

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФОСФОГИПСА В ЗЕМЛЕДЕЛИИ

В.В. Окорков, д.с.-х.н., Владимирский НИИСХ

Рассмотрены вопросы комплексного использования на солонцовых и кислых почвах гипсосодержащих мелиорантов, позволяющих существенно улучшить условия произрастания растений, полнее обеспечивать их серой и фосфором. Показано, что использование фосфогипса улучшает экологическое состояние вблизи предприятий по производству фосфорных удобрений.

Ключевые слова: фосфогипс, мелиоранты, солонцы.

Фосфогипс представляет собой побочный продукт производства экстракционной фосфорной кислоты, получаемой из фосфатных пород при мокром процессе разложения смесью серной и фосфорной кислот дигидратным способом.

Фосфорную кислоту используют для производства легко-растворимых фосфорных удобрений, в том числе аммофоса, а побочный продукт (гипс) накапливается в отвалах. Этот тонко гранулированный, очень чистый продукт, называемый фосфогипсом, получают в очень больших количествах на комбинатах по производству фосфорных удобрений.

Фосфогипс – вторичный материальный ресурс по ГОСТ 25916, ГОСТ 30772. Этот продукт, получающийся при переработке фосфоритового сырья, содержит значительно меньше стронция (400-600 мг/кг) по сравнению с кислым фосфогипсом из хибинского апатитового концентрата (1400 мг/кг). Из элементов, относящихся к первому классу опасности в фосфогипсах, полученных при переработке обоих типов сырья, может вызывать опасение кадмий, в фосфогипсе из фосфоритного сырья – свинец. В настоящее время фосфогипс для мелиорации почв поступает только после переработки фосфатного апатитового сырья. Поставку фосфогипса, получаемого при переработке фосфоритов, в настоящее время не осуществляют.

По воздействию на организм человека фосфогипс относится к малоопасным веществам – к четвертому классу опасности (ГОСТ 12.1.007). В сельском хозяйстве РФ для мелиорации поставляют фосфогипс-дигидрат, получаемый из Кольского апатита (хибинский и ковдорский апатитовые концентраты). Фосфогипс, получаемый при разложении хибинского апатитового концентрата, содержит несколько больше фосфора, фтора и стронция по сравнению с фосфогипсом из ковдорского сырья [12].

Свежий фосфогипс, поступающий из цеха переработки, имеет pH_{H_2O} 2,6-3,0. В сельском хозяйстве в качестве мелиоранта используют как кислый, так и нейтрализованный фосфогипс. Нейтрализацию фосфогипса проводят при его гидроскладировании при помощи ввода нейтрализующей добавки (известь) в транспортируемую в шламонакопитель суспензию фосфогипса. Величина pH_{H_2O} нейтрализованного фосфогипса составляет 7-8.

Поставляемый для сельского хозяйства фосфогипс должен соответствовать требованиям ТУ 113-08-418-94 «Фосфогипс для сельского хозяйства» (табл. 1).

Содержание радиоактивных элементов в Кольских апатитах невелико. Радиоактивность фосфогипса из Кольского апатита в 8 раз ниже допустимой нормы, принятой ООН по промышленному развитию для материалов, утилизируемых в природной среде (Рекомендации по использованию фосфогипса для мелиорации солонцов) [12].

Основная область применения гипса или фосфогипса в сельскохозяйственном производстве – мелиорация солонцовых почв, что впервые было обосновано К.К. Гедройцем. В этих почвах его применяют для вытеснения из почвенного поглощающего комплекса (ППК) обменного натрия, который обуславливает их неблагоприятные физико-химические, структурно-механические и физические свойства: повышен-

ная пептизируемость илистой и почвенной массы, твердость почвенной корки, высокая плотность почвы и низкая фильтрационная способность. Замена обменного натрия на кальций обеспечивает улучшение названных свойств солонцов и повышает их плодородие.

Продуктом реакции является сульфат натрия – легкорастворимая и легко вымываемая из почвы соль, которая способствует также коагуляции почвенных коллоидов. В случае присутствия в почвенном растворе нормальной соды наблюдается и ее устранение.

1. Основные требования к фосфогипсу

№	Основные физико-химические свойства	Первый сорт	Второй сорт
		%	
1	Массовая доля основного вещества ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) в пересчете на сухой дигидрат, не менее	92	92
2	Массовая доля гигроскопической (сверхкристаллизационной) воды на момент отгрузки, не более	6	20
3	Массовая доля водорастворимых фтористых соединений, в пересчете на фтор, не более	0,4	0,3
4	Массовая доля частиц (комков) размером: более 10 мм от 5 до 10 мм, не более более 1 мм, не более	Отсутствие 1 6	Отсутствие 20 Не нормируется
5	Массовая доля примесей токсичных элементов, в том числе кадмия, мышьяка, ртути, свинца	При существующих дозах внесения фосфогипса уровень поступления примесей (мг/кг) не должен превышать ПДК или ОДК в почве (для группы почв «песчаные и супесчаные») по СанПиН 42-128-4433-87 или по Перечню ПДК или ОДК химических веществ в почве № 6229-91 и ГН 2.1.7.020-94 (дополнение к перечню ПДК и ОДК № 6629-91)	

Гипсование остается ведущим приемом мелиоративного освоения солонцов, устраняющим целый комплекс негативных факторов.

Дальнейшие отечественные и зарубежные исследования подтвердили главенствующую роль обменного натрия и обусловленного им повышенного заряда поверхности ППК в проявлении неблагоприятных свойств солонцовых почв [4, 5]. Изучение мелиоративного эффекта ионов водорода, кальция и железа на распаханых высококарбонатных солонцах показало, что азотная и серная кислоты, гипс, хлорид кальция и сульфат железа оказали практически одинаковое влияние на электрокинетический потенциал и размеры вытеснения обменного натрия из иллювиальных горизонтов солонцов.

Резкое увеличение скорости фильтрации черноземных и каштановых солонцов наблюдается при снижении обменного натрия менее 10-15 % от емкости обмена. Наибольшие величины ее получены при мелиорации солонцов сульфатом железа, наименьшие – при воздействии кислот, промежуточные – при обработке гипсом и хлоридом кальция. Очевидно при применении кислот, микроагрегаты наименее водопрочны,

так как их образование обусловлено и действием слабых ван-дер-ваальсовых сил притяжения. Наиболее высокий эффект солей железа, по-видимому, связан с дополнительным влиянием гетерокоагуляции отрицательно заряженных частиц с положительно заряженными гидроксидами железа, образовавшимися при гидролизе сульфата железа.

Вследствие низкой растворимости гипса ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) в воде (2,5 г/л) в богарных условиях некоторые исследователи ему отводили весьма скромную роль в вытеснении обменного натрия. Однако при взаимодействии с солонцами из-за связывания ионов кальция ППК растворимость его существенно увеличивается. В динамических условиях (при капиллярном движении раствора через образец иллювиального горизонта солонца) растворимость гипса и фосфогипса была близкой.

В статических условиях при взаимодействии с Na/Ca- и Na-глинами и суглинками растворимость гипса в несколько раз выше, чем в воде (в 1,2-5,7 раза) [4, 5]. Она увеличивается с ростом констант обмена ионов натрия на кальций, с уменьшением соотношения твердой фазы к жидкой, увеличением емкости обмена, доз гипса, содержания обменного натрия и гумуса. Повышение растворимости гипса в жидкой фазе при его взаимодействии с Na/Ca- и Na-глинами связано: со смещением равновесия в сторону растворения новых порций его в связи с поглощением одного из продуктов реакции (ионов кальция) поглощающим комплексом и с образованием ионных пар (CaSO_4^0 , NaSO_4^-). В природных условиях растворению мелиоранта благоприятствуют удаление продуктов обмена в более глубокие слои почвы, образование других ионных пар (MgSO_4^0 , KSO_4^- , CaHCO_3^+) и растворимых комплексов соединений с ионами кальция.

Балансовые исследования, проведенные в динамических условиях при различном размещении гипса по слоям колонок, сформированных из иллювиального горизонта черноземного средненатриевого солонца, свидетельствуют об уменьшении коэффициентов использования (КИ) растворенного мелиоранта с увеличением дозы гипса от половинной до полной, эквивалентной содержанию обменного натрия, с 0,80-0,86 до 0,63-0,69 и о близости их (0,56-0,64) без учета подключения CaCO_3 к процессу. Подключение CaCO_3 к мелиоративному процессу растет с уменьшением доз гипса и при размещении его во все слои колонки. Способ размещения мелиоранта слабо влиял на величину КИ растворенного гипса. Это связано с тем, что при равномерном распределении гипса по слоям колонок хотя и наблюдается более высокий вынос с фильтратом двухвалентных катионов, но он компенсируется более интенсивным подключением к мелиоративному процессу карбоната кальция. Почвенные и внесенные карбонаты кальция растворяются примерно одинаково. Дополнительное внесение CaCO_3 в двойной дозе не снижало количество растворенного гипса.

При прохождении через колонки с полной дозой мелиоранта 100-200 мм воды (независимо от способа размещения гипса по слоям) 1 л влаги растворял от 4,9 до 7,3 г гипса. Установлено, что повышенные концентрации первых порций почвенного раствора (порядка сотен мг-экв/л) обладают высоким коагулирующим действием и обеспечивают близкую к зональным почвам скорость фильтрации почвенной влаги. Процессы вытеснения обменного натрия наблюдаются не только в слое внесения гипса, но и в более глубоких слоях.

На контрольных вариантах за счет гидролиза ППК и растворения CaCO_3 вытеснение обменного натрия наблюдалось лишь в самом верхнем слое колонок (0-4 см). Средняя растворимость карбоната кальция составила 0,56 г/л. Скорость обменных процессов в этом случае тормозится фильтрационной способностью слоев с высоким содержанием поглощенного натрия из-за слабого коагулирующего действия равновесных растворов низкой концентрации.

По данным лабораторных опытов, для средненатриевых солонцов в динамических условиях была получена следующая зависимость КИ растворенного гипса (при степени его растворения 80-100 %) на вытеснение обменного натрия (с учетом подключения к процессу CaCO_3) от доз мелиоранта

(м), выраженных в долях от полной нормы, эквивалентной обменному натрию:

$\text{КИ} = (1,02 - 0,38 \text{ м}) \pm 0,025 \text{ т}$, $r = -0,959$; $t_{\phi} = 10,7$; $t_{\tau}^{5\%} = 2,23$; $n = 12$.

Подсчеты по данным модельных исследований свидетельствуют о возможности протекания обменных процессов при гипсовании с достаточно высокими скоростями даже при накоплении за зимний период около 100-120 мм осадков, что вполне возможно при ежегодном выпадении их около 300 мм и более. По исследованиям автора [4, 6], положительное действие гипсования лугово-черноземных средненатриевых солонцов (табл. 2) со среднегодовым количеством осадков около 340-360 мм прослежено в течение 14 лет. С длительностью использования солонцов продуктивность и стабильность урожаев на них возрастают. Влияние гипса и фосфогипса на эти показатели было близким.

2. Урожайность зерна ячменя на лугово-черноземных солонцах в зависимости от мелиоративных приемов*, ц/га

Вариант опыта	1976-1980 гг.	1982-1985 гг.	1987-1988 гг.	1976-1988 гг.
1. Контроль	9,2	12,0	11,0	10,5
2. Гипс, 14,5 т/га под вспашку (1974 г.)	12,4	18,9	19,4	16,0
3. Фосфогипс, 14,5 т/га под вспашку (1974 г.)	12,6	17,9	19,2	15,7
4. Фосфогипс, 14,5 т/га (1974 г.) + 7,0 т/га в 1981 г.	-	17,3	19,2	-
Средняя урожайность по фону, ц/га	-	16,5	-	-

*Вспашка на 25-27 см + ежегодное весеннее рыхление на 25-27 см.

Высокая эффективность гипсования солонцов связана, очевидно, с быстро идущими мелиоративными процессами. Установлено, что процессы растворения гипса, уменьшения обменного и водорастворимого натрия, снижения концентрации почвенного раствора протекают по реакциям первого порядка [4, 6]. О скорости этих процессов судили по периоду, вызывающему изменение соответствующего параметра в 2 раза.

На контрольных делянках лугово-черноземных солонцов в слое почвы 0-20 см уменьшение обменного натрия в 2 раза в результате растворения карбоната кальция происходит за 16-20 лет, а на мелиорированных гипсом и фосфогипсом – за 7-9 лет. Скорости удаления обменного и общего натрия близки, а снижения концентрации почвенного раствора в 1,5-2,0 раза выше. Период растворения половинного количества гипса и фосфогипса составляет 2 года.

Вопреки существующим представлениям, несмотря на различия в фильтрационной способности контрольных и гипсованных делянок, скорость рассоления была близкой. О ней судили по изменению с глубиной изобары осмотического давления почвенного раствора 5 атм в зависимости от длительности сельскохозяйственного использования солонцов (рис. 1).

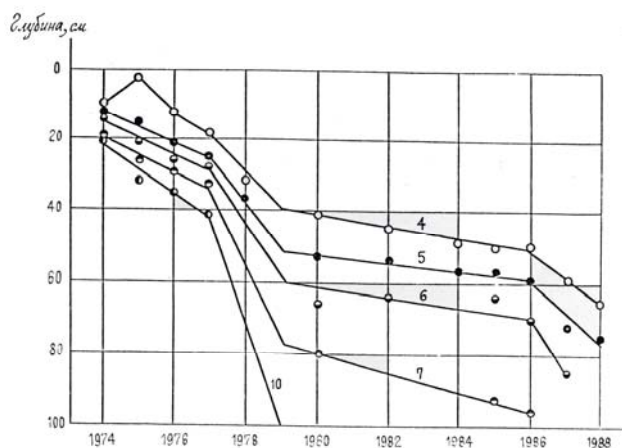


Рис. 1. Динамика изобар осмотического давления почвенных растворов на лугово-черноземных солонцах.
(Цифры означают величину давления в атмосферах).

Ежегодное осеннее рыхление на глубину 25-27 см создает пористое строение обрабатываемого слоя, способного впитать весной основную массу накопленных за зиму осадков как на гипсованных, так и на контрольных делянках. По мере рассоления почвенного профиля растет и мощность корнеобитаемого слоя солонцов. На гипсованных делянках это стабилизирует урожайность возделываемых культур на более высоком уровне из-за роста густоты всходов возделываемых культур. Так, густота всходов ячменя (Z , шт/м²) линейно уменьшается с увеличением твердости почвенной корки (P , кг/см²) на поверхности солонцов:

$$Z = 191 - 14,3 \cdot P, r = 0,887; t_p = 8,80; t_{0,1\%} = 3,82; n = 23.$$

В свою очередь, определяющее влияние на формирование почвенной корки, помимо погодных условий, оказывает обменный натрий [4, 6]. Взаимосвязь между этими параметрами чаще всего экспоненциальная. Увеличение обменного натрия на 4,5-6,0 % повышает твердость почвенной корки в 2 раза.

Установлено, что процессы рассолонцевания после 14-летнего сельскохозяйственного использования лугово-черноземных солонцов затронули на гипсованных делянках метровую толщу почвенного профиля, на контрольных – 75-сантиметровую глубину. И на лугово-каштановых и каштановых солонцах с выпадением около 300 мм осадков в год гипсование также - высокоэффективный одноразовый прием. В слое почвы 0-20 см размеры вытеснения обменного натрия гипсом и фосфогипсом в 3-4 раза выше, чем карбонатом кальция.

Влияние способов внесения фосфогипса (поверхностно, под вспашку, дробно) на твердость почвенной корки, КИ мелиоранта, всхожесть и урожайность ячменя было близким, хотя и отмечалась тенденция к повышению всхожести при поверхностной заделке мелиоранта, а урожайности – при внесении его под вспашку и дробно (одна половина дозы под вспашку, другая – поверхностно под лущильник).

По сравнению с поверхностным внесением при этих способах растения полнее используют фосфор фосфогипса, отмечается более интенсивное рассолонцевание слоя почвы 20-40 см. Наиболее эффективно внесение фосфогипса на мало- и средненатриевых солонцах (табл. 3). Положительная роль мелиоранта, внесенного под вспашку на темно-каштановой почве, связана с обогащением ее подвижным фосфором.

3. Урожайность зерна ячменя в зависимости от внесения фосфогипса на почвах каштанового солонцового комплекса (в среднем за 1984-1987 гг.), ц/га (Окорков, Верещагин, 1987)

Вариант опыта	Почва			В среднем по варианту
	темно-каштановая	остаточный солонец	малонатриевый солонец	
1. Рыхление на 30-33 см	17,4	15,2	9,2	13,9
2. Фосфогипс, 5 т/га под вспашку на 30-33 см	19,0	16,2	14,8	16,7
3. Фосфогипс под рыхление на 30-33 см	18,5	16,0	14,3	16,3
Среднее	18,3	15,8	12,8	-
НСР ₀₅ , ц/га	1,6			
НСР ₀₅ , ц/га: способа внесения фосфогипса	0,9			
почвенной разности	0,9			

На лугово-черноземных средненатриевых солонцах (совхоз «Новорыбинский») не выявлено преимуществ влияния увеличения степени крошения почвы и интенсивности ее перемешивания с фосфогипсом на скорость мелиоративного процесса и урожайность ячменя. Степень крошения почвы, достигаемая вспашкой плугом, достаточна для успешного протекания мелиоративного процесса. На скорость последнего не влияла и степень измельчения фосфогипса.

Изучение эффективности применения различных доз гипсосоудержащих мелиорантов, закономерностей взаимодействия их с ППК солонцов проводили: в черноземной зоне в трех полевых и одном микрополевым опытах, в каштановой – в микрополевым, полевом и производственном опытах. Результаты исследований подтвердили правомерность использования для расчета оптимальных доз фосфогипса и гипса формулы $\Gamma = 0,086 \cdot Vh \cdot (Na - 0,1E)/K$,

где Γ – доза гипса, т/га; V – объемная масса мелиорируемого слоя почвы, г/см³; h – мощность мелиорируемого слоя почвы, см; Na – содержание обменного натрия, мг-экв/100 г почвы; E – емкость обмена почвы, мг-экв/100 г; K – коэффициент использования гипса на вытеснение обменного натрия с учетом подключения к мелиоративному процессу карбоната кальция почвы.

Для мало-, средне- и многонатриевых солонцов величины K соответственно равны 0,70; 0,80 и 0,90.

При заделке мелиорантов под вспашку мощность мелиорируемого слоя совпадает с ее глубиной (25-30 см); при внесении под глубокое рыхление её можно уменьшить до 20 см. Данные о тесной взаимосвязи прибавок урожаев с содержанием обменного натрия в слое 0-20 см подтвердили правильность установленной мощности гипсуемого слоя почвы.

Наиболее высокая окупаемость 1 т фосфогипса прибавкой зерна ячменя установлена при применении оптимальных доз фосфогипса. Отмечена несколько более высокая скорость рассоления и рассолонцевания при внесении полной дозы мелиоранта, эквивалентной содержанию обменного натрия.

Химическая мелиорация рекомендуется на лугово-степных и степных мало- и средненатриевых глубококарбонатных и малонатриевых распаханых высококарбонатных глубокогипсовых солонцах, средне- и многонатриевых высококарбонатных глубокогипсовых солонцах. Наиболее эффективно осваивать солонцы нейтрального типа не выше средней степени засоления.

Комплексные приемы химической мелиорации рекомендуют на глубокогипсовых высококарбонатных средне- и многонатриевых солонцах. Они основаны на совместном применении глубоких мелиоративных обработок (на 35-40 см), вовлекающих в солонцовый горизонт карбонат кальция, и небольших доз фосфогипса, обеспечивающих улучшение припосевного слоя и благоприятные условия для получения нормальных всходов растений в первые годы мелиорации. В последующем рассолонцевание более глубоких слоев протекает за счет карбоната кальция почвы.

Установлено, что период снижения содержания обменного натрия в 2 раза в слое почвы 0-20 см при вспашке на 25-27 см и мелиоративных обработках (трехъярусная и плантажная) на 40-42 см составляет, соответственно, 17-21 и 11-13 лет, при гипсовании – 4,6 и 9,7 лет. За 7 лет процессы вытеснения обменного натрия из ППК затронули 60-70-сантиметровую глубину. Не выявлено особых преимуществ какой-либо обработки и гипсования при протекании этого процесса на глубине 30-70 см.

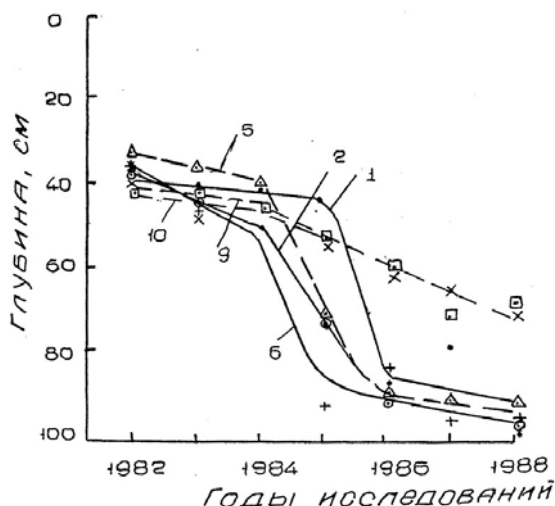


Рис. 2. Влияние комплексных приемов мелиорации лугово-черноземного солонца на динамику изобары почвенного раствора с осмотическим давлением 5 атм: 1 – трехъярусная обработка на глубину 40-42 см; 2 – то же + 7,5 т/га фосфогипса; 5 – плантажная вспашка на глубину 40-42 см; 6 – то же + 7,5 т/га фосфогипса; 9 – вспашка на глубину 25-27 см; 10 – то же + 7,5 т/га фосфогипса

Из-за большей мощности водовмещающего слоя для талой воды рассоление почвенного профиля по мелиоративным обработкам по сравнению со вспашкой на 25-27 см протекало интенсивнее (рис. 2). На гипсованных делянках по мелиоративным фонам скачок в рассолении почвы наблюдался раньше, чем на контрольных. Различия в мощности рассоленного корнеобитаемого слоя почвы были основной причиной колебания урожайности ячменя во второй ротации зернопарового севооборота (табл. 4).

4. Урожайность зерна ячменя под влиянием комплексной мелиорации лугово-черноземных солонцов, ц/га

Вариант опыта	1982 г.	1983 г.	1984 г.	1986 г.	1987 г.	1988 г.	В среднем за 1982-1988 гг.
1. Вспашка ПТН-3-40 на 40-42 см	3,9	7,3	8,7	21,9	21,1	19,1	13,7
2. То же + фосфогипс, 7,5 т/га	7,8	11,5	11,4	23,0	22,3	21,6	16,3
3. То же + фосфогипс, 7,5 т/га + 60 т/га навоза	7,8	10,6	12,7	23,5	21,4	20,9	16,2
4. То же + навоз, 60 т/га	6,3	7,6	12,1	23,7	20,9	21,0	15,3
5. Вспашка ППН-4-40 на 40-42 см	4,7	6,7	8,8	23,8	21,4	20,2	14,3
6. То же + фосфогипс, 7,5 т/га	8,1	10,7	12,0	25,5	22,5	20,4	16,5
7. То же + фосфогипс, 7,5 т/га + 60 т/га навоза	9,3	9,3	12,2	25,0	22,1	22,4	16,7
8. То же + навоз, 60 т/га	6,5	7,5	12,0	24,8	20,7	18,5	15,0
9. Вспашка ПН-8-35 на 25-27 см	4,0	4,7	8,1	18,5	14,7	9,3	9,9
10. То же + фосфогипс, 7,5 т/га	7,7	7,9	10,2	19,6	20,3	18,0	14,0
11. То же + фосфогипс, 7,5 т/га + 60 т/га навоза	8,2	8,8	11,5	19,8	19,7	18,4	14,4
12. То же + навоз, 60 т/га	6,9	5,5	12,0	19,8	14,3	10,1	11,4
НСР ₀₅ , ц/га	1,9	1,0	2,3	2,5	1,8	3,3	2,1
НСР ₀₅ , ц/га: обработки	0,9	0,5	1,2	1,2	0,9	1,6	1,0
мелиоранта	0,7	0,4	1,0	1,0	0,7	1,3	0,8
навоза	0,7	0,4	1,0	1,0	0,7	1,3	0,8

В 1-й ротации 4-польного зернопарового севооборота урожайность зерна ячменя определялась мелиоративным и удобрительным действием фосфогипса, удобрительным (в качестве источника фосфора) действием навоза. Удобрительная ценность навоза и фосфогипса проявилась лишь в первой ротации севооборота, а их совместное применение не имело преимуществ перед внесением только фосфогипса. Положительное мелиоративное действие последнего на урожайность культуры по вспашке отмечалось в течение двух ротаций.

По фону плантажной вспашки на 40-42 см скачок в урожайности ячменя отмечен при поверхностном внесении 5 т/га фосфогипса. Эта доза близка к теоретической (5,5 т/га), рассчитываемой на мелиорацию 0-15-сантиметрового слоя по средневзвешенному содержанию обменного натрия в слое 0-40 см за вычетом 10 % его от емкости обмена и с учетом коэффициента использования мелиоранта.

Основным фактором, снижающим плодородие и окупаемость удобрений на преобладающих в Нечерноземной зоне дерново-подзолистых почвах, является недостаточная мощ-

ность корнеобитаемого слоя для возделываемых культур. Это связано с повышенной кислотностью и токсичным влиянием на развитие корневых систем полевых культур в подпахотных горизонтах подвижных форм алюминия, железа и марганца. При длительном отсутствии дождей, когда запасы продуктивной влаги в пахотном слое исчерпываются, а корни растений не в состоянии проникать в глубокие слои почвы из-за токсичного действия названных соединений, происходит резкое снижение продуктивности культур и окупаемости удобрений [2, 7-9].

Зарубежные исследователи для увеличения мощности корнеобитаемого слоя кислых почв предлагают использовать фосфогипс. Передвигающиеся вниз по профилю почвы сульфат-ионы растворенного гипса снижают концентрацию подвижного алюминия за счет образования новой твердой фазы (урбанита), различных комплексных соединений Al с сульфат-ионами, в результате специфической адсорбции сульфатов поверхностной твердой фазы и последующей хемосорбции Al и Fe [13-15].

По нашему мнению, мощность корнеобитаемого слоя почвы должна возрастать и в результате известкования, особенно повышенными дозами. Образующиеся при растворении известии карбонат-ионы подвергаются щелочному гидролизу с образованием гидроксил- и бикарбонат-ионов. Первые связывают ионы водорода гидролитической кислотности в малодиссоциированное соединение (воду), нейтрализуют обменные формы кислотности пахотного горизонта, вторые в виде бикарбоната кальция способны передвигаться вниз по профилю и связывать токсичный обменный Al в нетоксичные соединения, взаимодействовать с гидроксидами железа и алюминия, формируя отрицательный заряд на их поверхности в виде карбонатов железа и алюминия.

Более высокая мощность корнеобитаемого слоя дерново-подзолистых почв позволит возделываемым культурам без значительного ущерба для урожая и качества продукции переносить длительную засуху, стабилизировать их продуктивность на более высоком уровне, повышать окупаемость удобрений, как это наблюдается на серых лесных почвах Владимирского ополья.

Механизм взаимодействия доломитовой муки и гипса с поглощающим комплексом В₁-горизонта дерново-подзолистой почвы изучали в динамических условиях в колонках, в два верхних слоя которых вносили разные виды и дозы мелиорантов (табл. 5) [10]. Через колонку пропускали порциями (по 32-40 мл) 500 мл воды, что соответствовало выпадению половинной нормы годовых осадков.

По сравнению с контрольной колонкой (без мелиоранта) применение половинной дозы доломитовой муки снизило показатели кислотности лишь в слоях внесения (0-10 и 10-20 см): Н_Г в 2 раза (с 8,5-8,7 до 4,3-4,4 мг-экв/100 г почвы), обменную кислотность и обменный алюминий в 4-6 раз. Эта доза мелиоранта не обеспечивала понижения обменного алюминия до нетоксичной для растений величины (менее 3-5 мг/100 г почвы) и повышения степени насыщенности основаниями более 80 %. Мелиорант на снижение Н_Г почвы был использован на 93,2 %. В силу этого в ниже расположенных слоях не установлено влияние половинной дозы на изменение физико-химических свойств почвы.

Полная доза мелиоранта в условиях опыта также растворилась полностью. Ее применение обеспечило улучшение всех физико-химических показателей в слое внесения до безвредных значений. Коэффициент использования мелиоранта на снижение Н_Г в слое почвы 0-20 см составил 75, а 5,8 % мелиоранта затрачено на снижение Н_Г в слое почвы 20-24 см. При применении полной дозы доломитовой муки наблюдали снижение разных форм кислотности глубже слоя внесения мелиоранта.

В то же время, несмотря на более высокую растворимость в воде гипса (примерно на 2 порядка) по сравнению с карбонатом кальция и тем более с доломитовой мукой, влияние применения полной дозы гипса на снижение гидролитической кислотности было в 5-5,8 раз ниже полной дозы доломитовой муки, в 3,3 раза ниже половинной дозы. По сравнению с доломитовой мукой гипс весьма слабо снижал и обменную кислотность (на 11,0-6,5 % в слоях колонки 0-10 и 10-20 см).

5. Влияние доломитовой муки и гипса на физико-химические свойства В₁-горизонта дерново-подзолистой почвы

Вариант опыта	Слой колонки, см	S мг-экв/100 г почвы	Н _Г	Н _{ОБМ}	ЕКО	рН _{КС}	Al _{ОБМ} , мг/100 г почвы
Контроль	0-10	6,77	8,66	4,01	15,43	3,74	34,8
	10-20	7,05	8,49	4,00	15,54	3,73	33,8
	20-30	6,30	8,40	4,20	14,70	3,73	36,0
	30-40	5,92	8,22	3,80	14,14	3,72	30,7
Гипс в слой 0-20 см по 1,0 Н _Г	0-10	7,50	7,17	3,56	14,67	3,67	26,64
	10-20	6,50	7,70	3,74	14,20	3,64	23,76
	20-30	6,20	8,05	3,84	14,25	3,58	32,76
	30-40	6,47	8,22	3,80	14,70	3,57	31,70

Доломитовая мука в слой 0-20 см по 0,5 Н _Г	0-10	11,3	4,29	1,01	15,59	4,30	8,75
	10-20	11,4	4,37	0,71	15,77	4,20	5,29
	20-30	7,24	8,84	4,42	16,08	3,73	36,0
	30-40	6,86	9,10	4,20	15,96	3,70	36,0
Доломитовая мука + гипс в слой 0-20 см по 0,5 Н _Г	0-10	10,0	3,50	0,36	13,50	4,31	2,88
	10-20	10,6	3,67	0,40	14,27	4,20	3,24
	20-30	7,15	8,38	3,66	15,53	3,53	32,04
	30-40	7,27	7,70	3,90	14,97	3,54	33,30
Доломитовая мука в слой 0-20 см по 1,0 Н _Г	0-10	13,63	1,84	0,04	15,47	5,31	0,18
	10-20	13,82	1,66	0,04	15,48	5,40	0,18
	20-24	9,37	5,77	2,40	15,14	Не опр.	20,9
	24-30	7,33	8,57	5,00	15,90	3,80	44,1
	30-40	6,58	8,57	5,21	15,15	3,74	45,0
Доломитовая мука в слой 0-20 см по 2,0 Н _Г	0-10	14,25	1,22	0,04	15,47	Не опр.	Нет
	10-20	14,26	1,22	0,04	15,48	То же	>>
	20-30	7,14	8,49	4,80	15,63	3,84	42,5
	30-40	6,58	8,40	5,48	14,98	3,74	45,7

При применении гипса содержание обменного Al в слоях колонки 0-10 и 10-20 см по сравнению с контролем уменьшилось на 26,5 %, а при внесении доломитовой муки в половинной дозе – на 80, в полной дозе – на 99,5 %.

В двух верхних слоях колонки сочетание половинных доз гипса и доломитовой муки по сравнению с половинной дозой последнего мелиоранта обеспечивало снижение обменного алюминия до нетоксичной для большинства растений величины (с 8,75-5,29 до 2,88-3,24 мг/100 г почвы), способствовало дальнейшему снижению кислотности: гидролитической с 4,30-4,40 до 3,50-3,67, обменной – с 0,71-1,01 до 0,36-0,40 мг-экв/100 г почвы; слабо влияло на рН_{КС}.

Двойная доза доломитовой муки по сравнению с одинарной не способствовала дальнейшему улучшению физико-химических свойств изучаемой почвы, так как около 40 % внесенного мелиоранта осталось нерастворенным. Однако в этом случае создавались условия для улучшения физико-химических свойств слоев почвы 20-30 и 30-40 см при дальнейшем увлажнении почвы.

Несмотря на более высокую растворимость в воде гипса по сравнению с доломитовой мукой, соответственно и более высокую концентрацию двухвалентных ионов кальция и магния в жидкой фазе, при применении гипса снижение как обменной, так и гидролитической кислотности было далеко не эквивалентным внесенной дозе мелиоранта. Обменная кислотность на 94-96 % была обусловлена ионами алюминия, а Н_Г на 55-56 % – ионами водорода, преимущественно слабых кислотных групп органического вещества. Очевидно, ионы кальция гипса были не в состоянии вытеснить как обменный алюминий, так и ионы водорода слабых кислотных групп органического вещества. Один из механизмов действия гипса на снижение обменной кислотности горизонта В₁, по нашему мнению, обусловлен образованием подвижных комплексов алюминия с сульфат-ионами и их передвижением с током влаги в более глубокие слои.

На контроле и при внесении половинной и полной доз доломитовой муки с фильтратом выносятся сравнительно близкое количество двухвалентных катионов Ca²⁺ и Mg²⁺, а при применении двойной дозы – почти в 2 раза более высокое. Средняя концентрация двухвалентных катионов в фильтрате на контроле и возрастающих доз мелиоранта составила, соответственно, 1,05; 1,13; 1,47 и 2,13 мг-экв/л.

В колонке с полной дозой гипса с инфильтрующейся влагой вынесено 7,22 мг-экв сульфат-ионов, 7,10 кальция и магния и 0,50 мг-экв (4,5 мг) ионов алюминия. Средняя концентрация сульфат-ионов в жидкой фазе по четырем порциям

составила 50,7 мг-экв/л. Концентрация фильтрата в 20-40 раз более высокая, чем в колонках с доломитовой мукой. Она обладает высоким коагулирующим действием на почвенные коллоиды. Поэтому смеси фосфогипса и карбоната кальция эффективны на кислых склоновых серых лесных почвах, характеризующихся высокой предрасположенностью к водной эрозии.

Снижение разных форм почвенной кислотности за счет полной дозы доломитовой муки и при комплексном использовании половинных доз ее и гипса установлено и в слоях глубже слоя внесения мелиоранта. Более высокий эффект в нижних слоях почвы отмечен при комплексном использовании мелиорантов.

На сильнокислых почвах применение одного гипса в качестве мелиоративного средства снижения гидролитической и обменной кислотности малоэффективно. В качестве основного мелиоранта необходимо использовать традиционные гидролитически щелочные кальциевые соли или основания (пушонка). Для экономии основных мелиорантов можно дополнять их более дешевыми гипсосодержащими. Комплексное применение на кислых почвах гидролитически щелочных и гипсосодержащих мелиорантов позволит быстрее увеличить мощность благоприятного для растений корнеобитаемого слоя, полнее обеспечить их серой, а также фосфором при использовании в качестве гипсосодержащего компонента фосфогипса. При использовании последнего улучшается экологическое состояние вблизи предприятий по производству фосфорных удобрений.

Литература

1. Аришавская В.Ф., Бойков В.И., Савченко Т.И. Использование фосфогипса на почвах с повышенной кислотностью: Обзорная информация// ВНИИТЭИагропром.- М., 1992. – 48 с. 2. Известкование кислых почв// Под ред. Н.С. Авдониной, А.В. Петербургского, С.Г. Шедерова.- М.: Колос, 1976. – 304 с. 3. Кардиналовская Р.И. Реакция сельскохозяйственных культур на улучшение серного питания //Химия в сельском хозяйстве.- 1984.- № 3. – С. 21-30. 4. Окорков В.В. Коллоидно-химические исследования солонцов Северного Казахстана и опыт их химической мелиорации// Автореф. дис. ...доктора с.-х. наук.- М., 1990. – 39 с. 5. Окорков В.В. Солонцы и их коллоидно-химическая природа.- Владимир: Изд-во РАСХН, 1994. – 240 с. 6. Окорков В.В. Использование гипса на солонцах.- Суздаль: Изд-во РАСХН, 1995. – 282 с. 7. Окорков В.В. Состояние плодородия почв и пути его стабилизации в современных условиях//Владимирский земледелец.- 2002.- № 1 (26).- С. 14-17. 8. Окорков В.В. Перспективы и пути использования фосфогипса для повышения плодородия кислых почв.- Владимир, 2007. – 76 с. 9. Окорков В.В., Коннов Н.П. Основы химической мелиорации кислых почв. –Владимир, 2008. – 248 с. 10. Окорков В.В., Окоркова Л.А. О взаимодействии извести и гипса с ППК кислых почв// Владимирский земледелец.- 2012.- № 1 (59). – С. 2-6. 11. Рекомендации по использованию смесей известковых материалов с фосфогипсом для химической мелиорации кислых почв.- М.: ЦИНАО, 1987. – 37 с. 12. Рекомендации по использованию фосфогипса для мелиорации солонцов.- М.: Почвенный ин-т имени В.В. Докучаева, 2006. 13. Farina M.P.W., Channon P. Acid-subsoil amelioration II. Gypsum effects on growth and subsoils chemical properties. Soil Sci. Soc. Am. J., 1988, № 52. P. 175-180. 14. Radcliffe D.E., Clark R.L., Sumner M.E. Effect of gypsum and deep rooting perennials on subsoil mechanical impedance. Soil Sci. Soc. Am. J., 1986, № 50. P. 1566-1570. 15. Reeve N.G., Sumner M.E. Amelioration of subsoil acidity in Natal Oxisols by leaching surface applied amendments. Agrochimophysics 4, 1972. – P. 1-6.

USE OF PHOSPHOGYPSUM IN THE AGRICULTURE

V.V. Okorkov

Vladimir Research Institute of Agriculture,
ul. Tsentral'naya 3, Novyi, Suzdal raion, Vladimir oblast, 601261 Russia

Problems in the integrated application of gypsum-containing ameliorants on solonchic and acidic soils, which significantly improves the growing conditions of plants and their supply with sulfur and phosphorus, have been studied. It has been shown that the application of phosphogypsum improves the ecological conditions near the enterprises for the production of phosphoric fertilizers.

Keywords: phosphogypsum, ameliorants.