояния.

При обработке данных рассчитывали коэффициент накопления (КН) металла растениями, равный отношению концентрации кадмия в растениях к его валовой концентрации в почве. Степень подвижности тяжелого металла в торфяной почве (в %) рассчитана из соотношения его подвижных соединений к величине валовой концентрации в почве.

Полученные данные подвергали статистической обработке с расчетом среднего арифметического (М) и его ошибки ($\pm m$). Для выявления взаимосвязей между признаками рассчитывали коэффициенты парной линейной корреляции Пирсона с использованием программы «Statistica» при уровне доверительной вероятности $P = 0,95$. Расчет НСР₀₅ изучаемых факторов проводили дисперсионным анализом [2].

Результаты и их обсуждение. Применение различных агроомелиорантов, а также удобрений на малоплодородных или недостаточно пригодных для сельскохозяйственного использования почвах, в целом свидетельствует об улучшении отдельных емкостно-сорбционных свойств почвы [6-8].

Использование удобрений в опыте приводило к увеличению обменной и гидролитической кислотностей во всех опытных вариантах по сравнению с аналогичными вариантами, в которых не применяли минеральные удобрения. Предположительно, увеличение кислотности в вариантах с минеральными удобрениями связано с их физиологической кислотностью.

Максимальный нейтрализующий эффект воздействия на кислотность почвы отмечался при внесении гашеной извести на фоне минеральных удобрений и кембрийской глины без внесения удобрений.

Применяемые мелиоранты, за исключением извести, обладали высокими емкостно-сорбционными свойствами. Их добавление к почве приводило во всех без исключения вариантах к существенному увеличению значений S и ЕКО почвенного субстрата. Минеральные удобрения слабее увеличивали емкостно-сорбционные показатели, чем мелиоранты. Наибольшее увеличение величины ЕКО и V отмечалось при применении извести, как по фону удобрений, так и без них (табл. 1).

1. Влияние минеральных удобрений и агроомелиорантов на емкостно-сорбционные свойства торфяной низинной почвы

Вариант опыта	Кислотность почвы		S	ЕКО	V, %
	$\text{pH}_{(\text{KCl})}$	$\text{H}_\text{г}$, мг-экв/100 г			
Контроль (б/у)	6,03	12,1	60,0	72,1	83,2
Цеолит	5,87	14,3	67,1	81,4	82,4
Гашеная известь	6,30	9,2	89,4	98,6	90,7
Диатомит	5,87	13,2	78,5	91,7	85,6
Кембрийская глина	6,42	8,6	76,3	84,9	89,9
М	6,10	11,5	74,3	85,7	86,4
$\pm m$	0,11	1,1	5,0	4,5	1,7
NPK – фон	5,73	12,9	63,8	76,7	83,2
Фон + цеолит	5,40	18,0	70,2	88,2	79,6
Фон + гашеная известь	6,20	10,0	92,0	102,0	90,2
Фон + диатомит	5,36	18,4	91,4	109,8	83,2
Фон + кембрийская глина	5,87	10,7	79,5	90,2	88,1
М	5,71	14,0	79,4	93,4	84,9
$\pm m$	0,16	1,8	5,6	5,7	1,9

Особенности проявления обменной и гидролитической кислотности тесно взаимосвязаны, что нашло подтверждение и в нашем исследовании. Между указанными показателями в вариантах без минеральных удобрений и с их использованием прослеживалась высокая

достоверная корреляционная взаимосвязь обратной зависимости – $r(H_r/pH_{(KCl)})$: – 0,98 и – 0,95 соответственно.

Такие агромелиоранты как цеолиты, диатомиты и кембрийская глина могут вызывать усиление роста и развития растений, увеличение их урожайности за счет улучшения режима питания растений и условий их произрастания. Стоит отметить, что характер влияния агро-мелиоранта на урожайность культуры сильно зависит от типа и агрохимических свойств почвы, вида культуры, условий выращивания и др.

В рамках эксперимента изучали изменение высоты и биомассы растений горчицы под действием внесения мелиорантов и минеральных удобрений. Биометрические показатели роста и развития растений отражены в таблице 2.

2. Влияние агромелиорантов и удобрений на высоту и биомассу растений горчицы

Вариант опыта	Вы- сота, см*	Изменение к кон- тролю/фону, см, +/-	Био- масса, г/со- суд*	Прибавка к кон- тролю/фону	
				г/сосуд, +/-	%
Контроль (б/у)	24,8	–	1,820	–	–
Цеолит	22,9	–1,9	1,244	–0,298	68,4
Гашеная известь	22,2	–2,6	1,189	–0,383	65,3
Диатомит	28,0	+3,2	1,947	+0,416	107,0
Кембрийская глина	22,6	–2,2	1,350	–1,298	74,1
М	24,1	–	1,510	–	–
±m	1,1	–	0,156	–	–
НРК – фон	28,1	–	2,407	–	–
Фон + цеолит	25,4	–2,7	1,908	–0,948	79,3
Фон + гашеная известь	19,3	–8,8	1,217	–1,188	50,5
Фон + диатомит	25,9	–2,2	1,782	–0,034	74,0
Фон + кембрийская глина	23,7	–4,4	1,478	–0,417	61,4
М	24,5	–	1,758	–	–
±m	1,5	–	0,202	–	–
НСР ₀₅ : А				0,245	
Б				0,387	
А+Б				0,547	

*Среднее значение из трех повторений.

Диатомит оказывал наибольшее влияние на линейный рост растений. При применении остальных агромелиорантов на минеральном фоне и без него не отмечено положительного действия на увеличение высоты растений.

Формирование наибольшей биомассы горчицы также отмечалось при использовании диатомита. Наименьшую биомассу имели растения вариантов с использованием гашеной извести как без удобрений, так и с их применением.

Расчет НРС₀₅ показал, что существенные различия по урожайности биомассы в вариантах без минеральных удобрений (фактор А) отмечались у варианта с использованием диатомита, при применении агромелиорантов на фоне минеральных удобрений (фактор Б) происходило существенное снижение урожайности для всех вариантов, за исключением совместного внесения диатомита и удобрений.

Учитывая суммарный эффект влияния агромелиорантов и удобрений НРС₀₅(А+Б) на биомассу установлено, что существенного повышения урожайности в опытных вариантах не выявлено.

Известно, что функция, определяющая линейный рост (высоту) растений, тесно связана с функцией накопления ими биомассы. Расчет коэффициента корреляции показал, что между этими показателями отмечена

прямая достоверная корреляция высокой силы взаимосвязи: $r = 0,92$ (без минеральных удобрений) и $r = 0,93$ (в присутствии удобрений).

Валовые и подвижные концентрации металла в исследуемой почве и содержание кадмия в растениях представлены в таблице 3.

3. Накопление кадмия горчицей из торфяной низинной почвы под влиянием агромелиорантов и удобрений

Вариант опыта	Валовая концен- трация Cd в почве, мг/кг	Концентра- ция подвиж- ных соеди- нений Cd в почве, мг/кг	Сте- пень по- движ- ности, %	Концен- трация Cd в рас- тениях, мг/кг	КН
Контроль (б/у)	0,20	0,054	27,00	0,178	0,89
Цеолит	0,22	0,029	13,18	0,099	0,45
Гашеная известь	0,38	0,220	57,89	0,174	0,46
Диатомит	0,13	0,040	30,77	0,228	1,75
Кембрийская глина	0,11	0,044	40,00	0,200	1,82
М	0,21	0,077	33,77	0,256	1,07
±m	0,05	0,036	7,41	0,088	0,30
НРК – фон	0,15	0,047	31,33	0,191	1,27
Фон + цеолит	0,17	0,030	17,65	0,222	1,31
Фон + гашеная известь	0,50	0,240	48,00	0,480	0,96
Фон + диатомит	0,10	0,038	38,00	0,151	1,51
Фон + кем- брийская глина	0,18	0,034	18,89	0,131	0,73
М	0,22	0,078	30,77	0,235	1,16
±m	0,07	0,041	5,76	0,063	0,14

Наибольшие концентрации валовой и подвижной форм металла в торфяной почве отмечены в вариантах с известью как на минеральном фоне, так и без него. Использование удобрений несколько снижало валовую концентрацию кадмия в почве.

Применение мелиорантов (варианты фактора Б), кроме гашеной извести, приводило к снижению в 1,35-1,86 раза концентрации подвижных соединений кадмия по сравнению с концентрацией его подвижных форм в почве контрольного варианта. Совместное использование минеральных удобрений с мелиорантами снижало в 1,23-1,57 раза содержание подвижных форм кадмия в почве.

Степень подвижности соединений кадмия в почве контроля характеризовалась существенно меньшими значениями, по сравнению с подвижностью металла в минеральных почвах (70-95%) [1].

При внесении цеолита в почву наблюдалась минимальная степень подвижности металла как на фоне удобрений, так и без них, остальные агромелиоранты не обладали выраженным инактивирующим действием на подвижность металла в почве.

Одним из показателей качества растительной продукции является уровень содержания в ней различных токсикантов, например тяжелых металлов. Доступность многих металлов для растений чаще определяется концентрацией подвижных форм элемента в почвах в вытяжке ААБ с рН 4,8, которая наиболее точно характеризует степень их загрязнения.

Содержание металла, накопленное горчицей из незагрязненной торфяной почвы, согласуется с величинами его содержания у растений, произрастающих на незагрязненных или слабо загрязненных почвах, которое варьирует от 0,05 до 0,2 мг/кг воздушно-сухой массы [1].

Диатомит и кембрийская глина повышали накопление кадмия растениями в вариантах без минеральных удобрений, по сравнению с другими мелиорантами, а на фоне применения удобрений диатомит и глина приводили к накоплению металла в количествах, не превышающих его содержание в растениях фонового и других вариантов.

Минеральные удобрения вызывали снижение накопления кадмия горчицей по сравнению с вариантами без их использования только у вариантов с диатомитом и кембрийской глиной.

Согласно временному максимально-допустимому уровню содержания некоторых химических элементов в кормах для сельскохозяйственных животных и кормовых добавках, растения всех вариантов не накапливали кадмий из почвы в концентрациях, превышающих допустимое максимальное количество (0,3 мг Cd/кг массы) для сочных (зеленых) кормов, за исключением варианта с применением извести на минеральном фоне.

Между валовой концентрацией соединений кадмия в торфяной почве и концентрацией металла в растениях вариантов без удобрений и с их применением отмечалась корреляция средней ($r = 0,56$) и высокой ($r = 0,96$) силы. Между валовыми и подвижными формами концентраций металла в почве имела достоверная корреляционная связь высокой силы: $r = 0,89$ (без удобрений) и $r = 0,97$ (с удобрениями).

Корреляционный анализ показал, что увеличение накопления кадмия растениями существенно не влияло на снижение биомассы горчицы как без применения удобрений ($r = -0,08$), так и на их фоне ($r = -0,53$).

Рассчитанные КН по вариантам опыта соответствуют литературным данным, в которых КН кадмия для большинства растений составляет 0,01-16,8 [5]. Отметим, что применение минеральных удобрений увеличивало среднее значение КН на 8,41%, по сравнению со средним значением КН в вариантах без удобрений. По-видимому, на фоне улучшения минерального питания горчицы азотом, фосфором и калием усиливалась и аккумуляция растениями кадмия.

Заключение. Установлено, что применение в эксперименте минеральных удобрений вызывало увеличение обменной и гидролитической кислотности во всех вариантах опыта по сравнению с вариантами без удобрений. Максимальный нейтрализующий эффект на кислотность почвы отмечен при применении гашеной извести на фоне минерального удобрения и кембрийской глины без внесения удобрений.

Наибольшее влияние на высоту и биомассу растений оказывал только диатомит. Применение других агро-мелиорантов на минеральном фоне и без него не проявляло положительного действия на изучаемые биометрические показатели горчицы.

Возделывание горчицы на зеленый корм на не загрязненных кадмием торфяных низинных почвах не рекомендуется с применением гашеной извести на минеральном фоне. В остальных случаях опасность отравления животных кадмием от поедания зеленой массы горчицы отсутствует.

Литература

1. Алексеев, Ю.В. Тяжелые металлы в почвах и растениях. – Л.: Агропромиздат, 1987. – 142 с.
2. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). – 6-е изд., стереотип. – М.: ИД Альянс, 2011. – 352 с.
3. Ефимов, В.Н., Уткин, А.А., Ефремова, М.А. Цинк в системе: торфяная низинная почва – растение при известковании // Плодородие. – 2005. – №6 (27). – С. 27-28.
4. Концепция охраны и рационального использования торфяных болот России/ Под редакцией чл.-корр. РАСХН Л.И. Инишевой. – Томск: ЦНТИ, 2005. – 97 с.
5. Тяжелые металлы в системе почва – растение – удобрение / Под общей ред. М.М. Овчаренко. – М.: ЦИНАО, 1997. – 290 с.
6. Уткин, А.А. Влияние извести и цеолита на торфяную низинную почву и аккумуляцию цинка растениями овса // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2009. – №17. – С. 40-44.
7. Уткин, А.А. Влияние удобрений и агро-мелиорантов на агрохимические свойства торфяной низинной почвы, высоту и биомассу ячменя // Сб. научных трудов «Современное состояние: проблемы и перспективы развития агропромышленного комплекса России». – Иваново: ИГСХА, 29-30 апреля 2022. – С. 103-109.
8. Уткин, А.А. Химия минеральных удобрений: учебное пособие / А.А. Уткин. – Иваново: ФГБОУ ВО ИГСХА. 2021. – 91 с.

THE EFFECT OF FERTILIZERS AND MELIORANTS ON THE HEIGHT AND BIO-MASS OF MUSTARD, THE ACCUMULATION OF CADMIUM BY PLANTS AND THE CAPACITY-SORPTION PROPERTIES OF PEAT LOWLAND SOIL

A.A. Utkin¹, N.I. Akanova²

¹Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, Timiryazevskaya str., 49, 127434, Moscow, e-mail: aleut@inbox.ru

²All-Russian Research Institute of Agrochemistry D.N. Pryanishnikov, Pryanishnikova str., 31a, 1274347, Moscow

Evaluation of the effect of agromeliorants and mineral fertilizers on the capacity-sorption properties of peat lowland soil, the height and biomass of mustard plants in the vegetation experiment showed that mineral fertilizers increased the exchange and hydrolytic acidity in all variants of the experiment compared with those variants where mineral fertilizers were not used. The maximum neutralizing effect on reducing soil acidity was manifested from the use of slaked lime against the background of mineral fertilizers and Cambrian clay without fertilization. Only diatomite had the greatest significant effect on the height and biomass of plants. The use of other agromeliorants on the background of fertilizers and without them did not have a positive effect on the height and biomass of mustard plants. The use of agromeliorants had a stronger effect on the increase in the gross concentration of cadmium in peat lowland soil, compared with the effect of fertilizers. Fertilizers mainly led to an increase in the mobility of metal in the soil. The combined use of fertilizers and meliorants mainly led to an increase in the concentration of metal in plants, compared with options without fertilizers. Cultivation of mustard for green fodder when lime is applied to the mineral background creates a risk of poisoning animals with cadmium from eating the green mass of the crop.

Key words: peat lowland soil, mineral fertilizers, zeolite, diatomite, cambrian clay, lime, capacity-sorption properties, biomass, height, cadmium, white mustard.