

УДК 631.81:631.415.1:631.445.24:631.559:633.853.494

ВЛИЯНИЕ УДОБРЕНИЙ И МЕЛИОРАНТОВ НА ВЕЛИЧИНУ ПОЧВЕННОЙ КИСЛОТНОСТИ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ЛЕГКОСУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЫ, УРОЖАЙНОСТЬ И ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ЗЕЛЕННОЙ МАССЫ ЯРОВОГО РАПСА (ПО ДАННЫМ ЛАБОРАТОРНО-ВЕГЕТАЦИОННОГО ОПЫТА)

© 2024 г. А. В. Литвинович^{1,2,*}, К. М. Нельсон²,
А. В. Лаврищев², П. С. Манаков²

¹Агрофизический научно-исследовательский институт
195220 С.-Петербург–Пушкин, Гражданский просп., 14, Россия

²Санкт-Петербургский государственный аграрный университет
196601 С.-Петербург–Пушкин, Петербургское шоссе, 2, Россия

*E-mail: av.lavrishchev@yandex.ru

В контролируемых условиях лабораторно-вегетационного опыта, заложенного на очень сильно-кислой дерново-подзолистой супесчаной почве, проведено сравнительное изучение удобрительной ценности и мелиоративных свойств комплексных минеральных удобрений (азофоски и АРАВИВА) и мелиорантов карбонатной природы: конверсионного мела (ККС), отсева щебня (ОЩ), доломитовой (ДМ) и доломитизированной (ДИМ) известняковой муки, а также силикатной природы – доменного шлака (ДШ) и гидроксидной природы – $Mg(OH)_2$. Культура – яровой рапс сорта Лексус. Показано, что мелиоративный эффект, полученный в результате использования ДШ и мелиорантов карбонатной природы мало отличались друг от друга и спустя 45 сут возделывания растений были незначительны. Гидроксид магния мелиоративного эффекта не оказал. Приведены урожайные данные вегетативной массы рапса после уборки растений. Показано, что химический состав мелиорантов оказывал существенное влияние на формирование элементного состава растений.

Ключевые слова: удобрения, мелиоранты разной природы, почвенная кислотность, дерново-подзолистая легкосуглинистая почва, урожайность, химический состав, зеленая масса, яровой рапс, лабораторно-вегетационный опыт.

DOI: 10.31857/S0002188124050055, EDN: CZGYTJ

ВВЕДЕНИЕ

В лаборатории мелиорации почв АФИ (г. Санкт-Петербург) с 1998 г. проводят опыты, направленные на установление влияния удобрений, мелиорантов и отходов промышленности на формирование химического состава ярового рапса [1–8].

Установлено, что регулирование пищевой ценности рапса с помощью средств химизации является перспективным агрохимическим приемом. Яровой рапс относится к экологически пластичным видам растений, на формирование которого оказывает влияние химическая обстановка в почве [5].

Известкование оказывает комплексное воздействие на почвы: изменяется реакция среды, возрастает емкость катионного обмена, уменьшается подвижность одних и увеличивается подвижность других элементов. Находящиеся в составе удобрений

и мелиорантов примеси макро- и микроэлементов, способны оказывать на формирование элементного состава рапса существенное влияние не только вследствие прямого поглощения, но и в результате сложных процессов адсорбции, комплексообразования, ионного обмена, соосаждения между отдельными элементами, в результате чего доступность их для растений будет меняться [5, 6].

Цель работы – в контролируемых условиях лабораторно-вегетационного опыта установить влияние мелиорантов различной химической природы на урожайность и химический состав растений ярового рапса.

В задачи исследования входило:

– выявить мелиоративные свойства известковых материалов карбонатной, гидроксидной и силикатной природы, используемых для

выращивания растений на очень сильноокислой дерново-подзолистой супесчаной почве;

– получить сравнительные данные об удобрительной ценности использованных в опыте комплексных (азофоски и АРАВИВА) минеральных удобрений;

– установить особенности формирования элементного состава зеленой массы ярового рапса сорта Лексус при использовании различных видов комплексных удобрений и мелиорантов.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводили в 11-вариантом вегетационном опыте, заложенном в климатостате в сосудах емкостью 1 кг почвы.

В опыте использовали очень сильноокислую дерново-подзолистую супесчаную почву

со следующими физико-химическими показателями: pH_{KCl} 3.75, H_T – 11.8 ммоль(экв)/100 г почвы, содержание гумуса – 3.02%, частиц <0.01 мм – 18.6 мм. Валовой химический и гранулометрический составы почвы приведены в табл. 1, 2. Схема опыта представлена в табл. 3.

Повторность опыта четырехкратная. Для проведения эксперимента использовали мелиоранты карбонатной, силикатной и гидроксидной природы. Химический состав мелиорантов представлен в табл. 4.

Конверсионный мел – карбонат кальция синтетический (ККС) – отход производства азотных удобрений, получается в результате азотнокислого разложения апатитового концентрата. Обладает тонкодисперсным гранулометрическим составом [9]. Мелиоративные свойства ККС АО “Акрон” (г. Великий Новгород) приведены в работах [10, 11].

Таблица 1. Гранулометрический состав супесчаной дерново-подзолистой почвы

Размер фракций, мм	1–0.25	0.25–0.05	0.05–0.01	0.01–0.005	0.005–0.001	< 0.001	<0.01
Содержание, %	1.77	58.14	21.50	5.95	7.04	6.86	18.6

Таблица 2. Валовой химический состав почвы, %

Потеря при прокаливании	SiO ₂	R ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	P ₂ O ₅	SO ₃	Σ
6.15	81.1	9.28	1.19	7.97	0.44	0.47	0.11	0.51	101

Таблица 3. Влияние различных видов мелиорантов на величину почвенной кислотности, урожайность и химический состав растений рапса

Вариант	pH_{KCl}	Урожайность, г/сосуд	Ca, %	Mg, %	Zn, мг/кг	Mn, мг/кг	Fe, мг/кг
1. Контроль (без удобрений)	3.98	6.53	0.93	0.225	18.1	233	54.4
2. АРАВИВА НРК(S) (фон)	3.65	10.39	1.07	0.250	19.5	348	68.6
3. Азофоска	4.05	8.66	0.82	0.222	7.6	216	93.7
4. Фон + КМ по 0.7 H_T	4.38	13.39	1.51	0.299	4.7	182	71.2
5. Фон + ДИМ по 0.7 H_T	4.38	9.83	1.76	0.367	6.3	207	76.8
6. Фон + ДМ по 0.7 H_T	4.29	8.73	1.58	0.624	14	245	190
7. Фон + Гидрокарбонат Mg (кат. Б) по 0.7 H_T	3.80	7.57	1.33	0.517	65	315	203
8. Фон + ОЩ по 0.7 H_T	4.43	9.57	1.45	0.539	38	228	206
9. Фон + ДШ по 0.7 H_T	4.30	9.44	1.60	0.494	51	289	278
10. Фон + Гидрокарбонат Mg (кат. С) по 0.7 H_T	3.82	6.09	1.37	0.454	75	301	134
11. Фон + Гидрокарбонат Mg (кат. А) по 0.7 H_T	3.89	6.66	1.27	0.573	66	324	121
НСР ₀₅		1.8	0.25	0.047	13	51	71

Таблица 4. Химический состав мелиорантов

Мелиорант	Массовая доля, %		
	CaO	MgO	SiO ₂
Конверсионный мел (КМ)	50.7	1.7	—
Доломитизированная известняковая мука (ДИМ)	44.7	4.3	—
Доломитовая мука (ДМ)	30.4	21.0	—
Доменный шлак (ДШ)	39.7	19.7	38.5
Гидроксид Mg (категория А)	3.08	59.9	4.7
Гидроксид Mg (категория В)	5.05	58.5	6.32
Гидроксид Mg (категория С)	11.4	49.7	5.12
Отсев доломита	46.1	38.4	—

Экологические аспекты использования конверсионного мела описаны в [12].

Доломитовая мука (ДМ) произведена из доломита (месторождение Республики Беларусь, г. Витебск). Содержит в своем составе углекислые соли кальция и магния ($\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$).

Доменный шлак (ДШ) — отход производства черных металлов. В опыте использовали ДШ Череповецкого металлургического комбината. Шлак относится к известково-силикатным удобрениям. Сравнительный анализ удобрительной ценности и мелиоративных свойств ДМ и ДШ дан в работах [13, 14].

Отсев производства щебня из карбонатных пород (ОЩ). При производстве щебня из карбонатных пород в отвалы отсеиваются фракции размером <10 мм. Химический состав отсева месторождения Елизаветино (Гатчинский р-н, Ленинградской обл.) приведен в табл. 4. Удобрительная ценность и мелиоративные свойства отсева описаны в работах [15, 16].

Мелиоранты гидроксидной природы представлены в опыте гидроксидами магния с различным содержанием и соотношением Mg : Ca. Гидроксид магния является цитратрастворимым удобрением. В эксперименте использовали 3 категории мелиоранта (А, В, С).

Перед внесением в почву все мелиоранты измельчали и пропускали через сито с диаметром отверстий 0.25 мм. Дозы мелиорантов выравнивали по нейтрализующей способности. Необходимое количество мелиорантов для известкования устанавливали из расчета устранения гидролитической кислотности по 0.7 Н_г. Пересчет вели на массу пахотного слоя 3 млн кг.

В сосуды высевали по 6 растений ярового рапса сорта Лексус. Световой день был равен 15 ч. Уборку растений проводили спустя 45 сут после появления всходов. В опыте использовали лампы UnionPowerStar-40W-T, длина волны диодов: синий (450 нм), красный (660 нм). Влажность почвы

в процессе выращивания растений поддерживали на уровне 60% ППВ.

В качестве вариантов сравнения использовали почву без применения средств химизации (вариант 1), а также почву, удобренную азофоской (NPK = 16 : 16 : 16) и препаратом ARAVIVA (варианты 2 и 3) по 0.2 г д.в./кг почвы. В мелиорированных вариантах в качестве фона применяли удобрение ARAVIVA.

ARAVIVA (NPK = 15 : 15 : 15) производится ПАО “ФосАгро”. Азот в удобрении представлен в форме NH₄, 90% фосфатов составляют водорастворимые формы. Содержит в своем составе 10% серы и 0.3–1.0% MgO.

Химический состав зеленой массы ярового рапса определяли на атомно-абсорбционном спектрофотометре после озоления в муфеле при температуре 550°C.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Исследование показали, что величина pH в почве варианта без средств химизации после уборки растений осталась в той же группе кислотности (очень сильнокислая почва — 3.98 ед. pH) (табл. 4). Применение азофоски привело к снижению почвенной кислотности (величина pH_{KCl} стала соответствовать 4.05 ед. pH — сильнокислотному уровню). Величины pH почвы при использовании удобрения ARAVIVA зафиксировано на уровне 3.65 ед. pH.

Использование мелиорантов карбонатной природы (ККС, тонкоизмельченного ОЩ, ДМ и ДИМ) способствовало нейтрализации почвенной кислотности. Эффект от их внесения мало отличался друг от друга (pH_{KCl} менялся от 4.29 до 4.48 ед.). Аналогичным образом на величину pH_{KCl} повлиял ДШ (pH_{KCl} 4.3).

Незначительный мелиоративный эффект, достигнутый в результате известкования мелиорантами карбонатной и силикатной природы спустя

45 сут после применения, объясняется невысокой их скоростью растворения. В работах [17–19] было показано, что процесс полного разложения известковых материалов в почвах не заканчивается даже спустя 1 год после применения. Остаточное количество неразложившейся извести в почвах фиксируется даже спустя 3 года после применения.

Гидроксиды магния (кат. А, В, С) мелиоративного эффекта не оказали. pH_{KCl} почвы осталась на уровне показателя до закладки опыта.

Следовательно, использование средств химизации в дозе $0.7 H_T$ на очень сильнокислой дерново-подзолистой почве при выращивании ярового рапса повлияло на величину почвенной кислотности по-разному. Применение удобрения АРАВИВА в чистом виде способствовало некоторому подщелачиванию почвы. При использовании азофоски ни подкисления, ни подщелачивания почвы не произошло. Известкование гидроксидом магния также не привело к росту pH солевой суспензии в течение вегетации рапса. Эффект от применения мелиорантов карбонатной и силикатной природы спустя 45 сут был незначителен и мало различался между собой.

Минимальный урожай зеленой массы растений (табл. 4) в сосудах опыта отмечен в варианте без использования удобрений и мелиорантов (6.49 г/сосуд). Применение комплексных минеральных удобрений способствовало повышению продуктивности вегетативной массы рапса. Рост урожая в варианте опыта с удобрением АРАВИВА (10.4 г/сосуд) составил 159% к контролю. Эффект от внесения азофоски оказался меньше – 133% к контролю. Различия между вариантами, удобренными комплексными удобрениями, были достоверными.

Таким образом, использование на сильнокислой дерново-подзолистой супесчаной почве удобрения АРАВИВА в эквивалентном с азофоской количестве имело преимущество перед азофоской. Выявление причин этого явления требует постановки специальных опытов.

Мелиоранты карбонатной и силикатной природы также способствовали повышению урожая зеленой массы рапса. Максимальная эффективность установлена в варианте с применением КМ. Урожай зеленой массы рапса в вариантах с использованием доломитизированной ИМ, ДМ и отсева щебня был достоверно меньше. Эффективность ДШ оставалась на уровне мелиорантов карбонатной природы. Гидроксиды магния положительного влияния на продуктивность рапса не оказали.

Большинство сильно- и среднекислых почв Северо-Западного региона РФ характеризуется недостаточным содержанием доступных для растений форм кальция. Проявление кальциевого голодания

растений на бедных поглощенными основаниями кислых подзолистых почвах может быть следствием прямого дефицита в них кальция, а также результатом антагонистического действия вносимых с удобрениями катионов NH_4^+ , K^+ и Mg^{2+} , блокирующих как поступление его в растения, так и участие во внутрпочвенных процессах [20].

Минимальным накоплением кальция в вегетативной массе рапса характеризовались варианты без известкования. Изменения концентраций кальция в тканях составили от 0.82 до 1.07%. Выявленные различия были недостоверными.

Известкование положительно сказалось на содержании кальция в растениях. Во всех мелиорируемых вариантах концентрация этого элемента в тканях рапса была достоверно больше, чем в вариантах без известкования. Значимых различий в накоплении кальция растениями из сосудов, известкованных мелиорантами карбонатной природы и доменным шлаком, не установлено. Рост концентрации кальция в тканях в вариантах с гидроксидом магния по сравнению с вариантами без известкования был отмечен в качестве хорошо выраженной тенденции.

Таким образом, мелиоранты карбонатной и силикатной природы оказали существенное влияние на переход кальция в растения рапса уже она первых этапах выращивания. Отрицательное влияние недостатка кальция для растений рапса при известковании устранялось. Следовательно, действие известкования не может быть сведено только к нейтрализации почвенной кислотности. Роль извести как кальциевого удобрения была показана также в работах [21–24].

Полученные результаты подтвердили ранее сделанный вывод о том, что на формирование элементного состава рапса влияет химическая обстановка в почве [5]. Например, разница в содержании кальция в тканях рапса в варианте без применения средств химизации и в варианте, удобренным АРАВИВА на фоне известкования доломитизированной ИМ, составила 1.89 раза.

Недостаток магния, тормозящий рост растений, возможен на легких почвах при низких величинах pH [20]. В России около 20 млн га пахотных почв имеет низкое содержание магния, половина таких почв расположена в Нечерноземной зоне страны [25]. Площадь почв, нуждающихся в первоочередном внесении магния в России, составляет ≈ 7 млн га [26]. В настоящее время, в связи с прекращением поставок магнийсодержащих удобрений сельскохозяйственному производству России, магнийсодержащие отходы промышленности и мелиоранты являются основным источником пополнения запасов магния в почвах.

Данные содержания магния в тканях рапса приведены в табл. 3. Концентрация магния в вегетативной массе растений, установленная в варианте без применения удобрений и мелиорантов, была минимальной (0.225%). Содержание магния в тканях при использовании в опыте комплексных минеральных удобрений возросла до 0.234%. Выявленные различия были недостоверными.

Рост концентрации магния в зеленой массе рапса отмечен в вариантах, мелиорированных магниесодержащими удобрениями. Чем больше была концентрация магния в известковых удобрениях карбонатной природы, тем больше магния накапливал рапс. Например, в сосудах опыта с ККС, содержащих 1.7% Mg, концентрация магния в тканях рапса составила 0.299%, а в варианте с доломитовой мукой возросла до 0.624%. Тем не менее, следует отметить, что концентрация магния в растениях рапса в варианте с применением ККС была лишь незначительно больше, чем в контроле (0.225 и 0.299%), а урожай зеленой массы почти в 2 раза превосходил последний. Следовательно, в варианте с ККС уровень содержания магния в тканях способствовал нормальному развитию растений рапса.

Расширение соотношения MgO : CaO в гидроксиде магния способствовало уменьшению содержания магния в массе рапса. Изменения составили от 0.497 до 0.440%.

В целом, использование мелиорантов, содержащих в своем составе магний, приводило к обогащению почвы доступными для растений соединениями этого элемента и вызывало рост содержания этого элемента в рапсе.

Известно, что кислотность почвы резко увеличивает подвижность некоторых микроэлементов – марганца и цинка, в сильнокислых почвах – железа. Физиологическая роль марганца связана с его участием в окислительно-восстановительных процессах. В качестве элемента, входящего в состав ферментов, он задействован в процессах дыхания, азотном и нуклеиновом обменах [24]. Известкование в целом приводит к осаждению в почвах доступных для растений соединений марганца [27–29]. Максимальное снижение содержания подвижного марганца отмечено при pH_{KCl} в почвах 6.5–7.2. Этот уровень реакции соответствует образованию в почвах нормального увлажнения оксидов Mn_2O_3 и MnO , которые обладают малой растворимостью [24].

В проведенном эксперименте в условиях очень сильнокислой реакции почвы известкование на начальном этапе выращивания растений рапса не привело к снижению содержания марганца в его зеленой массе. Изменения концентрации марганца в вегетативной массе укладывались в диапазон 201–348 мг/кг. Связи между концентрацией

кальция и магния в биомассе рапса и концентрацией марганца в растениях не выявлено.

В литературе приведены пределы изменений содержания марганца в растениях, при которых осуществляется нормальное функционирование растительного организма [30]. Для представителей семейства капустных, к которым относится яровой рапс, они меняются от 50 до 600 мг/кг сухой массы. Пределы верхнего порога содержания при явлениях токсикоза варьируют от 760 до 2035 мг/кг. Таким образом, содержание марганца в растениях рапса в изученных вариантах укладывалось в диапазон концентраций, способных обеспечить нормальное функционирование растений.

Железо – необходимый элемент для роста и развития растений. Участие железа в процессах обмена веществ в растительном организме чрезвычайно обширно и отражается на активности и характере метаболизма потребляемых растениями элементов питания. Физиологическая роль железа – элемента, обладающего переменной валентностью, связана прежде всего с переносом электронов и его участием в окислительно-восстановительных реакциях, таких как окисление углеводов, восстановление сульфатов и нитратов. Большую роль играет железо в фотосинтезе растений, являясь незаменимым компонентом в составе хлоропластов, без него не образуется хлорофилл. Недостаток железа тормозит два важнейших процесса энергообмена растений – фотосинтез и дыхание.

Состояние железа в почвах изучено достаточно полно [31–33]. Степень подвижности железа возрастает от почв с щелочной реакцией к нейтральной и далее к кислым почвам, а максимальное снижение подвижности этого элемента отмечено при pH_{KCl} , соответствующим показателям от 6.5 до 7.2 ед. pH [24].

Концентрация железа в тканях рапса зависела от применения средств химизации. Минимальное содержание было характерно для контрольного варианта. Применение минеральных удобрений, КМ и доломитизированной ИМ не привело к достоверному росту концентрации железа в рапсе. Изменения его содержания укладывались в диапазон 68.6–93.7 мг/кг сухой массы растений.

Достоверный рост содержания железа в зеленой массе растений установлен в вариантах, в которых почву мелиорировали ДМ, ОЩ, ДШ и гидроксидом магния. Вероятно, это в какой-то степени было связано с наличием железа в самих мелиорантах. Например, содержание Fe_2O_3 в доменном шлаке составляло 0.6, в гидроксидах магния – 0.3%.

Изменение концентраций железа в тканях рапса при использовании мелиорантов на фоне

применения удобрения АРАВИВА укладывались в диапазон от 121 до 278 мг/кг и были достоверно больше, чем в варианте без использования средств химизации.

Указанное содержание железа в тканях рапса, выращенного в опыте, укладывалось в диапазон концентраций, позволяющим нормально развиваться растениям [30].

Цинк играет важную роль в азотном, углеводном и фосфорных обменах. Он способствует синтезу нуклеиновых кислот и белка. При недостатке цинка в растениях накапливаются редуцирующие сахара, небелковые соединения азота, органические кислоты, нарушается синтез белка. Дефицит цинка приводит также к нарушению фосфорного обмена. При недостатке этого элемента в листьях подавляется скорость деления клеток мезофилла, что приводит к морфологическим изменениям листьев [30]. Возрастание pH_{KCl} почвенного раствора, а также увеличение содержания в почве обменных соединений кальция и магния способствует снижению содержания цинка в растениях.

Из всех изученных элементов цинк характеризовался наименьшим накоплением в растениях рапса. В зависимости от варианта опыта концентрация цинка в тканях рапса менялась от 4.69 до 75.1 мг/кг абсолютно сухой массы растений, т.е. изменялась в 16 раз. Минимальной концентрацией характеризовались варианты, удобренные комплексными минеральными удобрениями и мелиорантами карбонатной природы. В вариантах опыта с применением гидрокарбонатов магния и ДШ концентрация цинка в растениях резко возросла. По-видимому, это объяснялось присутствием Zn в самих мелиорантах.

В целом проведенное исследование показало, что на формирование химического состава ярового рапса существенное влияние оказывала химическая обстановка в почве, а применение удобрений и мелиорантов было фактором, позволившим регулировать элементный состав растений на начальном этапе возделывания рапса.

ВЫВОДЫ

Величина pH_{KCl} в почве варианта без средств химизации после уборки растений рапса соответствовала очень сильнокислоте состоянию — 3.98 ед. рН. При применении азофоски показатель рН почвы стал соответствовать сильнокислоте уровню: $pH_{KCl} = 4.05$ ед. рН. Величина pH_{KCl} при использовании удобрения АРАВИВА зафиксирована на уровне 3.65 ед. Эффект от использования ККС, ОЩ, ДМ и ДИМ мало отличался друг от друга. Изменения составили от 4.9 до 4.48 ед. рН. ДШ на величину pH_{KCl} повлиял аналогичным образом

(pH_{KCl} 4.39 ед.). Гидроксиды магния мелиоративного эффекта не оказали, pH_{KCl} остался на уровне показателей до закладки опыта.

Минимальная урожайность растений в сосудах опыта была характерна для варианта без использования средств химизации (6.49 г зеленой массы/сосуд). Рост урожайности в варианте опыта с удобрением АРАВИВА (10.4 г/сосуд) составил 159% к контролю, в варианте с азофоской — 133% к контролю.

Максимальная продуктивность растений в мелиорированной почве установлена в вариантах с применением ККС. Выход зеленой массы рапса в вариантах с использованием ДИМ, ДМ и ОЩ был достоверно меньше. Эффективность ДШ оставалась на уровне мелиорантов карбонатной природы. Гидроксид магния положительного влияния на продуктивность рапса не оказал.

Известкование положительно сказалось на содержании кальция в растениях. Во всех мелиорированных вариантах концентрация этого элемента была достоверно больше, чем в вариантах без известкования. Значимых различий в накоплении кальция растениями в вариантах, известкованных мелиорантами карбонатной природы и доменным шлаком, не установлено. Рост концентрации кальция в тканях в вариантах с гидроксидом магния по сравнению с вариантом без известкования отмечен в качестве хорошо выраженной тенденции. Концентрация магния в вегетативной массе растений в вариантах без применения минеральных удобрений и с их использованием менялась от 0.225 до 0.234%. Использование мелиорантов, содержащих в своем составе магний, приводило к обогащению почвы доступными для растений соединениями этого элемента и вызывало рост концентрации магния в рапсе. Чем больше концентрация магния в известковых удобрениях карбонатной природы, тем больше магния накапливал рапс. В варианте с ККС концентрация магния составила 0.299, в варианте с ДМ возросла до 0.624%, т.е. в 2.1 раза. Расширение соотношения MgO : CaO в гидроксиде магния способствовало уменьшению содержания магния в рапсе, изменения составили от 0.497 до 0.440%.

Известкование не привело к снижению содержания марганца в зеленой массе рапса. Изменения концентрации укладывались в диапазон от 201 до 348 мг/кг. Такое содержание укладывается в диапазон концентраций, способных обеспечить нормальное функционирование растений. Концентрация железа в тканях рапса зависела от применения средств химизации. Достоверный рост содержания железа в зеленой массе рапса установлен в вариантах, мелиорированных ДМ, ОЩ, ДШ и гидроксидом магния. Вероятно, это связано с наличием железа в самих мелиорантах.

Концентрация цинка в тканях рапса менялась от 4.69 до 75.1 мг/кг. Минимальной концентрацией элемента характеризовались варианты, удобренные комплексными минеральными удобрениями и мелиорантами карбонатной природы. В вариантах с применением гидроксида магния и ДШ концентрация цинка в растениях резко возрастала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Литвинович А.В., Павлова О.Ю.* Влияние фосфатного шлама на урожай и качество растениеводческой продукции // Удобрения и химические мелиоранты в агроэкосистемах. Мат-лы 5-й науч.-практ. конф. 1998. С. 149–153.
2. *Литвинович А.В., Павлова О.Ю., Маслова А.И., Лаврищев А.В.* Накопление стабильного стронция сельскохозяйственными культурами при известковании дерново-подзолистых почв конверсионным мелом // Агрохимия. 2000. № 9. С. 80–88.
3. *Литвинович А.В., Павлова О.Ю., Лаврищев А.В.* О накоплении фтора различными сельскохозяйственными культурами при известковании дерново-подзолистой почвы конверсионным мелом // Агрохимия. 2001. № 2. С. 74–78.
4. *Дричко В.Ф., Литвинович А.В., Павлова О.Ю.* Накопление стронция и кальция растениями при внесении в почву возрастающих доз конверсионного мела // Агрохимия. 2002. № 4. С. 81–87.
5. *Литвинович А.В., Павлова О.Ю., Волкова Е.Н.* Влияние различных видов фосфорных удобрений и фосфатного шлама на химический состав зеленой массы ярового рапса на кислой дерново-подзолистой почве // Агрохимия. 2006. № 3. С. 34–39.
6. *Литвинович А.В., Павлова О.Ю., Лаврищев А.В., Алексеев Ю.В., Оглуздин А.С.* Химический состав ярового рапса, выращенного на кислых дерново-подзолистых почвах, произвесткованных промышленными отходами // Агрохимия. 2008. № 7. С. 50–55.
7. *Литвинович А.В., Лаврищев А.В., Павлова О.Ю., Нейбауэр А.О.* Поступление стронция в растения рапса в процессе растворения отходов мела, используемого для мелиорации кислых почв // Агрохимия. 2012. № 3. С. 77–84.
8. *Литвинович А.В., Хомяков Ю.В., Лаврищев А.В., Павлова О.Ю., Ковлева А.О.* Исследование микроэлементного состава ярового рапса на разных стадиях растворения химических мелиорантов // Агрохимия. 2014. № 5. С. 66–73.
9. *Кабанина Л.Н., Южанина Е.Н., Юлушев И.Г.* Влияние осаденного карбоната кальция на продуктивность сельскохозяйственных культур в условиях Кировской области // Действие удобрений и отходов промышленности на продуктивность сельскохозяйственных культур, качество урожая и свойства почвы. Тр. Горьков. СХИ. 1984. С. 12–15.
10. *Литвинович А.В., Лаврищев А.В., Павлова О.Ю., Ковлева А.О.* Последствия применения конверсионного мела для мелиорации кислых почв: стронций в системе дерново-подзолистая почва–растение // Почвоведение. 2013. № 9. С. 1138.
11. *Лаврищев А.В., Литвинович А.В.* Стабильный стронций в агроэкосистемах Сер. Учебники для вузов. Спец. лит.-ра. СПб., 2019.
12. *Литвинович А.В., Павлова О.Ю., Лаврищев А.В., Витковская С.Е.* Экологические аспекты известкования почв конверсионным мелом // Плодородие. 2005. № 1(22). С. 23–26.
13. *Литвинович А.В., Небольсина З.П., Лаврищев А.В., Павлова О.Ю., Ковлева А.О., Куземкин И.А.* Некоторые результаты изучения мелиоративных свойств тонкодисперсных фракций доломитовой муки и доменного шлама Череповецкого металлургического комбината // Агрофизика. 2013. № 2. С. 44–51.
14. *Литвинович А.В., Лаврищев А.В., Ковлева А.О., Буре В.М.* Химический состав растений яровой пшеницы на кислой дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, произвесткованной кальцийсодержащими отходами промышленности. Эмпирические модели транслокации макро- и микроэлементов в вегетативные и генеративные органы растений // Агрохимия. 2023. № 1. С. 73–82.
15. *Литвинович А.В., Лаврищев А.В., Буре В.М., Павлова О.Ю., Ковлева А.О.* Влияние различных по размеру фракций доломита на показатели почвенной кислотности легкосуглинистой дерново-подзолистой почвы (эмпирические модели процесса подкисления) // Агрохимия. 2017. № 12. С. 27–37.
16. *Литвинович А.В., Лаврищев А.В., Буре В.М., Павлова О.Ю., Ковлева А.О.* Динамика содержания обменных катионов кальция и магния в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, мелиорируемой различными по размеру фракциями доломита (эмпирические модели процесса подкисления) // Агрохимия. 2018. № 3. С. 50–61.
17. *Литвинович А.В., Павлова О.Ю., Лаврищев А.В., Бирюков В.А.* Разложение конверсионного мела в дерново-подзолистой почве в связи с угрозой ее загрязнения стабильным стронцием // Агрохимия. 2001. № 11. С. 64–68.
18. *Литвинович А.В., Павлова О.Ю., Лаврищев А.В., Буре В.М., Салаев И.В.* Скорость растворения в почвах мелиорантов карбонатной природы (эмпирические модели динамики растворения) // Агрохимия. 2016. № 12. С. 42–50.
19. *Литвинович А.В., Павлова О.Ю., Лаврищев А.В., Буре В.М., Ковлева А.О.* Мелиоративные свойства,

- удобрительная ценность и скорость растворения в почвах различных по размеру фракций отсева доломита, используемого для дорожного строительства // *Агрохимия*. 2016. № 2. С. 31–41.
20. *Воеводина Л.А., Воеводин О.В.* Магний для почвы и растений // *Научн. журн. Рос. НИИ проблем мелиорации*. 2015. № 2(18). С. 70–81.
 21. *Кедров-Зихман О.К.* Известкование почв и применение микроэлементов. М.: Сельхозиздат, 1957. 431 с.
 22. *Мазаева М.М.* Недостаток кальция в почве и известкование, как фактор улучшения кальциевого питания растений // *Агрохимия*. 1972. № 3. С. 90–95.
 23. *Мазаева М.М.* О чувствительности растений к недостатку кальция в почве // *Агрохимия*. 1975. № 5. С. 61–66.
 24. *Небольсин А.Н., Небольсина З.П.* Теоретические основы известкования почв. СПб., 2005. 252 с.
 25. *Аристархов А.Н.* Агрохимическое обоснование применения магниевых удобрений // *Плодородие*. 2002. № 3. С. 15–17.
 26. *Зеленов Н.А., Шильников И.А., Аканова Н.И., Швырков Д.А.* Резерв химических мелиорантов и их агроэкологическая эффективность // *Современные проблемы и перспективы известкования кислых почв*. СПб., 2010. С. 30–34.
 27. *Литвинович А.В., Павлова О.Ю., Маслова А.И., Лаврищев А.В.* Динамика почвенной кислотности и содержание подвижных форм соединений алюминия, марганца и железа в почве при известковании конверсионным мелом // *Агрохимия*. 2000. № 6. С. 10–15.
 28. *Литвинович А.В., Ковлева А.О., Павлова О.Ю.* Влияние известкования на накопление марганца и железа растениями яровой пшеницы // *Агрохимия*. 2015. № 5. С. 61–68.
 29. *Литвинович А.В., Лаврищев А.В., Буре В.М., Павлова О.Ю., Ковлева А.О., Хомяков Ю.В.* Динамика содержания подвижного марганца в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, мелиорируемой различными по размеру фракциями доломита // *Агрохимия*. 2018. № 8. С. 52–63.
 30. *Шеуджен Х.* Биогеохимия. Майкоп, 2003. 1027 с.
 31. *Водяницкий Ю.Н., Лесовая С.Н., Сивцов А.В.* Гидроксидогенез железа в лесных и степных почвах русской равнины // *Почвоведение*. 2003. № 4. С. 465–475.
 32. *Зонн С.В.* Железо в почвах. М.: Наука, 1982. 207 с.
 33. *Савич В.И., Кауричев И.С., Шишов Л.М.* Окислительно-восстановительные процессы в почвах, агрономическая оценка и регулирование. Кустанай, 1999. 402 с.

Effect of Fertilizers and Meliorants on the Value of Soil Acidity of Sod-Podzolic Light Loamy Soil, Yield and Chemical Composition of the Green Mass of Spring Rapeseed (according to Laboratory and Vegetation Experience)

A. V. Litvinovich^{a,b,#}, K. M. Nelson^b, A. V. Lavrishchev^b, P. S. Manakov^b

^aAgrophysical Research Institute,
Grazhdansky prosp. 14, St. Petersburg–Pushkin 195220, Russia

^bSt. Petersburg State Agrarian University,
Peterburgskoe shosse 2, St. Petersburg–Pushkin 196601, Russia

[#]E-mail: av.lavrishchev@yandex.ru

Under controlled conditions of laboratory vegetation experience based on very strongly acidic sod-podzolic sandy loam soil, a comparative study of the fertilizing value and reclamation properties of complex mineral fertilizers (azofoska and APAVIVA) and meliorants of a carbonate nature was carried out: conversion chalk (CC), gravel screening (GS), dolomite (DM) and dolomitized (DIM) limestone flour, as well as silicate nature – blast furnace slag (BFS) and hydroxide nature – Mg(OH)₂. Culture – spring rape of the Lexus variety. It was shown that the reclamation effect obtained as a result of the use of BFS and meliorants of a carbonate nature differed little from each other and after 45 days of plant cultivation were insignificant. Magnesium hydroxide did not have a reclamation effect. The yield data of the vegetative mass of rapeseed after harvesting are given. It is shown that the chemical composition of meliorants had a significant effect on the formation of the elemental composition of plants.

Keywords: fertilizers, meliorants of different nature, soil acidity, sod-podzolic light loamy soil, yield, chemical composition, green mass, spring rape, laboratory and vegetation experience.