

К ВОПРОСУ ИЗВЕСТКОВАНИЯ КИСЛЫХ ПОЧВ**П.Ф. Тиво**, доктор сельскохозяйственных наук,**В.Н. Филиппов**, кандидат сельскохозяйственных наук

РУП "Институт мелиорации"

г. Минск, Беларусь

Аннотация

Приводятся некоторые причины обострения проблемы известкования в Беларуси. Делается вывод о недопустимости декальцинирования почвы, которое может привести к снижению их плодородия, падению урожая и его качества. Обращается внимание на экономическую целесообразность применения в земледелии менее энергоемких видов известковых удобрений.

Ключевые слова: обменная кислотность почвы, величина pH, дозы известковых удобрений, прибыль, рентабельность

Abstract**P.Ph. Tivo, V.N. Philipov****LIMING OF ACIDIC SOILS. SOME ASPECTS**

Some reasons which cause the problems of liming of soils in Belarus are given. Decalcification of soil is concluded as negative effect which leads to decrease of soil productivity, crop and its quality. Less energy-intensive types of lime fertilizer used in agriculture are found as profitable ones.

Keywords: exchange acidity of soil, pH value, doses of calcareous fertilizers, profit, profitability

Введение

Подчеркивая необходимость создания благоприятной реакции среды почвы для растений, специалисты США считают, что при ведении земледелия на кислых почвах первый доллар должен быть истрачен на известкование. В условиях интенсификации сельскохозяйственного производства это особенно актуально. По имеющимся данным, средние ежегодные потери кальция и магния из пахотного слоя (в пересчете на CaCO_3) составляют 400–500 кг/га. Их нужно компенсировать, иначе неизбежны рост кислотности, активизация алюминия, снижение урожая, ухудшение качества и потеря гумуса, переход фосфатов в малодоступные для растений формы [1], уменьшение биологической активности почв [2, 3].

Практика известкования почв имеет многовековую историю. Первые сведения о нем можно найти у Плиния Старшего, римского писателя первого века нашей эры. В начале XIX века известкование широко применялось в сельском хозяйстве Англии, Франции, Голландии, Дании и Германии. А.Н. Соколовский в своё время писал, что отыскание и применение мергеля привело Северную Германию от бедности к богатству и из бесплодных пустошей создало благословенную землю [1].

У истоков научных исследований в этой области в бывшем СССР стояли Д.Н. Прянишников, К.К. Гедройц, О.К. Кедров-Зихман, С.С. Ярусов, Д.Л. Аскинази, Н.П. Ремезов, С.В. Щерба, Н.С. Авдонин, М.Ф.

Корнилов и многие другие ученые. Особенно большой вклад в решение проблемы внесли академик О.К. Кедров-Зихман и его ученики. О.К. Кедров-Зихман сформулировал основное теоретическое положение современного известкования, которое заключается в том, что для улучшения агрохимических свойств кислых почв прежде всего необходимо устранить их избыточную кислотность путем известкования, понизив ее до слабокислой реакции. На основе этого положения были рекомендованы полные или нормальные дозы извести, близкие к рассчитанным по однократной гидролитической кислотности. Были разработаны также приемы и способы применения малых доз извести, при этом роль известкования заключалась в дополнительной мобилизации питательных веществ из почвы и экономном использовании минеральных и органических удобрений [1,4].

По силе своего воздействия на рост и развитие растений реакция среды на дерново-подзолистых почвах в большинстве случаев выступает главным фактором, ограничивающим величину урожая. На территории, где реакция почвенной среды находится в интервале сильнокислого и кислого уровня, нельзя размещать ценные и высокоинтенсивные культуры, создать благоприятное азотное и фосфорное питание растений даже при достаточных запасах этих элементов в почве и внесенных с удобрениями, получить высокую оплату удобрений. Сред-

ний недобор растениеводческой продукции достигает на сильнокислых почвах 7–8 ц/га, на кислых 5–6, на среднекислых 3–4 ц/га зерновых единиц и колеблется в зависимости от вида выращиваемых культур и условий питания [5]. Из-за повышенной кислотности, например, в России ежегодно не добирают 16–18 млн т. растениеводческой продукции [6].

Интерес к этой проблеме вызван тем, что в последнее время в нашей республике используется недостаточное количество известковых удобрений. Так, в 2013–2016 гг. их было внесено 58 % от потребности. При этом в 83 районах отмечено подкисление пахотных почв и в 79 районах – почв сенокосов и пастбищ. Средневзвешенный показатель pH в KCl по республике снизился с 5,89 до 5,84, а, например, в Витебской области – с 6,09 до 6,04. Процесс подкисления реакции почв сопровождается увеличением доли почв с показателем pH менее 5,0. Особенно возросла доля сильно- и среднекислых почв в Гродненской и Могилевской областях. Применительно к республике количество почв с pH менее 5,0 увеличилось почти на 120 тыс. га и составило 461,3 тыс. га, или 9,3 % от площади пашни. Поэтому задача агрохимической службы состоит в том, чтобы темпы нейтрализации почвенной кислотности в результате известкования соответствовали темпам подкисления почв [7].

Обострение проблемы известкования в Беларуси обусловили следующие причины:

- расширение посевных площадей под интенсивными культурами, не переносящими кислую реакцию среды (сахарная свекла, пшеница, тритикале, рапс, ячмень);
- наличие осушенных земель, где наблюдаются значительные потери кальция и магния за счет дренажного стока;
- наряду с питательной функцией растений, смягчают отрицательное воздействие обменного алюминия кислой почвы на возделываемые культуры;
- переуплотнение корнеобитаемого слоя почвы тяжеловесной сельскохозяйственной техникой, тогда как органические удобрения и известкование благодаря оструктуриванию почвы в определенной степени противодействует этому негативному процессу;
- возрастание непроизводительных потерь минерального азота в результате снижения коэффициента его использования на кислых почвах;

- ухудшение качества продукции земледелия и овощеводства в условиях неблагоприятной реакции среды;

- радионуклидное загрязнение территории, где роль известкования заключается в ограничении поступления их в растения, особенно стронция (^{90}Sr).

Отрицательное влияние кислотности на почву и растение

Как известно, кислотность жидкой фазы почвы называется актуальной кислотностью. Ионами водорода и алюминия, находящимися в поглощенном состоянии, образуется потенциальная кислотность, которая подразделяется на обменную и гидролитическую, зависящие преимущественно от размеров и качественного состава почвенно-поглощающего комплекса [8]. Обменная кислотность, по мнению одних исследователей, определяется поглощенными ионами водорода, по мнению других, кислые свойства почвенно-солевой вытяжки зависят от присутствия в растворе обменного алюминия; согласно третьей точке зрения, обменная кислотность может определяться совместным влиянием ионов водорода и алюминия, соотношение между которыми варьирует в зависимости от генезиса той или иной почвы и свойства отдельных ее горизонтов [8–10].

При высокой кислотности почвы катион водорода (H^+) поступает в растения через корневую систему в избыточном количестве, в силу чего нарушается белковый и углеводный обмен, затрудняется фотосинтез. При очень кислой реакции рост и ветвление корней замедляются, почти прекращается образование корневых волосков, корни утолщаются, делаются грубыми и уродливыми. Одним из главных факторов, определяющих отрицательное действие кислых почв на растения, является наличие в них больших количеств подвижного алюминия. Так как при pH ниже 4,5–4,6 в минеральных почвах алюминий переходит в подвижное состояние, токсичность его усиливает отрицательное действие кислотности [8]. И только в торфяных почвах даже при относительно сильном подкислении в почвенном растворе не происходит накопление ионов алюминия и марганца, потому что минералы, из которых высвобождаются эти ионы, отсутствуют [11].

Сельскохозяйственные культуры неодинаково относятся к содержанию подвижного алюминия в почве. Согласно исследованиям Н.С. Авдонина, по

отношению к алюминию они разделяются так: 1-я группа – культуры устойчивые к высокому содержанию этого элемента в почве – тимopheевка луговая, овес, кукуруза; 2-я группа – среднеустойчивые культуры – люпин, горох, репа, фасоль; 3-я группа – культуры чувствительные к подобному токсиканту – ячмень, яровая пшеница, лен, турнепс; 4-я группа – культуры очень чувствительные к высокому содержанию алюминия – клевер луговой, столовая и кормовая свекла, озимая рожь и пшеница, люцерна. Наибольший вред алюминий наносит на ранних стадиях развития растений [8, 12, 13].

Повышенная кислотность влияет на подвижность и доступность важнейших для жизнедеятельности растений химических элементов – фосфора и калия. Наблюдается прямое неблагоприятное действие алюминия, заключающееся в том, что поступление фосфорнокислого алюминия в корневую систему растений подавляет способность последней перемещать фосфор в их надземные органы. В результате этого наблюдается специфическое фосфатное голодание растений. В модельных опытах с кукурузой дополнительное (к NPK) внесение алюминия увеличивало содержание фосфора в корнях кукурузы на 62 % при одновременном снижении содержания P_2O_5 в листьях на 8 %, а в стеблях на 14 %. Ухудшается также питание растений молибденом, магнием. В условиях кислой реакции среды отмечено подавление жизнедеятельности ряда микроорганизмов, особенно участвующих в процессах, обуславливающих азотный режим почв (резкое снижение процесса нитрификации), что ведет к снижению доступных для растений форм азота [5].

Положительное воздействие известковых удобрений на почву и растение

Известкование вызывает значительные изменения в почве: снижается кислотность или даже полностью устраняется, улучшается жизнедеятельность микроорганизмов в благоприятном для растений направлении [1, 13]. Кроме того, в результате известкования усиливается развитие корневой системы сельскохозяйственных культур и прежде всего многолетних трав, являющихся одним из важных источников органического вещества в почве. Как следствие, улучшается структура почвы, водно-воздушный и питательный режимы. Но возможны и отрицательные явления. Примером этого может служить резкое

усиление минерализации органического вещества почвы при избыточных дозах известковых удобрений, сопровождающееся уменьшением в ней содержания гумуса, усилением денитрификации, снижением доступности некоторых микроэлементов – меди, бора и др. и подщелачиванием почвы, вредным для льна и картофеля [4, 8, 14].

Скорость и полнота воздействия извести на почву зависят от равномерности смешивания ее и от состояния влажности последней. Тем более, что при достаточном увлажнении в почве все процессы протекают значительно быстрее и полнее. Число клубеньков на корнях бобовых культур резко возрастает там, где внесена известь и устранена кислотность, особенно в верхнем, хорошо аэрируемом слое почвы, где их количество увеличивается более чем в 10 раз [8].

Под влиянием известкования также усиливаются процессы превращения соединений фосфора и азота в усвояемые растениями. Это является результатом взаимодействия извести с фосфатами железа и алюминия, которые переходят в фосфаты кальция, более доступные для растений. Причем наряду с этим в результате усиления биологических процессов разложения фосфорорганических соединений высвобождаются преимущественно доступные минеральные. Существенно влияет известкование и на азотный режим благодаря усилению минерализации органического азота почвы [5, 12, 15, 16].

Следует различить прямое действие содержащихся в известковых материалах кальция и магния как коагуляторов диспергированных частиц подзолистых почв и косвенное действие известкования на рост и развитие сельскохозяйственных растений (особенно многолетних трав), что в свою очередь приводит к накоплению органического вещества в почве, интенсивному развитию корневой системы, т.е. к усилению действия растений на физические свойства почвы. В большинстве случаев, особенно на кислых суглинистых почвах, известкование усиливает агрегирование распыленных почвенных частиц, и в известкованной почве увеличивается содержание водопрочных агрегатов [8].

Большое количество работ, выполненных разными исследователями на дерново-подзолистых почвах, показало, что известь, обеспечивает сдвиг почвенной кислотности в благоприятную сторону,

увеличивает сумму поглощенных оснований и степень насыщенности ими почвенного поглощающего комплекса. Последнее наблюдалось нами и на торфяной почве (таблица 1). При этом установлено, что с повышением доз доломитовой муки сужалось соотношение между кальцием и магнием и увеличивалась степень насыщенности почвы основаниями, чего нельзя сказать о магии при использовании мела в качестве известкового удобрения [17].

Увеличение степени насыщенности основаниями на 10 % сопровождается повышением урожая зерновых на 2–2,5 ц/га на суглинистых почвах и 4,5–6,5 ц/га на супесчаных [5].

Кроме того, исследования, выполненные на дерново-подзолистой супесчаной почве, показали, что за пределами рН выше 5,3 отмечалось усиление процесса нитрификации, активности полифенолоксидазы, каталазы, инвертазы и численности микроорганизмов. Это приводило к значительному улучшению азотного режима почвы. Отмеченные изменения положительно сказались на продуктивности возделываемых с.-х. культур. Так, смещение реакции среды на 2 и более единицы рН выше (с 4,5 до 6,0 и более) сопряжено с возрастанием урожайности ячменя на 9,0 ц/га без внесения удобрений и на 14 ц/га при внесении удобрений. Для озимой ржи эти показатели находились в пределах 7–8 ц/га [5]. В исследованиях на среднем суглинке экспериментальной базы "Устье" Оршанского района на 6-й год после внесе-

ния извести по 1-й гидролитической кислотности прибавка урожайности зерна озимой пшеницы достигла 15 ц/га [18].

По мнению Т.Н. Кулаковской [5], под влиянием известкования наблюдается значительное возрастание эффективности калийных удобрений. Данное обстоятельство обусловлено двумя причинами. Первая и главная: при известковании резко возрастают урожаи, и соответственно растет потребление растениями калия, поступление которого в них характеризуется более интенсивными темпами, чем фосфора. Вторая причина заключается в том, что внесение в почву кальция изменяет степень подвижности и доступности растениям калия почвенных запасов. Между калием и кальцием в той или иной степени проявляется антагонизм. Отсюда возникает потребность в дополнительном внесении калия, что связано с положительной реакцией культур на внесение калийных удобрений при известковании и на почвах с реакцией среды, близкой к нейтральной. Ранее к такому выводу пришел академик В.И. Шемпель, особенно применительно к многолетним травам [19–20].

Под влиянием известкования тип гумуса фульватный изменялся на гуматно-фульватный, что указывает на повышение его качества [21]. Нейтрализация избыточной кислотности способствует увеличению доступности растениям фосфора и этим самым позволяет, в случае достаточного содержания P_2O_5 в почве, снизить дозы фосфорных удобрений [5, 15].

Таблица 1. – Влияние известкования на агрохимические свойства торфяной почвы, урожайность многолетних трав и сбор сырого протеина

ВАРИАНТ	рН в КС1	Гидролитическая кислотность	Обменный кальций	Обменный магний	Степень насыщенности основаниями, %*	Урожайность сухой массы, ц/га	Сбор сырого протеина	
							ц/га	%
МГ-ЭКВ НА 100 Г ПОЧВЫ								
Без известкования	4,60	53,4	59,1	3,0	55,2	68,8	9,4	100,0
Доломитовая мука, т/га $CaCO_3$:								
2	5,10	44,1	66,8	4,5	63,0	79,6	12,0	127,7
4	5,35	39,4	72,1	5,2	67,3	77,8	11,6	123,4
8	5,76	33,8	89,1	11,5	75,5	74,7	11,3	120,2
16	6,25	26,4	102,3	19,2	82,5	70,5	10,5	111,7
Мел 4	5,5	38,5	80,4	3,1	69,4	71,9	10,5	111,7

* С учетом Ca^{2+} , Mg^{2+} и других катионов

Известкование кислых почв способствует улучшению качества растениеводческой продукции. Отмечено повышение содержания крахмала в клубнях картофеля на 0,5–2,2 %; увеличение сырого протеина в зерне на 0,5–1 %; сахара в сахарной свекле на 0,7–1,0 %. Благоприятное влияние известкования на рост бобовых приводит к увеличению содержания в сене протеина, а также кальция и фосфора, что улучшает качество кормов [5].

Таким образом, известь вызывает значительные изменения свойств почвы. Несмотря на это, она не может полностью удовлетворить растения в питательных веществах. Поэтому известкование необходимо сочетать с внесением органических и минеральных удобрений. Совместное применение извести и навоза позволяет уменьшить дозы последнего без снижения урожая [12].

Действие извести не исчерпывается влиянием на агрохимические свойства почвы и ее пищевой режим. В результате известкования коренным образом изменяются и физические свойства почвы. Прежде всего, кальций, внесенный с известью, улучшает микроструктуру почвы, делает коллоиды более водопрочными, причем их количество возрастает с увеличением доз извести. Понижается объемная масса почвы, улучшается аэрация и водный режим. При этом почва быстрее прогревается. Под влиянием известкования тяжелые почвы становятся более рыхлыми, что уменьшает тяговое усилие при их обработке на 10–15 % [22].

Рекомендуемые уровни pH для возделываемых культур

Необходимые для них интервалы кислотности приведены в таблице 2. Из этих данных следует, что наименее требовательными к кислотности являются картофель, люпин, овес, озимая рожь [23].

Для достижения величины pH солевой вытяжки в вышеприведенной таблице дозы извести определяются в соответствии с "Инструкцией о порядке известкования..." [24]. Применительно к торфяным почвам можно пользоваться данными таблицы 3.

Подходы к определению потребности почв в известковании заметно различаются в отдельных странах, что, прежде всего, касается торфяников. В Германии, например, не проводится регулирование реакции среды, если величина pH выше 4,0–4,5. К тому же определяется этот показатель там не в 1 М KCl вытяжке (как у нас), а в 0,1 М [26–28]. В последнем случае он оказывается выше на 0,2–0,3 единицы, чем в первом. Примерно такие же различия нами отмечались при определении кислотности почвы в 0,01 М CaCl₂ (таблица 4). Причем самую высокую кислотность имела почва при использовании для вытеснения ионов водорода 1М BaCl₂ вытяжки.

О наличии кислых пахотных торфяных почв в республике можно судить по данным таблицы 5. Применительно к обследованной площади (466755 га) торфяных почв под сенокосами и пастбищами приводятся такие данные по степени кислотности (%): I группа – 0,2, II – 1,6, III – 13,7, IV – 33,2, V – 27,8, VI – 15,9 и VII – 7,7 [7].

Таблица 2. – Оптимальные интервалы кислотности для возделывания сельскохозяйственных культур (pH)

ПОЧВЫ	В среднем	В том числе по типам севооборотов		
		со льном, картофелем, люпином, овсом, озимой рожью	зерно-травяно-пропашные с кукурузой, корнеплодами	зерно-свекловичные, прифермские (клевер, люцерна), овощекормовые
Дерново-подзолистые:				
песчаные	5,3–5,8	5,3–5,5	5,5–5,8	5,5–5,8
супесчаные	5,5–6,2	5,5–5,8	5,6–6,0	5,8–6,2
суглинистые	5,5–6,7	5,5–6,0	6,1–6,5	6,5–6,7
Торфяно-болотные	5,0–5,3	–	–	–
Минеральные почвы сенокосов и пастбищ	5,8–6,2	–	–	–

Таблица 3. – Необходимые дозы извести для торфяных почв [25]

рН _{KCl}	Гидролитическая кислотность мг-экв на 100 г почвы	Степень насыщенности основаниями, %	Доза СаСО ₃ при массе пахотного слоя 20 см	
			до 500 т/га	более 500 т/га
Менее 3,9	Свыше 100	Менее 25	10–12	12–16
3,91–4,3	100–60	25–50	4–6	6–8
4,31–4,7	60–40	50–65	2,5–4,0	3,5–5
4,71–5,0	40–30	65–75	1–2	2–3
Более 5,0	Менее 30	Более 75	не нуждается	–

Таблица 4. – Влияние различных почвенных вытяжек на величину рН

ВИД ПОЧВЕННОЙ ВЫТЯЖКИ	ПОЧВА	
	Торфяная	Дерново-подзолистая
Дистиллированная вода	6,90	6,66
0,1 М КСl	6,44	6,22
1 М КСl	6,22	5,94
0,1 М СаСl ₂	6,11	5,92
0,01 М СаСl ₂	6,44	6,25
0,01 М ВаСl ₂	6,45	6,21
0,1 М ВаСl ₂	6,03	5,78
1 М ВаСl ₂	5,57	5,37

Таблица 5. – Распределение пахотных торфяных почв по группам кислотности

ОБЛАСТЬ	Площадь, га	По группам кислотности, %							Средне-взвеш. рН
		I	II	III	IV	V	VI	VII	
		<4,00	4,01–4,50	4,51–5,00	5,01–5,50	5,51–6,00	6,01–6,50	>6,50	
Брестская	67 879	0,1	2,3	26,4	43,6	19,3	6,1	2,2	5,29
Витебская	8 037	0,4	1,2	8,1	25,9	26,8	16,4	21,2	5,89
Гомельская	61 418	0,2	1,9	17,1	44,1	24,5	11,7	0,5	5,40
Гродненская	2 839		0,3	11,0	27,9	24,1	16,4	20,3	5,88
Минская	89 928	0,2	1,8	18,5	37,0	27,2	12,2	3,1	5,48
Могилевская	3 022		1,6	14,7	37,6	25,1	14,4	6,6	5,56
Беларусь	233 123	0,2	2,0	20,0	40,3	24,1	10,5	3,0	5,43

По нашим данным [17], оптимальный уровень рН в КСl для торфяных почв – 5,0, который достигается при исходной величине рН 4,6–4,7 внесением доломитовой муки по 1/4 гидролитической кислотности, или 4 т/га. Дальнейшее повышение ее доз не только не увеличивает урожай, но и активизирует процессы минерализации органического вещества. Ежегодная убыль его из слоя почвы 5–15 см составила на контроле (РК) 1,1 %, а на фоне 8 и 16 т/га СаСО₃ соответственно 1,4 и 1,5 % при НСР₀₅ – 0,33 %. Известкование по 1/8–1/4 гидролитической кислотности практически не влияло на разложение торфа. Изменился

и фракционный состав органического вещества. В варианте с высокой дозой доломитовой муки несколько уменьшилось содержание легкогидролизуемых веществ и негидролизуемого остатка. Одновременно увеличилось количество первой фракции гуминовых кислот. Меньшие дозы извести слабо воздействовали на этот процесс.

Изучено влияние способов и сроков внесения известковых удобрений на реакцию среды. Заделка доломитовой муки дисковыми боронами имеет преимущество перед поверхностным ее внесением. В последнем случае она концентрируется в слое почвы

0–5 см, кислотность которого изменяется. При этом весеннее, осеннее и зимнее известкование оказало равное действие на величину pH. Неравномерно распределялась известь в пахотном слое и при заделке ее только плужной обработкой, поскольку она частично попадала на дно борозды.

Величина pH слоя почвы 0–30 см после известкования не остается постоянной. Происходит постепенное его подкисление, обусловленное выносом оснований, особенно на фоне высоких доз доломитовой муки. При этом ежегодное вымывание CaO + MgO достигало 80–250 кг/га.

В условиях Латвии за 20-летний период действия дренажа через дрены, заложенные на глубине 1,2 м и на расстоянии 16 м, отведено влаги 2000 мм. За это время из окультуренной торфяной почвы дренажным стоком выщелочено более 2300 кг кальция, 900 кг магния, 60 кг калия и много других веществ. Наиболее выражен этот процесс на дерново-карбонатном суглинке (таблица 6).

Велись наблюдения за потерями элементов питания растений на дренированных почвах и в нашем институте. Показано, что заметное увеличение ионного стока под влиянием мелиорации произошло в отношении калия, сульфатов и нитратов. Отмечено также, что с увеличением степени мелиорированности водосбора от 35 до 55% годовой вынос минеральных соединений увеличился более чем на треть. Что касается выноса кальция с дренажным стоком, то он достигал 112–154 кг/га [30].

На основании проведенных в Беларуси исследований в лизиметрах установлено, что наибольшие потери элементов питания растений имели место на дерново-подзолистых песчаных почвах и особенно на торфяно-болотных, используемых для возделывания пропашных культур. При этом их потери возрастали в годы с повышенным количеством атмосферных осадков. Средние же цифры ежегодных потерь, например, на торфяных почвах (в сево-

обороте) составляли за период (1981–2000 гг.) 131,6 кг/га CaO и 20,4 MgO, под травами – 46,3 и 8,3 кг соответственно [31].

В Литве на осушенной дерново-глеевой выщелоченной суглинистой почве также доказано влияние обеспеченности осадками на вынос питательных веществ дренажным стоком на окультуренных пастбищах при повышенных дозах минеральных удобрений. Так, в годы обеспеченности 10 и 90 % потери кальция составляли соответственно 263 и 55 кг/га, а магния – 106 и 25 кг/га. Усилилось и вымывание нитратов с 14,3 до 61,1 кг/га [32].

Приведенные выше данные свидетельствуют о повышенном выносе кальция и магния из мелиорированных почв. Это необходимо иметь в виду при использовании таких земель и их известковании [33–34].

Кроме того, расходуются основания и на нейтрализацию физиологической кислотности минеральных удобрений. Для этих целей на 1 т туков затрачивается CaO, т: для аммиачной селитры – 0,42, мочевины – 0,67, аммиачной воды – 0,28, хлористого калия – 0,11 [5]. Выносятся кальций и магний из почвы также урожаем, особенно многолетними бобовыми травами (до 150–200 кг/га).

Заслуживают внимания исследования на сработанной торфяной почве с колебанием содержания органического вещества от 4,9 до 38,8 % и pH около 5, где выявлено положительное влияние различных видов известковых удобрений при внесении по 4 т/га в расчете на CaCO₃. Более высокая доза (6 т/га) оказалась неэффективной [35]. Причем по экономическим показателям более выгодным было здесь применение дефеката по сравнению с использованием доломитовой муки. Указанная закономерность отмечалась и другими исследователями [36].

Данные о продуктивности севооборотов при известковании минеральных почв приведены в таблице 7.

Таблица 6. – Средние потери кальция и магния из почвы на осушенных пахотных землях, кг/га на 1 мм дренажного стока в год [29]

ПОЧВА	Ca	Mg
Дерново-карбонатный суглинок	0,95–1,71	0,24–0,65
Дерново-подзолистый легкий суглинок на морене	0,86–1,32	0,24–0,41
Дерново-подзолистая песчаная на суглинке	0,65–0,89	0,17–0,22
Низинный хорошо окультуренный торфяник	1,20–1,40	до 0,43

Таблица 7. – Эффективность внесения извести в типичных пятилетних звеньях севооборотов (суммарная расчетная прибавка, ц/га к.ед.) [23]

ЗВЕНО СЕВООБОРОТА	Гранулометрический состав почвы	Исходная pH		
		4,5 и ниже	4,6–5,0	5,1–5,5
Картофель – ячмень – озимая рожь – многолетние травы (2 года)	Суглинистые	32,9	20,8	12,9
	Супесчаные	28,8	18,5	10,9
Кормовые корнеплоды – ячмень – клевер – кукуруза – озимая пшеница	Суглинистые	57,9	30,8	15,6
	Супесчаные	51,7	26,4	12,6
Сахарная свекла – ячмень – озимая рожь – клевер – озимая пшеница	Суглинистые	50,7	34,9	21,1
	Супесчаные	44,8	30,6	17,3
Картофель – яровая пшеница – овес – озимая рожь – однолетние травы	Суглинистые	20,9	14,8	8,0
	Супесчаные	19,2	13,2	7,3

Нейтрализация избыточной кислотности почв предполагает равномерное внесение известковых удобрений по площади поля, что подтверждается данными Ю.П. Сиротина, К.Н. Березиной [37]. Результаты их исследований свидетельствуют, что известкованная по 0,5 гидролитической кислотности почва, по данным среднего образца, имела pH 5,3, в то время как фактически в пределах пахотного слоя этой серии опыта были очаги почвы с pH ниже 4, и очаги с pH более 5,5. Даже на почве, известкованной полной нормой по гидролитической кислотности (г.к.), при pH среднего образца, равной 5,8, почти 1/3 исходных проб (28 %) имела кислотность ниже 5,5. Таким образом, исследования, проводившиеся в стационарном полевом опыте, указывают на значительную неоднородность (гетерогенность) известкованной почвы по кислотности, что наблюдали и другие авторы [1]. В этой связи некоторые зарубежные ученые предлагают вносить полдозы извести вдоль участка, а вторую половину – поперек поля [38]. Однако высокое качество известкования можно обеспечить при использовании более совершенных машин, созданных РУП "НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства", которые распределяют известковые удобрения с неравномерностью не более 10–15 %.

Уровень рентабельности при известковании почв I группы составляет 62,3 %, второй – 37,6, третьей – 9,2 %, при окупаемости затрат в течение, соответственно, 3,1, 3,6 и 4,5 лет. Энергоотдача для почв первой группы кислотности достигает – 1,32, второй – 1,06, третьей – 0,79. Важным способом уменьшения реальных энергетических затрат может стать применение менее энергоемких (по сравне-

нию с доломитовой мукой) видов известковых мелиорантов, например, сыромолотого доломита, известковой муки (отходы крупных строительных комбинатов), местного мела и дефеката. Энергозатраты на производство сыромолотого доломита на 50–55 % ниже, чем доломитовой муки. Он имеет следующие экологические преимущества: снижение потери Ca и Mg от вымывания, уменьшение запыленность воздуха, возможность внесения любыми центробежными разбрасывателями. Даже с учетом пониженной нейтрализующей способности и повышенной влажности общие энергозатраты на весь комплекс работ по использованию сыромолотого доломита на 30 % ниже, чем доломитовой муки. Поскольку около половины затрат на известкование почв доломитовой мукой падает на ее стоимость и перевозку по железной дороге, то применение местных известковых удобрений существенно снижает их [39].

Заключение

Как известно, научной основой теории и практики известкования кислых почв явилось учение академика К.К. Гедройца о почвенном поглощающем комплексе. Однако некоторые частные вопросы все же пока остаются. Поэтому данная проблема не потеряла своей актуальности и в настоящее время.

На основании литературных источников и наших результатов исследований можно считать доказанным, что известкование торфяных почв имеет свою специфику. Оптимальный уровень pH здесь примерно на одну единицу меньше, чем на кислых дерново-подзолистых почвах. Это во многом обусловлено различной природой кислотности почв. Если в минеральных почвах она определяется водородом и

еще более вредным для растений – алюминием, то в торфяниках – исключительно катионами водорода.

Отмечено также, что с увеличением степени мелиорированности водосбора от 35 до 55 % годовой вынос минеральных соединений увеличивается более чем на треть.

Приведены и некоторые причины обострения проблемы известкования в современных условиях, среди них фигурируют такие факторы, как радио-

нуклидное загрязнение территории; расширение посевных площадей сельскохозяйственных культур, требующих нейтральной или близкой к ней реакции среды; наличие осушенных земель, где из-за дренажного стока возрастают потери кальция и магния, что необходимо компенсировать известковыми удобрениями; снижение доз внесения фосфорных удобрений, которые смягчают отрицательное влияние подвижного алюминия на растения и т.д.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шильников, И.А. Известкование почв / И.А. Шильников, Л.А. Лебедева. – М.: Агропромиздат, 1987. – 171 с.
2. Карягина, Л.А. Микробиологические основы повышения плодородия почв / Л.А. Карягина. – Минск : Наука и техника, 1983. – 181 с.
3. Влияние известкования на комплекс почвенных микроорганизмов и гумусовое состояние дерново-подзолистой почвы в многолетнем опыте / Л.Г. Бакина [и др.] // Почвоведение. – 2014. – № 2. – С. 225-234.
4. Кедров-Зихман, О.К. Известкование почв и применение микроэлементов / О.К. Кедров-Зихман. – М. : Сельхозиздат, 1957. – 431 с.
5. Кулаковская, Т.Н. Почвенно-агрохимические основы получения высоких урожаев / Т.Н. Кулаковская. – Минск : Ураджай, 1978. – 272 с.
6. Литвинович, А.В. Продолжительность действия известковых мелиорантов в почвах и эффективность известкования / А.В. Литвинович, З.П. Небольсина // Агрохимия. – 2012. – № 10. – С. 79-94.
7. Агрохимическая характеристика почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь (2013–2016 гг.) / И.М. Богдевич [и др.]; под общ. ред. И.М. Богдевича; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск : ИВЦ Минфина, 2017. – 275 с.
8. Сапожников, Н.А. Научные основы системы удобрения в нечерноземной полосе. Изд. 2-е, перераб. и доп. / Н.А. Сапожников, М.Ф. Корнилов. – Л. : Колос, 1977. – 255 с.
9. Палавеев, Т. Кислотность почв и методы её устранения / Т. Палавеев, Т. Тотев; пер. с болг.; Под ред. и с предисл. А.В. Петербургского. – М. : Колос, 1983. – 165 с.
10. Чернов, В.А. О природе почвенной кислотности / В.А. Чернов; под ред. И.Н. Антипова-Каратаева. – М. : Изд-во Академии наук СССР, 1947. – 186 с.
11. Минеральные удобрения. Пер. с нем. Н.С. Корогодова и Г.П. Шульцева. – М.: Колос, 1975. – 399 с.
12. Авдонин, Н.С. Повышение плодородия кислых почв / Н.С. Авдонин. – М.: Колос, 1969. – 304 с.
13. Амосова, Н.В. Механизмы алюминотолерантности у культурных растений / Н.В. Амосова, О.Н. Николаева, Б.И. Синзыныс // Сельскохозяйственная биология. Биология растений. – 2007.– № 1. – С. 36-42.
14. Известкование почв / Е.В. Козловский [и др.]. – Л. : Колос. Ленингр. отд-ние, 1983. – 286 с.
15. Кирпичников, Н.А. Действие и последствие фосфорных удобрений на дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве при различной степени известкования / Н.А. Кирпичников, С.Н. Адрианов // Агрохимия. – 2007. - № 10. – С. 14-23.
16. Известкование кислых почв. Под ред. Н.С. Авдонина, А.В. Петербургского, С.Г. Шедерева. – М.: Колос, 1976. – 304 с.
17. Желязко, В.И. Использование бесподстильного навоза на мелиорируемых агроландшафтах. Теория и практика: монография / В.И. Желязко, П.Ф. Тиво. – Минск : ИООО "Право и экономика", 2006. – 296 с.
18. Применение удобрений в интенсивном земледелии: справ. пособие / М.П. Шкель, [и др.]; под ред. М.П. Шкеля. – Минск : Ураджай, 1989. – 216 с.
19. Шемпель, В.И. Основные вопросы системы удобрения дерново-подзолистых почв с повышенной кислотностью / В.И. Шемпель, К.Т. Старовойтов. – Минск, 1957. – 38 с.

20. Шемпель, В.И. Эффективность известкования дерново-подзолистых почв в Белорусской ССР / В.И. Шемпель, В.С. Рубанов, Н.П. Кукреш // Вопросы известкования кислых почв: Материалы координационной конференции, посвященной 50-летию начала научной деятельности академика О.К. Кедрова-Зихмана. – Горки: БСХА, 1973. – С. 184-192.
21. Чеботарев, Н.Т. Влияние извести и минеральных удобрений на содержание, фракционный состав и баланс гумуса дерново-подзолистой почвы Евро-Северо-Востока / Н.Т. Чеботарев, А.А. Юдин, Н.В. Булатова // Пермский аграрный вестник. – 2016. – № 4. – С. 87-91.
22. Вильдфлуш, Р.Т. Краткий справочник по известкованию кислых почв / Р.Т. Вильдфлуш, А.И. Горбылева. Изд. 2-е перераб. и доп. – Минск : Ураджай, 1971. – 208.
23. Справочник агрохимика / В.В. Лапа [и др.]; под ред. В.В. Лапа. – Минск: Беларус. навука, 2007. – 390 с.
24. Инструкция о порядке известкования кислых почв сельскохозяйственных земель / В.В. Лапа [и др.]; РУП "Институт почвоведения и агрохимии". – Минск, 2008. – 30 с.
25. Мееровский, А.С. Известкование торфяно-болотных почв / А.С. Мееровский, З.А. Хапкина // НТИ Мелиорация и водное хозяйство. – 1975. – № 5. – С. 9-11.
26. Бергман, В. Анализ почв и применение удобрений / В. Бергман, А. Гютер, В. Витгер; пер. с нем. А.Н. Кулюкина; под ред. и предисл. А.В. Петербургского. – М. : Колос, 1969. – 104 с.
27. Державин, Л.М. Практика применения удобрений в ФРГ (по материалам зарубежной командировки) / Л.М. Державин // Сельское хозяйство за рубежом. – 1978. – № 10. – С. 2-7.
28. Известкование при минимальной обработке почв (Германия, Австрия) // Информационные сообщения / Белорусский центр информации и маркетинга Агропромышленного комплекса. Серия 1. Вып. 5. Земледелие и растениеводство. – Минск, 1998. – С. 25-27.
29. Штиканс, Ю.А. Повышение эффективности известкования кислых почв / Ю.А. Штиканс. – Л. : Колос. Ленингр. отд-ние, 1977. – 128 с.
30. Скоропанов, С.Г. Расширенное воспроизводство плодородия торфяных почв / С.Г. Скоропанов, В.С. Брезгунов, Н.В. Окулик. – Минск: "Наука и техника", 1987. – 247 с.
31. Миграция питательных веществ в почвах Республики Беларусь / Г.В. Пироговская [и др.] // Агрохимический вестник. – 2002. – № 4. – С. 23-25.
32. Барзарявичене, Я.Б. Выщелачивание NPK и некоторых других веществ на культурных пастбищах при повышенных дозах минеральных удобрений / Я. Барзарявичене, П. Балзарявичюс // Вестник сельскохозяйственной науки. – 1983. – № 4. – С. 79-85.
33. Научные основы и технология использования удобрений и извести: методические рекомендации / А.Н. Небольсин [и др.]; под ред. В.А. Семенова. – СПб, 1997. – 52 с.
34. Небольсин, А.Н. Теоретические основы известкования почв / А.Н. Небольсин, З.П. Небольсина. – СПб, ЛНИИСХ, 2005. – 252 с.
35. Пироговская, Галина. Экономическая эффективность применения известковых мелиорантов на деградированных торфяных почвах / Галина Пироговская, Виктор Сорока // Аграрная экономика. – 2017. – № 7. – С. 38-46.
36. Клебанович, Н.В. Известкование почв Беларуси / Н.В. Клебанович, Г.В. Василюк. – Минск : изд. БГУ, 2003. – 322 с.
37. Сиротин, Ю.П. Исследования степени однородности известкованной дерново-подзолистой почвы по кислотности / Ю.П. Сиротин, К.Н. Березина // Вопросы известкования кислых почв: Материалы координационной конференции, посвященной 50-летию начала научной деятельности академика О.К. Кедрова-Зихмана. – Горки : БСХА, 1973. – С. 53-55.
38. Кук, Д.У. Системы удобрения для получения максимальных урожаев / Д.У. Кук; пер. с англ. Н.В. Гаделия. Под ред. и с предисл. Э.И. Шконде. – М. : Колос, 1975. – 416 с.
39. Василюк, Г.В. Эффективность известкования кислых почв / Г.В. Василюк, Н.В. Клебанович // Земляробства і ахова раслін. – 2003. – № 3. – С. 21-24.

Поступила 28.05.2018