

УДК 631.41:631.821.1(470.4)

НЕКОТОРЫЕ ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИЗВЕСТКОВАНИЯ СЕРЫХ ЛЕСНЫХ ПОЧВ ВЕРХНЕВОЛЖЬЯ

Окорков В.В., Окоркова Л.А.

ФГБНУ «Верхневолжский федеральный научный центр», п. Новый, Владимирская обл.,
e-mail: okorkovvv@yandex.ru

На серой лесной среднекислой среднесуглинистой почве в колонках изучен механизм взаимодействия доломитовой муки (ДМ), гипса, их сочетания с почвенным поглощающим комплексом (ППК). Мелиоранты были внесены в 2 верхних слоя мощностью по 10 см, в 2 нижних слоя мелиорант не вносился. Через колонки порциями по 50 мл пропускали по 300 и 510 мм воды (500 и 850 мл). В процессе опыта проведен анализ почвы и фильтратов. Установлено, что в колонках без мелиоранта и с применением ДМ концентрация двухвалентных катионов Са и Мг в 1-й порции фильтрата составила 12,7–19,8 мг-экв/л, а величина рН – 6,71–6,81. Эти параметры обусловлены наличием в почве нитратов Са и Мг и вытеснением из ППК части внутриагрегатных ионов водорода. В последующих порциях концентрация фильтрата быстро снижается до 2,45–4,59 мг-экв/л, а рН повышается до 6,98–7,27. Выявлено, что снижение гидролитической кислотности (H_+) при внесении ДМ обусловлено связыванием ионов водорода, расположенных преимущественно на поверхности почвенных агрегатов, в малодиссоциированное соединение (H_2O) ионами гидроксила. Последние ионы образуются при гидролизе ионов CO_3^{2-} растворившегося мелиоранта. Коэффициент использования растворенной ДМ, внесенной в дозах 0,61, 1,0 и 2,0 гидролитической кислотности, в слое 0–20 см составил соответственно 0,75, 0,65 и 0,57. При внесении гипса и сочетании ДМ с гипсом концентрация Са и Мг в 1-й порции фильтрата варьировала от 23,6 до 26,4 мг-экв/л, а величина рН – от 6,44 до 6,58. Высокие концентрации Са и Мг увеличивали вытеснение внутриагрегатных ионов водорода. В последующих порциях фильтрата в колонках сочетания ДМ и гипса в дозах 1,0 и 0,4 H_+ , ДМ и гипса в дозах 2,0 и 0,8 H_+ при прохождении 500 мл воды концентрация Са и Мг постепенно снижалась до 12,6–23,2 мг-экв/л, величина рН варьировала от 6,45 до 6,82. При сочетании ДМ с гипсом в указанных дозах по сравнению с одной ДМ использование растворенной ДМ возрастало с 0,65 и 0,57 до 0,76 и 0,62–0,70 соответственно.

Ключевые слова: доломитовая мука, гипс, гидролитическая кислотность, щелочной гидролиз CO_3^{2-} , серая лесная среднекислая почва

CERTAIN WAYS TO IMPROVE THE EFFICIENCY OF LIMING GRAY FOREST SOILS OF THE UPPER VOLGA

Okorkov V.V., Okorkova L.A.

Upper Volga Federal Agricultural Scientific Center, Novyy, Vladimir region, e-mail: okorkovvv@yandex.ru

The mechanism of interaction of dolomite powder (DP), gypsum, and their combination with the soil absorbing complex (SAC) have been studied in the columns on the gray forest medium-loamy soil. Ameliorants were introduced into 2 upper layers with a thickness of 10 cm, and ameliorant was not introduced into 2 lower layers. 300 and 510 mm of water (500 and 850 ml) were passed through the columns in portions of 50 ml. During the experiment, the analysis of soil and filtrates was performed. It was found that in columns without ameliorant and using DM the concentration of bivalent Ca and Mg cations in the 1st portion of the filtrate was 12.7–19.8 mg-Eq/l, and the pH – 6.71–6.81. These parameters are based on the presence of soil nitrates of Ca and Mg and displacement of SAC parts of intraaggregate hydrogen ions. The concentration quickly decreases to 2.45–4.59 mg-Eq/l and pH increased to 6.98–7.27 in the subsequent portions of the filtrate. It was found that the reduction of hydrolytic acidity (H_+) when introducing DP is due to the binding of hydrogen ions located mainly on the surface of soil aggregates, into a low-dissociated compound (H_2O) with hydroxyl ions. The latter ions are formed during the hydrolysis of CO_3^{2-} -dissolved ameliorant. The utilization coefficient of dissolved DP introduced in doses of 0.61, 1.0 and 2.0 hydrolytic acidity in a layer of 0–20 cm was 0.75, 0.65 and 0.57, respectively. When applying gypsum and combining DP with gypsum, the concentration of Ca and Mg in the 1st portion of the filtrate varied from 23.6 to 26.4 mg-Eq/l, and the pH value – from 6.44 to 6.58. High concentrations of Ca and Mg increased the displacement of intraaggregate hydrogen ions. In the subsequent filtrate portions in the columns of DP and gypsum combination in doses of 1.0 and 0.4 H_+ , DP and gypsum in doses of 2.0 and 0.8 H_+ with the passage of 500 ml of water, the concentration of Ca and Mg gradually decreased to 12.6–23.2 mg-Eq/l, the pH varied from 6.45 to 6.82. When combined with gypsum DM in these doses compared to single DP the use of dissolved DM increased from 0.65 and 0.57 to 0.76 and 0.62–0.70, respectively.

Keywords: dolomite powder, gypsum, hydrolytic acidity, alkaline hydrolysis of CO_3^{2-} , gray forest medium-acid soil

В России из 50–58 млн га избыточно кислых почв сильно- и среднекислые занимают 23–25 млн га [1–2]. Кислотность этих почв – генетическое свойство, связанное с климатом и условиями почвообразования на бескарбонатных почвообразующих породах, интенсивности сельскохозяйственного использования, состояния окружающей среды. Без оптимизации реакции среды в почве

нельзя создать высокопродуктивное земледелие и лугопастбищное хозяйство, решить продовольственную и экологическую проблемы, обеспечить эффективность факторов интенсификации земледелия [3–5].

Для устранения почвенной кислотности было предложено применять известковые удобрения [6–8]. Механизм их действия связывался с вытеснением ионов водорода ио-

нами кальция растворяющегося мелиоранта. Однако коэффициенты использования доз извести, рассчитанных по половинной и полной величинам гидролитической кислотности (H_T), чаще всего варьировали от 0,4 до 0,6, снижаясь с увеличением их доз [9]. Это требовало научного объяснения.

В работах [9–11] изучалось взаимодействие известковых материалов (доломитовой муки, ДМ) и гипса с поглощающим комплексом кислых почв. Для сильнокислых слабо агрегированных дерново-подзолистых почв основной механизм взаимодействия известковых материалов с поглощающим комплексом заключался в гидролизе ионов CO_3^{2-} растворяющегося известкового мелиоранта по обем ступеням с образованием гидроксил-ионов. Последние связывают поглощенные ионы водорода и алюминия соответственно в малодиссоциированное (H_2O) и малорастворимое ($Al(OH)_3$) соединения. В обменное состояние взамен указанных ионов входят ионы Ca и Mg [9–10]. Коэффициент использования растворенного мелиоранта при невысокой концентрации двухвалентных катионов в жидкой фазе достигает 75–95%.

На менее кислых более агрегированных почвах [9, 11] взаимодействие ДМ с их ПК происходит преимущественно в результате гидролиза ионов CO_3^{2-} по 1-й ступени. Коэффициент использования растворенного мелиоранта снижается до 0,55–0,65. Он совпадает со степенью гидролиза карбонат-ионов растворенного мелиоранта. В то же время сочетание ДМ с невысокими дозами гипса повышает коэффициент использования растворенной ДМ до 0,7–0,8. Это обусловлено тем, что высокая концентрация двухвалентных ионов Ca от растворяющегося гипса вызывает переагрегацию ПК. В результате этого катионы Ca взаимодействуют с кислыми внутриагрегатными группами с выделением ионов водорода в жидкую фазу. Её подкисление вызывает гидролиз бикарбонат-ионов и повышает коэффициент использования растворенного мелиоранта. Снижение гидролитической кислотности наблюдается и глубже слоя внесения мелиорантов.

Очевидно, более высокая концентрация двухвалентных катионов Ca и Mg в жидкой фазе может создаваться в паровых полях в результате процессов нитрификации с образованием нитратов кальция и магния. Это может повышать скорость и эффективность известкования.

Цель исследования: изучить механизм взаимодействия известковых материалов

и гипса с поглощающим комплексом парующейся среднекислой серой лесной почвы Верхневолжья.

Материалы и методы исследования

Исследования проводили в колонках, в два верхних разделяемых слоя которых (по 10 см) массой по 175 г были внесены дозы ДМ, гипс и его сочетание с ДМ, в два последующих мелиорант не вносился. Через колонки порциями по 50 мл через два дня пропускали по 500 мл дистиллированной воды, что соответствовало выпадению половинной нормы (300 мм) годовых осадков. Через колонки 6 (двойная доза ДМ) и 7 (двойная доза ДМ + гипс) пропускали 850 мл воды (510 мм осадков). Фильтрат собирали по порциям количественно. В нем определяли состав анионов (HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^-) и катионов (Ca^{2+} , Mg^{2+}) для контроля результатов анализа. По окончании опыта колонки разбирали по почвенным слоям, которые высушивали при 50 °С и растирали в фарфоровой ступке, анализировали по общепринятым методам агрохимического анализа. Величину pH каждого слоя в данном опыте определяли при соотношении почва:вода 1:1 (достижение состояния пластичности почвы). Использовали образцы серой лесной почвы (слой 0–30 см), отобранной в конце лета из разреза 6–18 (табл. 1). Разрез заложен в понижении, в котором весной более длительно застаивалась вода, удлиняя период «поспевания» почвы. В 10 м от него точнее располагался кустарник.

Результаты исследования и их обсуждение

На среднекислых серых лесных почвах при прохождении через колонку № 1 (контроль) 500 мл воды произошло снижение гидролитической кислотности с 5,77–5,75 до 5,42–5,60 мг-экв/100 почвы (табл. 1–3). Это обусловлено тем, что в паровом поле накопилось 1,95 мг-экв/100 г почвы нитратов в форме кальциевой и магниевой селитр. Количество двухвалентных катионов их соответствовало 0,34 H_T . Высокая концентрация двухвалентных катионов в жидкой фазе первых порций фильтрата (табл. 4) вызывала переагрегацию поглощающего комплекса с вытеснением в жидкую фазу внутриагрегатных ионов водорода [9]. Однако отсутствие агентов их связывания (ионов OH^-) сдерживало этот процесс. В результате $K_{исп}$ селитр на снижение H_T варьировал от 16,9 до 20,8%. Уменьшение H_T варьировало от 0,15 до 0,33 мг-экв/100 г почвы.

Таблица 1

Физико-химическая характеристика сильноподзоленной серой лесной почвы (разрез 6–18)

Горизонт	Глубина слоя, см	pH _{KCl}	H _T	S	H _{ОБМ}	Al _{ОБМ} ⁺ мг/100 г почвы	Содержание частиц, %	
			мг-экв/100 г почвы				<0,001 мм	<0,01 мм
A _{ПАХ}	0–30	4,82	5,77	20,8	0,10	0,18	7,08	37,2
A ₁	30–57	4,87	6,30	21,4	0,07	0,09	7,44	34,4
A ₂ B	57–67	4,67	4,72	13,8	0,05	0,09	7,80	38,3
B	67–100	4,32	3,32	14,0	0,12	0,54	18,3	39,1
BC	100–140	4,40	2,80	15,0	0,13	0,72	23,3	42,9

Таблица 2

Влияние мелиорантов на физико-химические свойства серой лесной почвы

№ колонки	Слой колонки, см	pH _{водн} ⁺ 1:1	H _T	S	H _{ОБМ}	Al _{ОБМ} ⁺ мг/100 г почвы	Нерастворенная ДМ	
			мг-экв/100 г почвы				мг-экв/100 почвы	% от внесенной
1. Контроль	0–10	5,77	5,77	20,8	0,20	0,36	–	–
	10–20	5,84	5,42	20,8	0,13	0,09	–	–
	20–30	5,86	5,60	21,0	0,12	0,0	–	–
	30–40	5,77	5,42	21,2	0,11	0,09	–	–
2. Гипс – 0,4 Н _T	0–10	5,48	5,25	21,0	0,11	0,09	–	–
	10–20	5,53	5,42	20,8	0,11	0,09	–	–
	20–30	5,31	5,60	20,7	0,12	0,18	–	–
	30–40	5,55	5,25	21,1	0,11	0,09	–	–
3. ДМ – 1,0 Н _T	0–10	6,70	2,45	25,60	0,08	0,0	1,05	18,3
	10–20	6,65	2,80	26,0	0,10	0,0	1,30	22,6
	20–30	5,82	5,60	21,0	0,11	0,0	–	–
	30–40	5,77	5,60	21,0	0,12	0,0	–	–
4. ДМ – 1,0 Н _T + гипс 0,4 Н _T	0–10	6,32	3,15	25,8	0,15	0,0	1,95	33,9
	10–20	6,25	3,15	26,4	0,16	0,0	2,45	42,6
	20–30	5,51	5,77	21,0	0,12	0,18	–	–
	30–40	5,45	5,77	21,6	0,10	0,0	–	–
5. ДМ – 0,61 Н _T	0–10	6,37	3,67	24,4	0,10	0,0	1,07	30,5
	10–20	6,30	3,67	24,0	0,15	0,0	0,47	13,4
	20–30	5,76	6,12	21,8	0,12	0,0	–	–
	30–40	5,75	5,95	21,2	0,10	0,18	–	–
6. ДМ – 2,0 Н _T	0–10	7,15	1,75	25,2	0,09	0,0	4,45*	38,7*
	10–20	7,09	1,75	25,3	0,09	0,0	–	–
	20–30	5,90	5,42	22,2	0,11	0,09	–	–
	30–40	5,81	5,25	22,0	0,13	0,09	–	–
7. ДМ – 2,0 Н _T + гипс 0,8 Н _T	0–10	6,75	1,75	25,2	0,12	0,0	5,07*	44,1*
	10–20	6,87	1,75	25,3	0,09	0,0	–	–
	20–30	5,70	4,90	23,0	0,11	0,27	–	–
	30–40	5,60	5,60	21,4	0,12	0,18	–	–

Примечание. * – Размеры нерастворенной ДМ, рассчитанные с использованием данных по коэффициенту использования внесенной ДМ и степени гидролиза растворенного мелиоранта (по величине pH_{водн} = 1:1).

В колонке № 2 с дозой гипса 0,4 Н_г суммарный эффект селитры и гипса возрастал. Снижение Н_г по слоям колонки по сравнению с её исходной величиной 5,75 мг-экв/100 г почвы варьировало от 0,15 до 0,50 мг-экв/100 г (табл. 2). Отводя весь эффект гипсу, получаем, что коэффициент использования дозы его 0,4 Н_г в слое 0–20 и 0–40 см составил соответственно 0,36 и 0,32 (табл. 3). Внесение гипса по сравнению с контрольной колонкой вело к снижению рН_{водн} почвы (1:1) с 5,77–5,86 до 5,31–5,55. Это объясняет дополнительное вытеснение из ППК интраагрегатных ионов водорода.

Внесение ДМ в дозе по 1,0 Н_г привело к резкому уменьшению гидролитической кислотности преимущественно в слое внесения до 2,45–2,80 мг-экв/100 г почвы. При этом доля растворенного мелиоранта составила 79,6%. При сочетании ДМ (1,0 Н_г) с гипсом (0,4 Н_г) наблюдали снижение гидролитической кислотности в слоях 0–10 и 10–20 см на меньшую величину (до 3,15 мг-экв/100 г почвы), что связано с меньшими размерами растворившейся ДМ (61,8%).

Доломитовая мука в дозе 0,61 Н_г рассчитанная на уменьшение гидролитической кислотности сверх 15% емкости катионного обмена [9], в слое 0–20 см почвы снижала величину Н_г с 5,75 до 3,67 мг-экв/100 г почвы (до 13,6% от емкости поглощения), что совпадало с планируемой величиной. В слоях 20–30 и 30–40 см произошло некоторое повышение её (с 5,75 до 5,95–6,12 мг-экв/100 г почвы). Доля растворенной ДМ составила 78% от внесенной дозы её.

В колонках № 6 с двойной дозой ДМ и № 7 (двойная доза ДМ + 0,8 дозы гипса по Н_г) в слоях внесения мелиорантов при прохождении 510 мм воды произошло дальнейшее снижение гидролитической кислотности (с 5,75 до 1,75 мг-экв/100 г почвы), а растворение ДМ составило соответственно 61,3 и 55,9% от внесенной дозы. Отсюда можно заключить, что максимальное количество растворившейся ДМ не превышало 1,2 Н_г. Очевидно, для повышения полноты растворения известковых материалов необходим контакт той же их дозы с большим объемом почвы. В полевых условиях это может выполняться их заделкой в более глубокий слой 0–30 см плугами ПЯ-3-35 или ПНЯ-4-40.

Размеры обменной кислотности и обменного алюминия были невысокими. Наиболее низкими они были при применении

ДМ, особенно в слое 0–20 см почвы. Они не должны оказывать токсичного влияния на развитие корневых систем возделываемых культур.

В табл. 3 представлены данные по коэффициентам использования внесенной ДМ, в том числе и в сочетании с гипсом. К_{исп} ДМ, внесенной в дозе по 1,0 Н_г, составил 54,4%, а в дозе 0,61 Н_г – 59,2%. Сочетание ДМ с гипсом снизило К_{исп} её с 54,4 до 45,2%. Для двойной дозы ДМ при прохождении через колонки по 510 мм воды он равнялся 34,8%.

Таким образом, К_{исп} внесенной ДМ возрастал с уменьшением её доз, но снижался при сочетании с гипсом, изменяясь от 34,8 (для двойной по Н_г дозы ДМ) до 54,4–59,2% (для доз ДМ, варьирующих от 1,0 до 0,61 Н_г).

В то же время для оценки эффективности доз ДМ и сочетания её с гипсом более корректно использовать данные по К_{исп} растворенного мелиоранта. Для этого по данным рН_{водн} почвы (1:1) в слое 0–20 см после взаимодействия с мелиорантами находили степень гидролиза ионов CO₃²⁻ растворенного мелиоранта. Она была близка к К_{исп} растворенной ДМ на снижение Н_г в этом слое [9]. Так как рН_{водн} почвы после взаимодействия с мелиорантом был ниже 8,3, то гидролиз CO₃²⁻-ионов по 1-й ступени (рK₂ = 10,32, рK₂ – отрицательный десятичный логарифм константы диссоциации угольной кислоты по 2-й ступени) был полным – 100% (CO₃²⁻ + H₂O → HCO₃⁻ + OH⁻). Гидролиз же по 2-й ступени (HCO₃⁻ + H₂O ↔ H₂CO₃ + OH⁻) рассчитывали, используя формулу

$$\alpha_1 = \frac{100}{1 + 10^{\text{PK1} - \text{pH}}},$$

где α₁ – степень диссоциации слабой угольной кислоты по 1-й ступени, PK1 – отрицательный десятичный логарифм константы диссоциации угольной кислоты по 1-й ступени.

По разнице 100 – α₁ находили степень гидролиза по 2-й ступени. Общую степень гидролиза карбонат-ионов в слоях 0–10 и 10–20 см рассчитывали по формуле

$$[100 + (100 - \alpha_1)] : 2 = 100 - \alpha_1 / 2.$$

Для слоя 0–20 см почвы К_{исп} растворенной ДМ при применении её полной дозы, составил 65,2%. Он повышался до 75% в колонке с дозой ДМ 0,61 Н_г, но снижался до 56,8% в колонке с двойной дозой ДМ. Сочетание ДМ (1,0 Н_г) с гипсом (0,4 Н_г) повышало К_{исп} растворенной ДМ с 65,2 до 76,2%.

Это обусловлено более низкими величинами $pH_{\text{водн}}$ почвы при сочетании ДМ с гипсом, что повышало степень гидролиза карбонат-ионов по 2-й ступени. То же наблюдали и при применении двойной дозы ДМ (56,8%) и при сочетании её с гипсом (62,2%).

В слое 0–40 см почвы снижение H_T в слоях 20–30 и 30–40 см по сравнению с исходной её величиной 5,75 мг-экв/100 г почвы приводило к небольшому росту $K_{\text{исп}}$ растворенного мелиоранта, а повышение – к снижению. Видно (табл. 3), что при сочетании ДМ с гипсом $K_{\text{исп}}$ растворенного мелиоранта на снижение H_T был более высоким, чем при применении только ДМ. Это наблюдали как в слое 0–20 см, так и во всем 0–40 сантиметровом слое почвы в колонке.

В работе [9] получены более высокие значения $K_{\text{исп}}$ растворенной ДМ при применении двойной дозы её. При прохождении через колонки 600 мм воды в случае использования только ДМ его величина составила 75,7%, а при сочетании её с гипсом – 100%. Различия обусловлены тем, что в этих опытах слои 20–30 и 30–40 см были представлены иллювиальным горизонтом дерново-подзолистой почвы. Величина $pH_{\text{водн}}$ почвы (1:0,5) в контрольной колонке в слоях 20–30 и 30–40 см составляла 4,50–4,53, а в колонках с мелиорантами – 4,11–4,83. Более низкие значения $pH_{\text{водн}}$ в указанных слоях обеспечивали более полный гидролиз бикарбонатов (2-я ступень).

В контрольной колонке в 1-й порции фильтрата наблюдали наиболее высокую концентрацию суммы катионов Са и Mg (14,4 мг-экв/л). Она вытесняла часть внутриагрегатных ионов водорода, о чем свидетельствует наиболее низкое значение его pH – 6,76 (табл. 4). В последующих порциях концентрация ионов Са и Mg заметно снижалась (до 4,59 мг-экв/л), а pH фильтратов стабилизировался на уровне 6,90–7,03.

В колонке с гипсом в две первые порции фильтрата из-за более высокой концентрации катионов Са и Mg в жидкой фазе (19,0–26,4 мг-экв/л) больше вытеснялось внутриагрегатных ионов водорода, что снизило величины pH их до 6,44–6,78. В последующих порциях их наблюдали нейтральную реакцию среды и снижение концентрации двухвалентных катионов до 12,6 мг-экв/л.

При применении ДМ (1,0 H_T) лишь в 1-й порции фильтрата наблюдали небольшое снижение pH (6,81), обусловленное вытеснением внутриагрегатных ионов водорода нитратами кальция и магния. В последующих порциях значения pH варьировали от 6,91 до 7,12. В них также наблюдали снижение кон-

центрации двухвалентных катионов Са и Mg до 3,66 мг-экв/л, а уменьшение H_T серой лесной почвы происходило преимущественно за счет связывания ионов водорода её ионами гидроксила, образующимися при гидролизе CO_3^{2-} -ионов по 1-й ступени.

При сочетании ДМ (1,0 H_T) с гипсом (0,4 H_T) во всех порциях фильтрата наблюдали высокую концентрацию двухвалентных ионов Са и Mg, которые вытесняли внутриагрегатные ионы водорода и снижали pH . Вытесненные ионы H^+ связывались ионами гидроксила, образовавшимися при гидролизе CO_3^{2-} -ионов и по 2-й ступени (52,4%) в малодиссоциированное соединение (H_2O). Очевидно, в этом варианте растворенный мелиорант в большей мере, чем в колонке 3, расходовался на нейтрализацию внутриагрегатных ионов водорода, что снижало набухаемость почвы и увеличивало её инфильтрационную способность. Суммарный объем фильтрата был на 19 мл выше, чем в колонке с одной доломитовой мукой (262 против 243 мл).

В 5-й колонке лишь в 1-й порции фильтрата наблюдали активный переход внутриагрегатных ионов H^+ в жидкую фазу. В последующих порциях фильтрата концентрация катионов Са и Mg резко снижалась. И уменьшение гидролитической кислотности происходило преимущественно за счет нейтрализации ионов H^+ , находящихся на поверхности почвенных агрегатов.

В колонке 6 процесс взаимодействия ДМ с ППК серой лесной почвы был таким же, как и в колонках 3 и 5. Это подтверждалось и близкими размерами суммарного объема фильтратов, вытекающих из них (240–248 мл). Отметим, что наименьшая инфильтрационная способность колонок наблюдалась в контроле (237 мл) и внесении в них только гипса (227 мл).

При сочетании ДМ (2 H_T) с гипсом (0,8 H_T) при высоких концентрациях двухвалентных катионов Са и Mg в жидкой фазе происходило активное вытеснение из ППК внутриагрегатных ионов H^+ , что снижало pH фильтратов, уменьшало набухаемость почвы, повышало её инфильтрационную способность до 268 мл.

При меньшем количестве растворившейся ДМ в колонке 7, чем в 6-й колонке (табл. 2), в обоих случаях наблюдали близкий эффект мелиорантов по снижению H_T . Следовательно, связывание внутриагрегатных ионов водорода способствует значительному улучшению и коллоидно-химических свойств серых лесных почв.

Таблица 3

Использование мелиорантов при пропускании через колонку 300 (1–5 колонки) и 510 мм (6–7 колонки) воды в слоях 0–20 и 20–40 см

Вариант опыта	K _{исп} мелиоранта, %		K _{исп} растворенного мелиоранта, %		Степень гидролиза ДМ в слое 0–20 см почвы, %			pH _{водн} 1:1
	слой 0–20 см	слой 0–40 см	слой 0–20 см	слой 0–40 см	по 1-й ступени	по 2-й ступени	Общая	
1. Контроль	16,9	20,8	16,9	20,8	–	–	–	5,80
2. Гипс – 0,4 Н _Г	36,1	32,2	36,1	32,2	–	–	–	5,50
3. ДМ – 1 Н _Г	54,4	57,0	65,2	68,3	100	30,4	65,2	6,68
4. ДМ – 1 Н _Г + гипс 0,4 Н _Г	45,2	45,2	76,2	76,2	100	52,4	76,2	6,28
5. ДМ – 0,61 Н _Г	59,2	51,1	75,0	64,8	100	49,9	75,0	6,34
6. ДМ – 2,0 Н _Г	34,8	38,4	56,8	62,6	100	13,7	56,8	7,12
7. ДМ – 2,0 Н _Г + гипс 0,8 Н _Г	34,8	39,1	62,2	70,0	100	24,4	62,2	6,81

Примечания: 1 – в контроле рассчитан K_{исп} на кальциевую селитру в дозе 1,95 мг-экв/100 г почвы (0,34 Н_Г); 2 – в вариантах 4 и 7 приведены данные по использованию ДМ.

Таблица 4

Некоторые параметры фильтратов, вытекающих из колонок, при прохождении через них 300 мм влаги

№ колонки	Параметр	№ порции фильтрата					Среднее значение параметра	Суммарный объем фильтрата, мл
		1-я	2-я	3-я	4-я	5-я		
1	pH	6,76	6,98	6,90	7,03	6,98	6,93	237
	C _{Ca,Mg}	14,4	8,59	6,24	5,07	4,59		
2	pH	6,44	6,78	7,04	7,09	7,08	6,89	227
	C _{Ca,Mg}	26,4	19,0	17,5	15,1	12,6		
3	pH	6,81	7,02	6,91	7,11	7,12	6,99	243
	C _{Ca,Mg}	12,7	9,15	6,15	4,08	3,66		
4	pH	6,57	6,66	6,82	6,69	6,45	6,64	262
	C _{Ca,Mg}	23,6	28,9	23,2	20,0	18,4		
5	pH	6,71	6,96	7,05	7,07	7,01	6,96	248
	C _{Ca,Mg}	19,8	8,03	5,76	3,55	2,45		
6	pH	6,72	7,08	7,19	7,26	7,27	7,10	240
	C _{Ca,Mg}	16,3	7,48	5,75	3,55	2,60		
7	pH	6,58	6,67	6,75	6,72	6,63	6,67	268
	C _{Ca,Mg}	26,2	31,9	28,6	25,5	23,2		

Примечание. C_{Ca,Mg} – концентрация ионов кальция и магния в фильтратах, мг-экв/л.

При увеличении количества проходящей через колонки воды в колонке с двойной дозой ДМ величина pH фильтратов проходила через максимум в 6-й порции фильтрата (7,63), снижаясь до 7,26–7,29 в 9–12 порциях, а концентрация суммы двухвалентных катионов кальция и магния стабилизировалась на уровне 2,78–2,52 мг-экв/л. Степень гидролиза карбонат-ионов по 2-й ступени при этом повышалась с 4,6 до 9,7–10,7%.

При сочетании ДМ с гипсом в 7-й колонке концентрация двухвалентных катионов в фильтратах уменьшалась с 22,0 в 6-й порции до 18,2–19,5 мг-экв/л – в 10–12 порциях; величина pH постепенно снижалась с 6,89 до 6,50–6,32. Последние величины pH свидетельствовали о гидролизе карбонат-ионов ДМ по 2-й ступени примерно на 50%.

Суммарный объем фильтрата в 6-й колонке составил 576 мл, а в 7-й – 607 мл.

Разница в повышении поглощения воды и водоудерживающей способности серой лесной почвы в колонке с ДМ по сравнению с колонкой сочетания ДМ с гипсом при прохождении через колонки 510 мм (31 мл) и 300 мм (28 мл) сохранилась.

Заметное снижение скорости инфильтрации в колонке с гипсом было связано с образованием тиксотропной системы в слое 30–40 см, обладающей высокой водоудерживающей способностью, что требует своего объяснения.

В то же время на серой лесной среднекислой тяжелосуглинистой почве избыточного увлажнения (содержание ила 15,0%, а частиц <0,01 мм 45,0%) применение гипса в дозе 1/3 H_T по сравнению с контролем заметно улучшало инфильтрационные свойства колонок из трех слоев со 152 до 193 мм (табл. 5) [9, 11]. Применение ДМ в дозе 1 H_T увеличивало количество профильтрованной воды до 207 мл, а сочетания её с гипсом (1/3 H_T) – до 218 мл.

19,0–26,4 мг-экв/л и более высокие размеры вытеснения внутриагрегатных ионов водорода и снижение рН до 6,44. В последующих порциях фильтрата наблюдали постепенное уменьшение их концентрации до 12,6 мг-экв/л и повышение рН до 7,04–7,09. Отнесенный к гипсу суммарный эффект его и нитратов Са и Mg, оцениваемый понижением H_T , достигал 6,2% исходной гидролитической кислотности. В колонке с ДМ (1 H_T) высокая концентрация ионов Са и Mg (12,7 мг-экв/л), обусловленная наличием в почве нитратов, вытесняла внутриагрегатные ионы водорода, снижая рН до 6,81. Последующие порции фильтрата имели более низкие концентрации ионов Са и Mg (3,66 мг-экв/л в 5-й порции), но более высокие величины рН (7,02–7,12). Снижение H_T происходило уже за счет связывания ионов водорода, находящихся на поверхности почвенных агрегатов, ионами гидроксила, образовавшимися при гидролизе карбонат-ионов растворившейся ДМ преимущественно

Таблица 5

Объем порций раствора, вытекающего из колонок после прохождения через них 500 мл воды [6, 9]

Вариант и № колонки	Объем порций фильтрата, мл					
	1	2	3	4	5	Сумма
1. Контроль	20,9	27,6	37,2	37,4	28,5	151,6
2. ДМ по 1 H_T	29,6	43,2	39,9	41,9	52,7	207,3
3. ДМ по 1 H_T + гипс (1/3 H_T)	37,0	49,6	37,7	43,4	50,7	218,4
7. Гипс по 1/3 H_T	32,2	34,1	40,0	41,3	45,4	193,0

Заключение

На серой лесной среднекислой средне-суглинистой почве периодически избыточного увлажнения в колонках изучено влияние доломитовой муки, гипса и их сочетания на изменение физико-химических свойств ППК и её инфильтрационную способность. Повышенное количество нитратов Са и Mg, образовавшихся в чистом пару (1,95 мг-экв/100 г почвы) и эквивалентное 0,34 H_T , обеспечивало достижение в 1-й порции фильтрата концентрации двухвалентных катионов до 14,4 мг-экв/л и способствовало вытеснению внутриагрегатных ионов водорода из ППК и снижению рН фильтрата до 6,76. В последующих порциях концентрация суммы Са и Mg снижалась до 4,6–8,6 мг-экв/л. В колонке с внесением гипса (0,4 H_T) происходили дальнейший рост концентрации катионов Са и Mg до

по 1-й ступени (в 5-й порции фильтрата степень гидролиза CO_3^{2-} по 2-й ступени составила 13,6%). Такой же механизм взаимодействия с ППК наблюдали при применении и других доз ДМ. $K_{исп}$ растворенной ДМ в слое 0–20 см при внесении её в дозах 1,0, 0,61 и 2,0 H_T составлял соответственно 65,2; 75,0 и 56,8%. При сочетании ДМ с гипсом из-за более высоких концентраций Са и Mg в жидкой фазе наблюдали более интенсивное вытеснение из ППК внутриагрегатных ионов H^+ и рост степени гидролиза карбонат-ионов по 2-й ступени. При сочетании ДМ (1,0 H_T) с гипсом (0,4 H_T) $K_{исп}$ растворенной ДМ достигал 76,2%.

По сравнению с контролем при применении различных доз ДМ увеличивалась инфильтрационная способность серой лесной почвы с 237 до 240–248 мл, а при сочетании с гипсом – до 262–268 мл. Это обусловлено снижением степени набухания

почвенных коллоидов из-за вытеснения внутриагрегатных ионов H^+ . Из-за образования тиксотропной системы в слое 30–40 см при применении гипса инфильтрационная способность почвы снизилась до 227 мл. На серых лесных среднекислых почвах тяжелосуглинистого состава также была установлена наиболее высокая инфильтрационная способность почвы при сочетании ДМ с гипсом, несколько снизилась она при применении ДМ. Но она была существенно более высокой по сравнению с контролем при внесении гипса. На средне- и сильнокислых серых лесных почвах, находящихся вблизи источников гипса и предприятий по производству фосфорных удобрений, рекомендуется применять побочный продукт их производства – фосфогипс-дигидрат, особенно нейтрализованный, с известняковой или доломитовой мукой. Известковые материалы вносятся в дозе, которая эквивалентна полной гидролитической кислотности, а фосфогипс – в дозе, соответствующей 0,4 гидролитической кислотности почвы. Применение фосфогипса улучшит питание культур серой. Наибольший мелиоративный эффект извести обеспечивается при внесении её в паровое поле.

Список литературы / References

1. Агрохимическая характеристика почв сельскохозяйственных угодий Российской Федерации. Реестр плодородия почв. М.: ВНИИА, 2013. 208 с.
Agrochemical characteristics of soils of agricultural lands of the Russian Federation. Register of soil fertility. Moscow: VNIIA, 2013. 208 p. (in Russian).
2. Аканова Н.И., Шильников И.А., Ефремова С.Ю., Аваков М.С. Значение химической мелиорации в земледелии и потери кальция и магния из почвы // Проблемы агрохимии и экологии. 2017. № 1. С. 28–35.
Akanova N.I., Shilnikov I.A., Efreмова S.Yu., Avakov M.S. The Significance of Chemical Melioration in Agriculture and the Loss of Calcium and Magnesium From the Soil // Problems of Agrochemistry and ecology. 2017. № 1. P. 28–35 (in Russian).
3. Небольсин А.Н., Небольсина З.П. Теоретические основы известкования почв. СПб., 2005. 252 с.
Nebolsin A.N., Nebolsina Z.P. Theoretical principles of the liming of soils. St. Petersburg, 2005. 252 p. (in Russian).
4. Осипов А.И. Свой путь в химической мелиорации // Сельскохозяйственные вести. 2016. № 2. С. 38–41.
Osipov A.I. Own way in chemical amelioration // Agricultural news. 2016. № 2. P. 38–41 (in Russian).
5. Шильников И.А., Сычёв В.Г., Аканова Н.И. Состояние и эффективность химической мелиорации почв в земледелии Российской Федерации // Плодородие. 2013. № 1 (70). С. 9–13.
Shilnikov I.A., Sychev V.G., Akanova N.I. The condition and effectiveness of chemical amelioration of soils in agriculture of the Russian Federation // Plodorodie. 2013. № 1 (70). P. 9–13 (in Russian).
6. Гедройц К.К. Учение о поглотительной способности почв. М.: Сельхозгиз, 1932. 216 с.
Gedroits K.K. The Doctrine of the absorptive capacity of the soil. M.: Selkhozgiz, 1932. 216 p. (in Russian).
7. Осипов А.И. Современные подходы к известкованию кислых почв // V Лужские научные чтения. Современное научное знание: теория и практика: материалы Международной научной конференции (Санкт-Петербург, 22 мая 2017 г.). Санкт-Петербург: ЛГУ им. А.С. Пушкина, 2017. С. 17–22.
Osipov A.I. Modern approaches to acidic soil liming // V Luzhsky scientific readings. Modern scientific knowledge: theory and practice: proceedings of the international scientific conference (St. Petersburg, may 22, 2017). St. Petersburg: LGU A.S. Pushkina, 2017. P. 17–22 (in Russian).
8. Осипов А.И. Экологически безопасное использование известьесодержащих отходов // Экологические проблемы развития агроландшафтов и способы повышения их эффективности (Краснодар, 27–29 марта 2018 г.). Краснодар: Кубанский ГАУ им. И.Т. Трубилина, 2018. С. 170–173.
Osipov A.I. Environmentally safe use of lime-containing waste // Ecological problems of development of agricultural landscapes and ways to improve their efficiency (Krasnodar, March 27–29, 2018). Krasnodar: Kubanskiy GAU im. I.T. Trubilina, 2018. P. 170–173 (in Russian).
9. Окорков В.В. Теоретические основы химической мелиорации кислых почв. Владимир: Владимирский НИИСХ, 2016. 331 с.
Okorkov V.V. Theoretical foundations of chemical amelioration of acid soils Vladimir: Vladimirskij NIISKH, 2016. 332 p. (in Russian).
10. Окорков В.В., Окоркова Л.А. Механизмы взаимодействия извести и гипса с поглощающим комплексом кислых почв // Доклады РАСХН. 2013. № 5. С. 39–43.
Okorkov V.V., Okorkova L.A. Mechanisms of interaction of lime and gypsum with sorption complex of acidic soils // Doklady RASKHN. 2013. № 5. P. 39–43 (in Russian).
11. Окорков В.В. Химические приемы улучшения инфильтрационных свойств переувлажненных кислых почв // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2015. № 4. С. 5–13.
Okorkov V.V. Chemical methods of improvement of the infiltration properties of waterlogged acid soils // Siberian Bulletin of agricultural science. 2015. № 4. P. 5–13 (in Russian).