

УДК 631.821:631.445.24:631.559:631.421.1

ВЛИЯНИЕ ИЗВЕСТКОВАНИЯ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ЛЕГКОСУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЫ ДОЛОМИТОВОЙ МУКОЙ НА УРОЖАЙНОСТЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР (РЕЗУЛЬТАТЫ МНОГОЛЕТНЕГО МИКРОПОЛЕВОГО ЭКСПЕРИМЕНТА)

© 2022 г. С. Е. Витковская^{1,2,*}, К. Ф. Шаврина²

¹Российский государственный гидрометеорологический университет
192007 Санкт-Петербург, ул. Воронежская, 79, Россия

²Агрофизический научно-исследовательский институт
195220 Санкт-Петербург, Гражданский просп., 14, Россия

*E-mail: s.vitkovskaya@mail.ru

Поступила в редакцию 05.10.2021 г.

После доработки 14.12.2021 г.

Принята к публикации 15.01.2022 г.

Изучили влияние известкования кислой дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы доломитовой мукой (диапазон доз 0–2.0 H_T) на урожайность различных видов сельскохозяйственных культур (*Vicia sativa* L. и *Avena sativa* L. в смешанном посеве, *Brassica napus* L., *Vicia faba* L., *Hordeum* L., *Sinapis alba* L., *Pisum sativum* L.) в условиях многолетнего прецизионного микрополевого эксперимента в течение 10 лет. Установлено, что применение доломитовой муки (ДМ) оказывало положительное влияние на урожайность сельскохозяйственных культур в течение длительного, не менее 10 лет, периода; долгосрочный положительный эффект проявлялся даже при применении малых доз мелиоранта (до 0.4 H_T). Применение ДМ в дозах 0.7–2.0 H_T может приводить к снижению урожайности отдельных видов сельскохозяйственных культур по сравнению с более низкими дозами.

Ключевые слова: известкование, дерново-подзолистая легкосуглинистая почва, доломитовая мука, урожайность сельскохозяйственных культур, многолетний микрополевой эксперимент.

DOI: 10.31857/S0002188122040147

ВВЕДЕНИЕ

Эффект от известкования кислых почв в агроценозе варьируется в широком диапазоне в зависимости от свойств почвы, дозы и физико-химических характеристик мелиоранта, биологических (видовых) особенностей растений, продолжительности контакта мелиоранта с почвой [1–4]. Отзывчивость сельскохозяйственных культур на применение известковых мелиорантов может также существенно зависеть от погодных условий конкретного вегетационного периода [5].

Известно [6], что при известковании в почве происходят многочисленные изменения, которые, в свою очередь, влияют на усвоение питательных веществ растениями (например, может изменяться доступность азота, фосфора и микроэлементов растениям, накопление углерода в почве, почвенная биота и др.). Экспериментальные данные [7] свидетельствуют, что различная чувствительность сельскохозяйственных культур к кислотности почвы обусловлена составом их

корневых выделений, изменяющих реакцию среды, а также связана с ферментативной активностью почвы в ризосфере.

Известно [8, 9], что в кислых почвах на 30–40% снижается эффективность минеральных удобрений, в 3–5 раз увеличивается накопление в растениеводческой продукции тяжелых металлов и радионуклидов. Известкование – один из наиболее экономически выгодных приемов повышения урожая сельскохозяйственных культур на кислых почвах. За ротацию 6–8-польного севооборота 1 т $CaCO_3$ обеспечивает прибавку урожая на 6–8 ц з.е./га. Известковые мелиоранты удовлетворяют потребность растений в кальции и магнии, снижают содержание подвижного алюминия в почве, повышают эффективность применения минеральных удобрений, нивелируют эффект подкисления почв вследствие применения физиологически кислых удобрений [10–12].



Рис. 1. Микрополевого опыт: (а) – ячмень, (б) – викоовсяная смесь.

Дать качественную и количественную оценку эффективности различных доз известкового мелиоранта и сопряженных с ними кислотно-основных свойств произвесткованных почв, влияющих на продуктивность и элементный состав сельскохозяйственных культур, позволяют результаты исследований, полученные в экспериментах с широким диапазоном доз мелиоранта [13].

Цель работы – в условиях многолетнего микрополевого эксперимента на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве изучить влияние возрастающих доз доломитовой муки (ДМ) на урожайность различных видов сельскохозяйственных культур.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводили в течение 10 лет (2012–2021 гг.) в условиях многолетнего микрополевого прецизионного (без повторностей) опыта, заложенного в Меньковском филиале Агрофизического института (Ленинградская обл., Гатчинский р-н) в полиэтиленовых сосудах без дна ($S = 1 \text{ м}^2$, глубина 25 см, $\approx 300 \text{ кг}$ почвы/сосуд) в мае 2012 г. [14–17].

Перед закладкой опыта из каждой делянки (сосуда, площадью 1 м^2) была вынута почва на глубину пахотного слоя (25 см). По периметру делянок размещали полиэтиленовые сосуды без дна, которые наполняли кислой легкосуглинистой дерново-подзолистой почвой: $\text{pH}_{\text{KCl}} 4.64 \pm 0.04$, $H_r - 4.11 \pm 0.08$, Ca^{2+} , $\text{Mg}^{2+} - 2.68 \pm 0.14$ и 0.36 ± 0.06 $1/2 \text{ ммоль}/100 \text{ г}$ соответственно, гумус – 1.8%. Схема опыта, варианты: 1 – контроль (фон НРК), 2 – фон + ДМ 0.2 H_r , 3 – фон + ДМ 0.3 H_r , 4 –

фон + ДМ 0.4 H_r , 5 – фон + ДМ 0.5 H_r , 6 – фон + ДМ 0.6 H_r , 7 – фон + ДМ 0.7 H_r , 8 – фон + ДМ 0.8 H_r , 9 – фон + ДМ 0.9 H_r , 10 – фон + ДМ 1.0 H_r , 11 – фон + ДМ 1.5 H_r , 12 – фон + ДМ 2.0 H_r . Размещение делянок систематическое, 2-рядное. Доза доломитовой муки ($\text{CaCO}_3 - 50.4$, $\text{MgCO}_3 - 48.9\%$) по 1 H_r составила 5.54 т/га. Ежегодно вносили минеральные удобрения (АФК, N_{aa}). Суммарная за 2012–2021 гг. доза внесенных минеральных удобрений – N684P564K494. Выращивали следующие виды сельскохозяйственных культур: вика (*Vicia sativa* L.) и овес (*Avena sativa* L.) в смешанном посеве (2012, 2016 гг.), рапс (*Brassica napus* L.) (2013 г.), овощные бобы (*Vicia faba* L.) (2014, 2017 гг.), ячмень (*Hordeum* L.) (2015, 2020 гг.), горчица белая (*Sinapis alba* L.) (2019 г.), горох (сидерат) (*Pisum sativum* L.) (2021 г.) (рис. 1). Определяли сырую и воздушно-сухую массу растений. Математическую обработку данных проводили в программе ORIGIN 7.5.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Влияние нейтрализации почвенной кислотности дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы доломитовой мукой на урожайность сельскохозяйственных культур существенно зависело от дозы мелиоранта и генетически обусловленных особенностей растений.

В год закладки эксперимента (2012 г.) выращивали в смешанном посеве овес сорта Борус и вику сорта Нововятская (норма высева – $20 \text{ г}/\text{м}^2$, соотношение вика : овес = 2 : 1 по массе). Уборку проводили в фазах цветения вики и колошения овса. С каждой делянки было отобрано по 40 растений

Таблица 1. Влияние возрастающих доз доломитовой муки на биомассу викоовсяной смеси

Вариант	2012 г.					2016 г.	
	викоовсяная смесь	вика		овес		сырая, кг/м ²	воздушно-сухая, кг/м ²
		воздушно-сухая, г	сырая, г/50 шт.	воздушно-сухая, г/50 шт.	сырая, г/40 шт.		
1. Контроль	170	392	74	481	96	2.7	0.57
2. ДМ 0.2 Н _г	181	379	55	705	126	2.8	0.59
3. ДМ 0.3 Н _г	254	369	68	871	186	2.7	0.57
4. ДМ 0.4 Н _г	191	377	59	683	132	2.8	0.58
5. ДМ 0.5 Н _г	215	453	82	671	133	2.7	0.55
6. ДМ 0.6 Н _г	228	430	69	773	159	3.0	0.61
7. ДМ 0.7 Н _г	216	304	56	764	160	2.9	0.58
8. ДМ 0.8 Н _г	199	357	57	686	142	3.0	0.63
9. ДМ 0.9 Н _г	—	395	73	—	—	2.8	0.61
10. ДМ 1.0 Н _г	245	350	61	835	184	3.0	0.66
11. ДМ 1.5 Н _г	—	360	61	—	—	2.6	0.57
12. ДМ 2.0 Н _г	263	334	57	909	206	2.4	0.48

овса и 50 растений вики (табл. 1). Учет урожая опытной культуры по индивидуальным растительным пробам позволил исключить влияние такого фактора, как неоднородность количества растений на единице площади [18]. Зависимость сухой биомассы викоовсяной смеси от дозы мелиоранта характеризовалась коэффициентом корреляции (r) 0.691 (при критической величине r на 5%-ном уровне значимости 0.632). В зависимости от дозы ДМ прибавка по отношению к контролю варьировалась от 6 (вариант 2) до 55% (вариант 12). Отзывчивость растений овса на внесение мелиоранта была существенно больше, чем растений вики: биомасса растений линейно возрастала в интервале доз ДМ 0–2.0 Н_г ($r = 0.66$ и 0.77 для сырой и воздушно-сухой биомассы соответственно). В контрольном варианте наблюдали существенное снижение кущения растений овса по сравнению с опытными вариантами, что отразилось на формировании биомассы растений. Внесение ДМ в дозе 0.2 Н_г привело к возрастанию сырой биомассы растений овса на 46% по отношению к контролю, а максимальная прибавка воздушно-сухой биомассы составила 114% (доза 2.0 Н_г). Известно [12], что овес может удовлетворительно расти в широком диапазоне рН, положительно реагирует на высокие дозы извести, наиболее благоприятны для этой культуры рН почвы 5.5–6.5. Увеличение биомассы вики на 16 и 10%

по отношению к контролю наблюдали в вариантах 5 и 6 соответственно, в остальных вариантах опыта положительный эффект отсутствовал.

Повторно викоовсяную смесь (вика сорта Львовская-22, овес сорта Аргомак) выращивали на 5-й год после внесения ДМ (2016 г.). С учетом всхожести на каждой делянке количество растений составило 360 и 200 шт. вики и овса соответственно. Учет урожая проводили сплошным методом. Воздушно-сухая биомасса варьировалась в узком диапазоне 0.58 ± 0.04 кг/м² ($v = 6.9\%$), (табл. 1). В интервале доз ДМ 0–1.0 Н_г наблюдали некоторое увеличение сырой (11–15%, $r = 0.696$) и воздушно-сухой (6–16%, $r = 0.723$) биомассы по отношению к контролю. При дальнейшем увеличении дозы ДМ (варианты 11, 12) проявилась тенденция к снижению биомассы, что согласуется с информацией [19] о том, что избыточное известкование и внесение минеральных удобрений на дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах с рН 5.51–6.00 может приводить к снижению урожайности и качества сельскохозяйственных культур, увеличению материальных и энергетических затрат на проведение известкования.

На 2-й год после закладки опыта (2013 г.) опытной культурой являлся рапс сорта Орелджд-4. Норма высева – 10 кг/га (280 семян/м²). Для оценки влияния возрастающих доз ДМ на биомассу растений рапса с каждого варианта опыта в фазе цве-

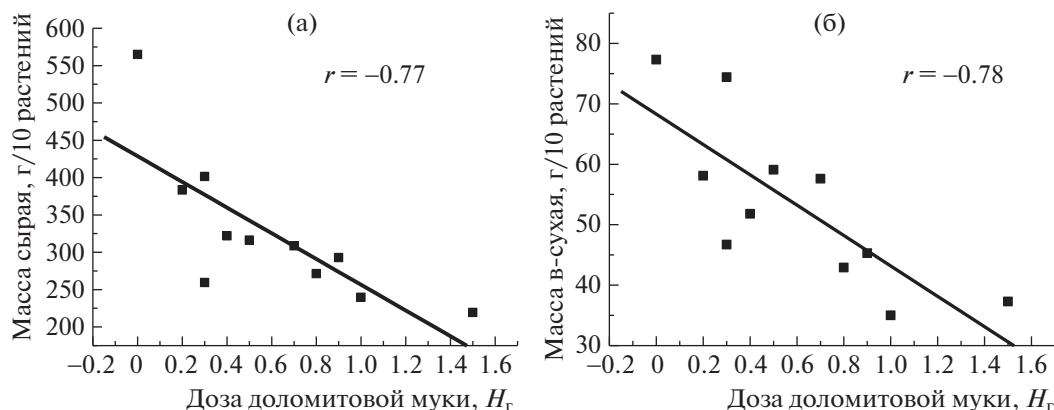


Рис. 2. Зависимость биомассы растений рапса от дозы доломитовой муки (2013 г.): (а) – сырая, (б) – воздушно-сухая масса.

тения было отобрано по 10 растений. Сырая и воздушно-сухая биомасса растений линейно снижалась в интервале доз ДМ 0–1.5 H_r ($r = -0.77$ и -0.78 соответственно) (рис. 2). В контрольном варианте опыта наблюдали существенное снижение всхожести (до 50%) и угнетение роста растений на первых этапах развития. В дальнейшем увеличение площади питания в расчете на одно растение, вероятно, привело к тому, что на момент уборки масса 10-ти растений в контрольном варианте существенно превысила массу в вариантах с мелиорантом. Однако следует отметить, что отрицательная корреляционная связь между дозой мелиоранта и биомассой растений выявлена и в интервале доз ДМ 0.2–1.5 H_r ($r = -0.76$). Согласно [20], всхожесть и урожайность ярового рапса существенно зависит от содержания влаги в слое семенного ложа, особенно в засушливые годы.

В 2014 и в 2017 гг. (3-й и 6-й годы взаимодействия ДМ с почвой) выращивали овощные бобы сортов Белорусские и Русский черный соответственно. Учет урожая проводили в фазе цветения сплошным методом (50 и 42 растения на делянке в 2014 и 2017 гг. соответственно).

В 2014 г. биомасса растений овощных бобов слабо зависела от дозы ДМ ($r = 0.432$). Сырая и воздушно-сухая биомасса варьировались в пределах 1.78 ± 0.23 и 0.27 ± 0.04 кг/м² соответственно. Коэффициент вариации, характеризующий неоднородность биомассы в пределах вариантов опыта, составил 13%. Наибольшая прибавка воздушно-сухой биомассы по отношению к контролю (50%) была получена при внесении ДМ в дозе 1.0 H_r .

В 2017 г. зависимость сырой и воздушно-сухой биомассы растений овощных бобов от дозы мелиоранта характеризовалась коэффициентами кор-

реляции $r = 0.839$ и 0.864 соответственно (при критической величине r на 5%-ном уровне значимости 0.576) (рис. 3). Вероятно, выраженность эффекта в значительной мере была связана с тем, что температура атмосферного воздуха в течение большей части вегетационного периода 2017 г. была существенно ниже нормы.

Зернофуражный ячмень сорта Ленинградский являлся опытной культурой в 2015 и 2020 гг. (4-й и 9-й годы после внесения ДМ). В 2015 г. при посеве 500 семян/м² полевая всхожесть варьировалась от 86 ± 5 до $94 \pm 6\%$ и не зависела от дозы мелиоранта. Уборку урожая проводили в фазе восковой спелости методом сплошного учета (табл. 2). В интервале доз ДМ 0–0.9 H_r зависимость урожайности зерна, соломы и половы ячменя от дозы характеризовалась коэффициентами корреляции $r = 0.830$, 0.606 и 0.760 соответственно, при критической величине r на 5%-ном уровне значимости 0.666. Максимальная урожайность зерна, отмеченная в интервале доз ДМ 0.5–0.9 и 2.0 H_r , варьировалась в пределах 0.45 – 0.49 кг/м², что на 29–39% больше, чем в контрольном варианте опыта [16]. Влияние ДМ в дозах 0.5–0.6 H_r на урожайность зерна ячменя было практически идентично влиянию доз 0.8–0.9 H_r . Установлена тесная корреляционная связь между дозой известкового мелиоранта и отношением зерно: солома в урожае ячменя ($r = 0.916$) (рис. 4).

В 2020 г. полевая всхожесть растений ячменя в вариантах опыта варьировалась в пределах $76 \pm 3\%$, (норма высева – 500 семян/м²). Уборку урожая проводили в фазе колошения. Определяли сырую и воздушно-сухую массу растений методом сплошного учета (табл. 2). В интервале доз ДМ 0–0.6 H_r сырая и воздушно-сухая биомасса растений ячменя линейно возрастала, коэффициенты

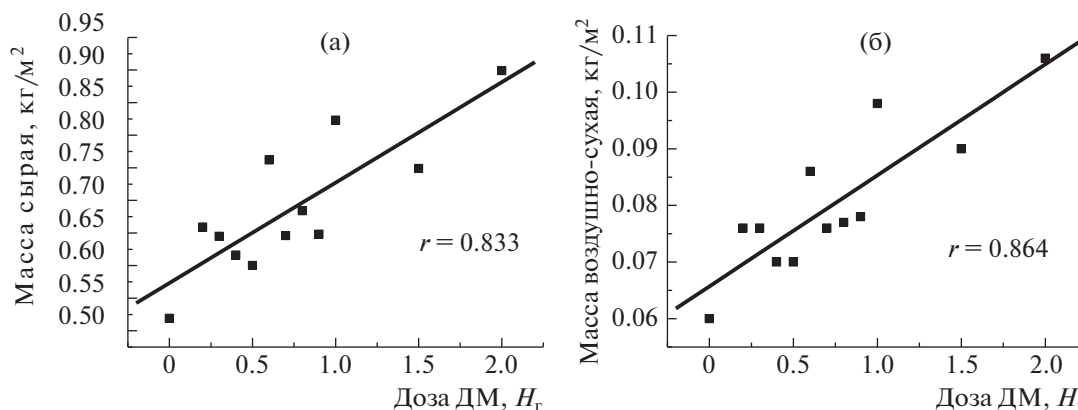


Рис. 3. Влияние возрастающих доз доломитовой муки на урожайность растений овощных бобов (2017 г.): (а) – сырая, (б) – воздушно-сухая масса.

корреляции (r) составили соответственно 0.938 и 0.963. Дальнейшее увеличение дозы мелиоранта привело к некоторому снижению биомассы, но прибавка по отношению к контролю была не менее 40% (табл. 2). Наибольшую прибавку урожая биомассы по отношению к контролю наблюдали при внесении ДМ в дозах 0.5 и 0.6 H_t : для воздушно сухой биомассы она составила 118 и 182% соответственно. Считается [12], что такие зерновые культуры как ячмень и кормовые бобы, отличаются повышенной отзывчивостью на реакцию среды, оптимальным для них является рН почвы 6.0–7.0.

На 8-й год эксперимента (2019 г.) выращивали растения горчицы белой до фазы цветения. Нор-

ма высева – 700 семян/ m^2 , полевая всхожесть – $49 \pm 6\%$. Учет урожая проводили для 60-ти растений с делянки. Влияние возрастающих доз мелиоранта на биомассу растений в интервале доз ДМ 0–2.0 H_t характеризовалось кривой с двумя максимумами (рис. 5). В интервале доз ДМ 0–0.6 H_t сырая и воздушно-сухая биомасса растений горчицы белой линейно возрастала, коэффициенты корреляции (r) составили соответственно 0.795 и 0.821; в вариантах 7. 9–11 она была меньше, чем в контрольном варианте опыта. Наибольшую прибавку биомассы по отношению к контролю наблюдали при внесении ДМ в дозах 0.5 и 0.6 H_t : для сырой биомассы она составила 39 и 47% соответственно, для воздушно сухой биомассы – 51%.

Таблица 2. Влияние возрастающих доз доломитовой муки на урожайность растений ячменя, г/ m^2

Вариант	2015 г.			2020 г.	
	зерно	солома	полова	масса сырая	масса воздушно-сухая
1. Контроль	349	397	71	654	171
2. ДМ 0.2 H_t	437	455	83	1090	295
3. ДМ 0.3 H_t	429	469	82	925	279
4. ДМ 0.4 H_t	419	426	79	1140	365
5. ДМ 0.5 H_t	470	463	85	1250	373
6. ДМ 0.6 H_t	487	484	86	1430	483
7. ДМ 0.7 H_t	452	444	81	907	272
8. ДМ 0.8 H_t	474	475	93	1110	348
9. ДМ 0.9 H_t	476	462	86	1090	331
10. ДМ 1.0 H_t	444	462	89	1150	358
11. ДМ 1.5 H_t	386	351	67	743	240
12. ДМ 2.0 H_t	463	368	72	851	268

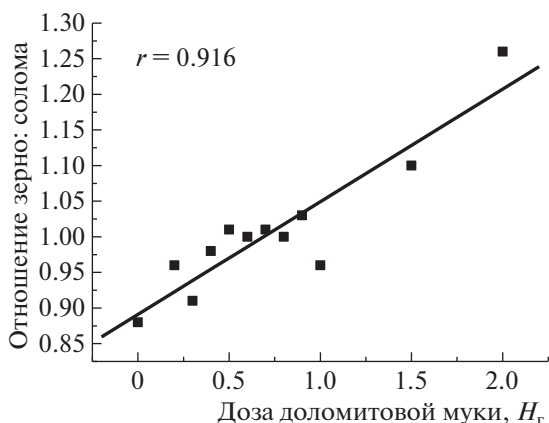


Рис. 4. Влияние возрастающих доз ДМ на величину соотношения зерно: солома в урожае ячменя (2015 г.)

В 2021 г. (10-й год эксперимента, аномально сухой и жаркий) опытной культурой являлся горох (сидерат). Уборку урожая проводили в фазе плоского боба (метод сплошного учета) (табл. 3). Норма высева – 200 семян/м², полевая всхожесть варьировалась в пределах $78 \pm 5\%$. Влияние возрастающих доз ДМ на биомассу растений гороха в интервале доз ДМ 0–1.0 H_r хорошо аппроксимировалось линейной моделью: коэффициенты корреляции (r), характеризующие зависимость доза–ответ по отношению к сырой, воздушно-сухой биомассе и плодам составили 0.716, 0.771 и 0.862 соответственно (при критической величине r на 5%-ном уровне значимости 0.632). Положительный эффект от применения ДМ наблюдали во всех вариантах (2–12), но наиболее высокие прибавки сырой биомассы гороха по отношению к контролю получены в вариантах 5, 6, 10–190,

158 и 167% соответственно. Последующее увеличение дозы мелиоранта (1.5 и 2.0 H_r) привело к существенному снижению биомассы растений по отношению к вариантам 5–10, но было значительно больше, чем в контрольном варианте опыта. Полученные данные согласуются с результатами, представленными в работе [19], согласно которым известкование дерново-подзолистой легкосуглинистой слабокислой почвы оказывало положительное влияние на показатели фотосинтетической деятельности посевов гороха, увеличение листовой поверхности, крупности семян и урожайности.

ВЫВОДЫ

1. В условиях многолетнего микрополевого эксперимента установлено, что известкование кислой дерново-подзолистой почвы доломитовой мукой (ДМ) оказывало положительное влияние на урожайность сельскохозяйственных культур в течение длительного, не менее 10 лет, периода. Количественный эффект определяли доза мелиоранта и видовые особенности растений. Применение ДМ в дозах 0.7–2.0 могло приводить к снижению урожайности отдельных видов сельскохозяйственных культур по отношению к более низким дозам. Неблагоприятные погодные условия могли нивелировать или усиливать влияние известкования на урожайность сельскохозяйственных культур.

2. Долгосрочное положительное влияние на урожайность сельскохозяйственных культур при известковании кислой дерново-подзолистой почвы доломитовой мукой проявлялось даже при применении малых доз мелиоранта (до 0.4 H_r). В течение

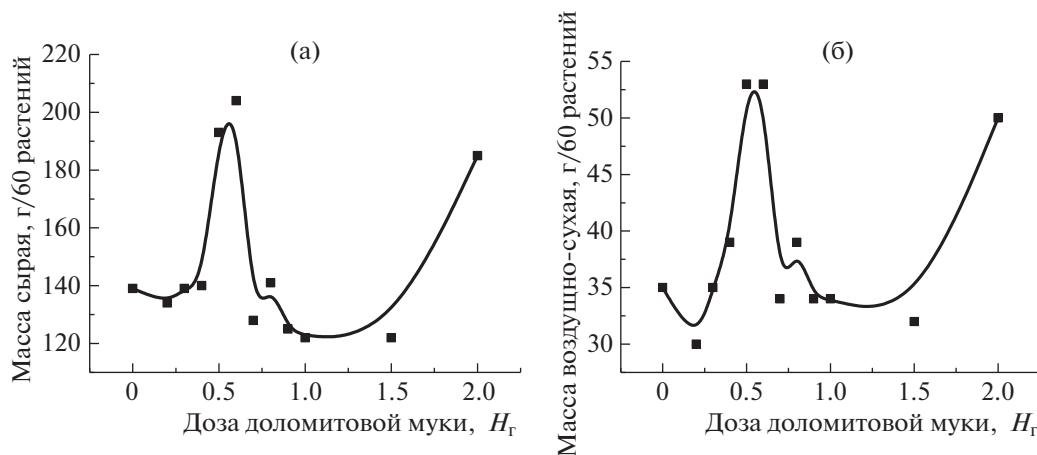


Рис. 5. Влияние возрастающих доз доломитовой муки на урожайность растений горчицы белой (2019 г.): (а) – сырая, (б) – воздушно-сухая масса.

ние 10 лет взаимодействия ДМ с почвой были зафиксированы следующие прибавки урожайности:

1-й год – викоовсяная смесь – на 6–55% (интервал доз ДМ 0.2–2.0 H_T);

3-й год – овощные бобы – от 14% (0.2 H_T) до 48% (1.0 H_T);

4-й год – ячмень (зерно) – 29–39% (интервал доз ДМ 0.5–0.9, 2.0 H_T), но не менее 11% (1.5 H_T);

5-й год – викоовсяная смесь – 11–15% (0.2–1.0 H_T);

6-й год – овощные бобы (воздушно-сухая масса) – от 17 до 43% (0.2–0.9 H_T) и 63, 50, 77% (1.0, 1.5 и 2.0 H_T);

8-й год – горчица белая – максимум 51% (0.5, 0.6 H_T) и 43% (2.0 H_T);

9-й год – ячмень (зеленая воздушно-сухая масса) – не менее 40% (0.2–2.0 H_T), максимум 118–182% (0.5, 0.6 H_T);

10-й год – горох (воздушно-сухая масса) – не менее 48% (0.3 H_T), максимум – 158% (0.5, 1.0 H_T).

3. Зависимость воздушно-сухой биомассы викоовсяной смеси от дозы мелиоранта (0–2.0 H_T , 1-й год) характеризовалась коэффициентом корреляции (r) = 0.691 (критическая величина r на 5%-ном уровне значимости 0.632). Отзывчивость растений овса на известкование была существенно больше, чем растений вики. На 5-й год взаимодействия ДМ с почвой в интервале доз ДМ 0–1.0 H_T наблюдали некоторое увеличение воздушно-сухой биомассы (на 6–16%, r = 0.723) по отношению к контролю. При дальнейшем увеличении дозы ДМ (варианты 11, 12) отметили тенденцию к снижению указанного показателя.

4. Известкование могло приводить к снижению урожайности отдельных видов сельскохозяйственных культур: на 2-й год после внесения ДМ в почву сырая и воздушно-сухая биомасса растений рапса линейно снижалась с увеличением дозы доломитовой муки (r = –0.77 и –0.78 соответственно).

5. Влияние ДМ в широком диапазоне доз на биомассу растений овощных бобов существенно зависело от условий конкретного вегетационного периода. На 3-й год взаимодействия мелиоранта с почвой (2014 г.) биомасса растений слабо зависела от дозы ДМ (r = 0.432). На 6-й год опыта сырая и воздушно-сухая биомасса растений овощных бобов линейно возрастала в интервале доз ДМ 0–2.0 H_T (r = 0.39 и 0.864 соответственно, при критической величине r на 5%-ном уровне значимости 0.576).

6. Ярко выраженный положительный эффект влияния известкования дерново-подзолистой

Таблица 3. Влияние возрастающих доз доломитовой муки на биомассу растений гороха (2021 г.), г/м²

Вариант	Масса сырая	Масса воздушно-сухая	
		общая	плоды (плоский боб)
1. Контроль	301	79	6
2. ДМ 0.2 H_T	535	127	15
3. ДМ 0.3 H_T	501	117	15
4. ДМ 0.4 H_T	547	140	20
5. ДМ 0.5 H_T	873	204	28
6. ДМ 0.6 H_T	777	184	30
7. ДМ 0.7 H_T	643	157	23
8. ДМ 0.8 H_T	647	157	24
9. ДМ 0.9 H_T	652	162	25
10. ДМ 1.0 H_T	803	204	36
11. ДМ 1.5 H_T	461	122	15
12. ДМ 2.0 H_T	590	144	20

почвы доломитовой мукой наблюдали на растениях ячменя сорта Ленинградский. На 4-й год проведения опыта в интервале доз ДМ 0–0.9 H_T урожайность зерна ячменя линейно возрастала (r = 0.830). На 9-й год в интервале доз ДМ 0–0.6 H_T зависимость воздушно-сухой биомассы растений ячменя (фаза колошения) от дозы мелиоранта характеризовалась коэффициентом корреляции r = 0.963. Дальнейшее увеличение дозы мелиоранта привело к некоторому снижению биомассы, но прибавка по отношению к контролю была не менее 40%.

7. На 8-й год взаимодействия ДМ с почвой в интервале доз 0–0.6 H_T сырая и воздушно-сухая биомасса растений горчицы белой (фаза цветения) линейно возрастала (r = 0.795 и 0.821 соответственно). При внесении ДМ в дозах 0.7, 0.9–1.5 H_T биомасса растений была меньше, чем в контрольном варианте опыта.

8. Влияние возрастающих доз мелиоранта на биомассу растений гороха (10-й год) в интервале доз 0–1.0 H_T хорошо аппроксимировалось линейной моделью (r = 0.71 и 0.862 соответственно по отношению к воздушно-сухой биомассе и плодам). Положительный эффект от применения ДМ наблюдали во всех вариантах опыта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kadar I., Ragalyi P. Effect of fertilization and liming on crop responses // Proceed. 43rd Croatian and 3rd Inter. Symp. on Agriculture. Opatija, Croatia, 2008. P. 531–534.

2. Шильников И.А., Гришин Г.Е., Зеленов Н.А., Аканова Н.И., Курносова Е.В. Экологически безопасные и энерго-ресурсосберегающие приемы известкования почв в земледелии // Нива Поволжья. 2010. № 2 (15). С. 40–44.
3. Якушев В.П., Осипов А.И., Миннулин Р.М., Воскресенский С.В. К вопросу об известковании кислых почв в России // Агрофизика. 2013. № 2. С. 18–22.
4. Yuan Li, Song Cui, Scott X. Chang, Qingping Zhang Liming effects on soil pH and crop yield depend on lime material type, application method and rate, and crop species: a global meta-analysis // J. Soil. Sediment. 2019. V. 19. № 3. P. 1393–1406.
5. Jelic M., Dugalic G., Milivojevic J., Djekic V. Effect of liming and fertilization on yield and quality of oat (*Avena sativa* L.) on an acid luvisol soil // Roman. Agricult. Res. 2013. № 30. P. 249–258.
6. Holland J.E., Bennett A.E., Newton A.C., White P.J., McKenzie B.M., George T.S., Pakeman R.J., Bailey J.S., Fornara D.A., Hayes R.C. Liming impacts on soils, crops and biodiversity in the UK: a review // Sci. Total Environ. 2018. V. 610–611. P. 316–332.
7. Минеев В.Г., Гомонова Н.Ф., Морачевская Е.В. Влияние длительного применения удобрений и известкования на биологические свойства почвы // Пробл. агрохим. и экол. 2014. № 1. С. 3–9.
8. Шильников И.А., Лебедева Л.А. Известкование почв. М.: Агропромиздат, 1987. 170 с.
9. Шильников И.А., Сычев В. Г., Зеленов Н.А., Аканова Н.И., Федотова Л.С. Известкование как фактор урожайности и почвенного плодородия. М.: ВНИИ-ИА, 2008. 340 с.
10. Минеев В.Г. Агрохимия: Учебник. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Изд-во МГУ, КолосС, 2004. 720 с.
11. Fageria N.K., Nasciente A.S. Management of soil acidity of South American soils for sustainable crop production // Advan. Agron. 2014. V. 128. P. 221–275.
12. Приемы повышения плодородия почв (известкование, фосфоритование, гипсование): научн.-метод. рекоменд. М.: Росинформагротех, 2021. 116 с.
13. Витковская С.Е. Методы оценки эффективности и экологической безопасности и химических мелиорантов. СПб.: АФИ, 2017. 76 с.
14. Витковская С.Е., Яковлев О.Н., Шаврина К.Ф. Влияние возрастающих доз доломитовой муки на кислотно-основные свойства дерново-подзолистой почвы // Агрохимия, 2016. № 7. С. 3–11.
15. Витковская С.Е., Яковлев О.Н. Влияние возрастающих доз доломитовой муки на распределение марганца и железа в системе почва–растение // Агрохимия. 2017. № 11. С. 44–51.
16. Витковская С.Е., Шаврина К.Ф., Яковлев О.Н. Продуктивность растений ячменя и взаимодействие цинка, кальция и магния в системе почва–растение при нейтрализации кислотности почвы доломитовой мукой // Агрохимия. 2020. № 1. С. 50–57.
17. Витковская С.Е., Шаврина К.Ф. Динамика кислотности дерново-подзолистой почвы в зависимости от дозы известкового мелиоранта // Агрофизика, 2021. № 1. С. 1–6.
18. Витковская, С.Е. Методы оценки неоднородности почвенного покрова при планировании и проведении полевых опытов. СПб.: АФИ, 2011. 52 с.
19. Германович Т.М., Царук И.А. Продуктивность и качество гороха в зависимости от известкования и доз калийных удобрений при возделывании на слабокислой дерново-подзолистой легкосуглинистой почве // Почвовед. и агрохим. 2009. № 1 (42). С. 144–155.
20. Velykis A., Satkus A., Masilionyte L. Effect of tillage, lime sludge and cover crop on soil physical state and growth of spring oilseed rape // Zemdirbyste–Agriculture. 2014. V. 101. № 4. P. 347–354.

Liming Impacts of Light Loamy Sod-Podzolic Soil by Ddolomite on Yield of Agricultural Crops (Results of Long-Term Microfield Experiment)

S. E. Vitkovskaya^{a,b,#} and K. F. Shavrina^b

^aRussian State Hydrometeorological University
Voronezhskaya ul. 79, Saint-Petersburg 192007, Russia

^bAgrophysics Research Institute
Gragsdanskiy prosp. 14, Saint-Petersburg 195220, Russia

[#]E-mail: s.vitkovskaya@mail.ru

The effect of liming acidic sod-podzolic light loam soil with dolomite flour (dose range 0–2.0 H_a) on the yield of various types of crops (*Vicia sativa* L. and *Avena sativa* L.) was studied. in mixed seeding, *Brassica napus* L., *Vicia faba* L., *Hordeum* L., *Sinapis alba* L., *Pisum sativum* L.) under conditions of a multi-year precision microfield experiment for 10 years. It was found that the use of dolomite flour (DF) had a positive effect on the yield of agricultural crops for a long period of at least 10 years; the long-term positive effect was manifested even with the use of small doses of the drug (up to 0.4 H_a). The use of DF in doses of 0.7–2.0 H_a may lead to a decrease in the yield of certain types of crops compared with lower doses.

Key words: liming, sod-podzolic light loamy soil, dolomite flour, crop yield, a long-term microfield experiment.