

УДК 631.26

## ОПТИМИЗАЦИЯ КИСЛОТНО-ОСНОВНОГО СОСТОЯНИЯ КИСЛЫХ СУЛЬФАТНЫХ ПОЧВ

В.И. САВИЧ, ФАМ ВЪЕТ ХОА, ГОДОНУ МАРСЕЛЬ

(Кафедра почвоведения)

Предлагается рассчитывать дозу извести для исследуемых почв исходя из того, что она должна обеспечить устранение токсичных концентраций  $Fe^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$ ,  $Al^{3+}$  в почве, создание заданных значений рН, отношений  $Ca:Mg$ ,  $Ca:K$ ,  $(Ca+Mg):(Fe+Mn)$ , ферментативной и микробиологической активности. Показана возможность использования для поиска оптимальных значений рН системы обратной связи: введение элементов ( $H^+$  и  $OH^-$ ) в суспензию почв — идентификация ответной реакции выращиваемых на суспензии растений по параметрам фотосинтеза.

Кислые сульфатные почвы (рН 2,2—2,7) характеризуются токсичным содержанием обменного  $Al$ , высоким содержанием солей, близким уровнем залегания засоленных грунтовых вод. Они подтопляются водами моря. Разработка способов оптимизации свойств таких почв должна основываться на данных углубленного изучения протекающих в ней процессов, физико-химическом и математическом их описании.

Высокая кислотность исследуемых почв, засоленность, солонцеватость, наличие токсичных концентраций  $Al$  не дают возможности выращивать на них сельскохозяйственные культуры без мелиорации. Оптимизация свойств почв может быть достигнута с использованием ком-

плексного воздействия: а) нейтрализации почв путем внесения  $CaCO_3$ , осаждения  $Fe$ ,  $Al$ ,  $Mn$ , активизации ферментативной и микробиологической деятельности; б) локального внесения регуляторов Ox-Red состояния, содержащих окисленные группировки; в) промывки почв в сухой сезон смесью речных, атмосферных и морских вод, так как количества атмосферных и речных вод недостаточно. При этом как промывка почв водами с более нейтральной реакцией среды, чем реакция почвы, так и внесение  $CaCO_3$  приводят к уменьшению кислотности почв, что позволяет получить планируемый урожай культур. В то же время доза  $CaCO_3$ , необходимая для нейтрализации кислотности исследуемых

почв, не может быть рассчитана только с учетом гидролитической кислотности и pH среды. При преобладании в почвах каолинита они имеют небольшую плотность отрицательного заряда и в связи с этим сильнокислую реакцию среды при относительно небольшом количестве обменных ионов  $H^+$ . Это обусловлено высокой константой диссоциации кислых функциональных групп. При наличии в почвах повышенного количества гидроокисей железа и алюминия данные по определению гидролитической кислотности с использованием  $CH_3COONa$  являются неточными в связи с явлением комплексобразования  $CH_3COO^-$  с поливалентными металлами. В то же время для плодородия почв, роста, развития сельскохозяйственных культур в ряде случаев важна не только сама кислотность почв, а изменение под влиянием ионов  $H^+$  агрономически важных ее свойств: содержание подвижного Fe, Al, Mn, структуры почв, ее биологической активности, доступности растениям элементов питания [5].

Расчет доз извести для исследуемых почв недостаточно проводить только по pH среды и гранулометрическому составу, гидролитической кислотности. Следует учитывать дозу извести, необходимую для осаждения Al,  $Mn^{2+}$ ,  $Fe^{2+}$ , создания в почве оптимальных соотношений Ca:Na, Ca:K, Ca:Mg, оптимальной ферментативной и микробиологической активности [5]. При промывке почв водами, содержащими Na, в них убывает количество обменного Ca, уменьшается соотношение Ca:Na, Ca:Mg. Это вызывает необходимость внесения  $CaCO_3$  для оптимизации состава обменных кати-

онов ППК, так как при нейтрализации реакции среды в почве может быть велика доля обменных  $Na^+$ ,  $Mg^{2+}$ . Очевидно, целесообразна и мелиорация поливных вод — увеличение в них доли  $Ca^{2+}$  за счет внесения  $CaCO_3$ .

### Методика

Исследования проводились с 1986 по 1994 г. на кафедре почвоведения Тимирязевской академии, в Московском гидромелиоративном институте, на оросительной системе во Вьетнаме [6]. Объектом изучения были кислые сульфатные почвы рисовых полей; горизонты разрезов 1, 2, 3 до глубины 1 м. Это почвы глинистого гранулометрического состава, среднеплотные, очень кислые, со значительным содержанием обменного Al, Cl и  $SO_4$ , солонцеватые. Емкость поглощения катионов — 10—15 мг · экв на 100 г, сумма водорастворимых солей — от 0,2—0,5 до 1%; содержание гумуса — 1,3—2,5%.

Вначале были проведены углубленные исследования свойств почв в лаборатории и в модельных опытах, затем осуществлена проверка разработанных рекомендаций в полевых условиях на оросительной системе.

В лабораторных условиях определяли гранулометрический состав, агрохимические и физико-химические свойства почв, валовой состав, минералогический состав, содержание водорастворимых соединений Fe, Mn, Cu, Zn, Ca, Mg, ферментативную и микробиологическую активность почв по общепринятым методикам. Активность ионов  $NO_3^-$ , Ca, H, F была определена с использованием ионоселективных электро-

дов в соответствии с методиками, изложенными Д. Мидгли (1980), содержание Al — непрямым титрованием с F-электродом.

В модельных экспериментах изучено изменение подвижности катионов, ферментативной и микробиологической активности, фотосинтеза выращиваемых растений в зависимости от доз CaCO<sub>3</sub> — от 4 до 16 т/га в пересчете на Ca(OH)<sub>2</sub>.

При использовании сконструированной установки [6] в лаборатории МГМИ оценено изменение свойств почв при промывке их смесью речных, морских, дождевых вод заданного состава при регулировании водного и теплового режимов, приближенных к режимам в естественных условиях.

На опытно-производственном участке (18 га), занятом рисом NN 8, определен состав оросительных и дренажных вод, изучены изменения свойств почв под влиянием их промывки речными водами. Уровень грунтовых вод на данном участке 0,4—0,6 м. Агротехника возделывания риса и внесения удобрений соответствовали производственным условиям. Внесено 10 т птичьего помета на 1 га и 60N60P40K.

### Результаты

По полученным нами данным, известкование почв приводило к резкому уменьшению обменной кислотности, обусловленной Al<sup>3+</sup>, — с 0,5±0,2 до 0,03±0,01 мг экв/100 г, уменьшению водорастворимого и обменного алюминия — соответственно с 0,3±0,1 до 0,05±0,01 и с 2,2±0,7 до 0,4±0,02 мг на 100 г. Значительно снизилась концентрация водорастворимых соединений Fe, Mn, Cu. Так, при pH 4,1±0,1 содер-

жание водорастворимых соединений Fe, Mn, Cu составило 5,4±0,3, 1,0±0,3 и 0,16±0,13 мг/л, а при доведении pH в результате известкования до 4,9±0,3 — соответственно 2,5±2,5, 0,3±0,1 и 0,04±0,01.

В то же время при добавлении Ca(OH)<sub>2</sub> содержание водорастворимых Mg и Zn существенно не менялось. Так, при внесении в почву данного соединения значение pH изменялось от 4,2±0,1 до 5,7±0,3; концентрация водорастворимого Ca — от 48,2±10,2 до 103,8±9,7, а водорастворимых Mg и Zn — соответственно от 26,0±0,9 до 25,5±0,3 и от 0,5±0,2 до 0,5±0,2. Принятое соотношение почва : H<sub>2</sub>O 1 : 2. Значение Eh почв при этом уменьшалось с 288,9+37,7 до 247,8+3,2 мв по хлоросеребряному электроду, однако степень окисленности системы даже увеличилась. Значение Eh<sub>2</sub> изменилось от 25,1 до 26,7, а при внесении большей дозы мелиоранта оно еще более возросло.

Внесение мелиоранта в дозе 4—12 т/га привело к существенному изменению ферментативной и микробиологической активности почвы. Так, активность ферриредуктазы повысилась от 1,3±0,4 до 2,2±0,6, а отношение активностей ферриредуктазы и каталазы — от 0,3 до 1,7. Численность аммонифицирующих бактерий на МПА увеличилась от 0,18±0,01 до 51,0±6,9 млн на 1 г, усваивающих минеральный азот на КАА — от 12,3 до 210,0±43,9; содержание спорообразующих бактерий — от 0—30 до 126,7±24,5 млн на 1 г. В то же время содержание микроскопических грибов изменилось в меньшей степени — от 4,5±2,1 до 9,4±0,5 тыс. на 1 г.

Известкование почв в различной

степени изменило как рН отдельных горизонтов, так и их свойства. Почвы обладают определенной буферностью в кислотно-основном интервале, однако значение этого показателя может не коррелировать с буферностью почв по отношению к изменению подвижности Са, Fe, Mn, Al и т.д. в связи с изменением рН. При внесении Са(ОН)<sub>2</sub> в дозе 8 т/га и компостировании почв в условиях оптимальной влажности в течение 2 нед значения рН<sub>вод</sub> для горизонтов 0—30, 30—60 и 60—85 см составили 4,9, 5,6 и 6,6; ΔрН — соответственно +0,8, +1,4 и +2,3; а ΔрН на 1 т СаСО<sub>3</sub> — 0,10, 0,17 и 0,28.

Как видно из представленных данных, наибольшим изменением рН при внесении Са(ОН)<sub>2</sub> было в нижнем горизонте. Для этого же горизонта характерно и максимальное значение ΔрН на 1 т СаСО<sub>3</sub>. С увеличением доз Са(ОН)<sub>2</sub> значение ΔрН на 1 т СаСО<sub>3</sub> в пересчете с Са(ОН)<sub>2</sub> на СаСО<sub>3</sub> уменьшалось. Для сельскохозяйственного производства важно значение ΔрН на 1 т СаСО<sub>3</sub>, необходимое для достижения нейтральных уровней кислотности. Полученные нами значения 0,1—0,3 близки к приведенным в литературе [2] для почв бореального пояса.

В модельных опытах с разными дозами СаСО<sub>3</sub> значительное улучшение свойств почв отмечалось при дозе 8 т/га. Известно [3], что на дерново-подзолистых почвах для изменения рН<sub>сол</sub> от < 4,6 до оптимума требуется внесение 13,6 т СаСО<sub>3</sub> на 1 га. Для почв аналогичного тяжелосуглинистого состава и гумусированности меньше 2% изменение значений рН<sub>сол</sub> от < 4,5 до 5,8 достигается при дозе СаСО<sub>3</sub> 9 т/га [1]. С

учетом величины ΔрН на 1 т СаСО<sub>3</sub> для оптимизации рН этих почв необходима доза СаСО<sub>3</sub> 9 т/га.

Как видно из табл. 1, в верхних горизонтах исследуемых почв их буферные свойства по отношению к Са варьируют значительно больше, чем в нижних, что, видимо, обусловлено неравномерным внесением удобрений и разными условиями водного режима на участках рисового чека. Повышение буферных свойств почв по отношению к Са в верхнем горизонте по сравнению с нижним, по-видимому, связано с большей его гумусированностью. При увеличении дозы Са (в расчете на единицу добавленного Са) изменение концентрации Са в почвенном растворе уменьшается. Это, видимо, свидетельствует не о более прочной связи Са с ППК при увеличении его концентрации в почвенном растворе, а об образовании СаСО<sub>3</sub>, так как значения рН при такой дозе Са(ОН)<sub>2</sub> достигают 7,2—8,5. Но и при более высокой дозе Са(ОН)<sub>2</sub> буферность верхнего горизонта к Са выше, чем нижних.

Отношение ΔСа (мг/л) к 1 т СаСО<sub>3</sub> колеблется от 1,2 до 16,8 при возможных для производства дозах СаСО<sub>3</sub> (до 8 т/га). Буферность почв по отношению к Са выше в верхних горизонтах по сравнению с нижними, однако в этих горизонтах отмечается большее изменение Eh, концентраций водорастворимых Fe, Mn, Cu, Zn при нейтрализации среды.

Таким образом, при известковании почв разные агрономически важные их свойства изменяются неодинаково. При улучшении одних показателей (рН, микробиологической и ферментативной активности) может

**Буферные свойства отдельных горизонтов исследуемых почв  
по отношению к Са (Са, мг/л)**

Горизонт	Контроль	Са, мг/л		ΔСа	
		+10 мг Са(ОН) <sub>2</sub>	+40 мг Са(ОН) <sub>2</sub>	1—2	2—3
A <sub>n</sub>	66,5±28,3	105,9±18,3	144,7±42,4	39,4	38,8
B <sub>1</sub>	42,5±13,7	126,0±16,1	174,1±16,6	83,5	48,1
B <sub>2</sub>	35,7±6,2	79,6±2,7	127,3±8,9	43,9	47,7

наблюдается ухудшение других (уменьшение подвижности Mn, Zn, Ni, Cu и т.д.). С нашей точки зрения, для расчета доз извести с целью оптимизации свойств почв следует компостировать почву, используя различные дозы Са(ОН)<sub>2</sub> при одновременном определении рН, активности или содержания катионов и анионов в растворе, других свойств почв, влияющих на развитие растений. В этом случае по горизонтали откладываются дозы Са(ОН)<sub>2</sub> (или в пересчете СаСО<sub>3</sub>), а по вертикали — определяемые агрономически важные свойства почв. Естественно, что доза извести для оптимизации различных свойств почв будет неодинакова. Рекомендуемая производству доза определяется как такое количество извести, которое необходимо для оптимизации свойств почвы, в наибольшей степени лимитирует урожай и которое может обеспечить уровень рН, не вызывающий нарушения экологической обстановки, снижения плодородия почв. При этом положительный эффект известкования должен быть экономически оправдан.

Уменьшение кислотности почв за счет известкования — это борьба со следствием, а не с причиной. Рациональнее устранить причину появ-

ления в почвах повышенной кислотности, например, путем ограничения поступления в почву кислотных продуктов, ингибирования кислотообразования. В рассматриваемых почвах повышенная кислотность почв в значительной степени определяется высоким содержанием сернокислых солей Fe, Al, обменного Al. В этом случае уменьшение кислотности будет отмечаться при развитии анаэробнозиса при переходе Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> в FeS, а также при удалении SO<sub>4</sub> и обменных форм Al из верхнего слоя почвы в результате промывки водой.

По полученным данным, одним из перспективных приемов повышения плодородия почв является промывка их водами с нейтральной реакцией. Лучше промывать дождевой водой с минимальной степенью минерализации. Однако на практике это нереально. Приемлемо для промывки и речная вода, в которой содержание Na > (Са и Mg). Однако, как правило, и речной воды для полива не хватает и приходится использовать в указанных целях смесь вод с добавлением морской воды, минерализация которой доходит до 30 г/л. При этом важно выбрать допустимую долю морских вод в смеси поливных и наметить пути оптимизации их состава.

Нами проводились модельные и полевые эксперименты по промывке кислых сульфатных почв водами заданного состава: 1 — смесью дождевой

и речной воды 1 : 2; 2 — смесью морской, дождевой и речной воды 1 : 1 : 1; 3 — смесью морской и дождевой воды 2 : 1.

Т а б л и ц а 2

Содержание водорастворимых соединений (мг-экв/л) в почвах при промывке их разными смесями вод

Такт промывки	pH	Al <sup>3+</sup>	H <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>
<i>Речная и дождевая вода (2 : 1)</i>							
0	3,2±0,1	0,18±0,01	0,71±0,15	103,7±6,1	27,3±1,9	61,6±13,4	8,1±0,1
8	5,5±0,1	0,14±0,01	0,1±0,01	22,6±1,8	4,2±0,1	6,5±0,4	6,4±0,2
<i>Речная, дождевая и морская вода (1 : 1 : 1)</i>							
0	3,3±0,1	0,15±0,01	0,56±0,12	119,2±5,3	25,5±1,1	95,4±4,3	11,8±0,3
8	5,3±0,1	0,08±0,01	0,1±0,01	192,7±1,4	26,4±0,4	169,0±3,4	7,2±0,1
<i>Морская и дождевая вода (2 : 1)</i>							
0	3,3±0,1	0,09±0,01	0,51±0,07	73,5±4,5	25,0±0,9	93,9±1,4	17,5±0,1
8	5,4±0,1	0,07±0,01	0,1±0,01	367,3±2,0	47,4±0,58	316,4±1,5	13,8±0,2

Как видно из табл. 2, при промывке во всех случаях происходит уменьшение степени кислотности почвенного раствора, снижение концентрации Al. В то же время при добавлении в смесь морской воды в почвенном растворе увеличивается количество Na, Cl, SO<sub>4</sub>. Промывка почв речной, дождевой и морской водой (1 : 1 : 1) приводит к увеличению доли Ca в ППК, а отношение Ca : Na по сравнению с контролем меняется незначительно. Увеличение доли морской воды до 60% в смеси с дождевой водой приводит к значительному ухудшению свойств почв.

Таким образом, свойства кислых сульфатных рисовых почв могут быть улучшены при их промывке смесью вод, но доля морской воды не должна превышать 30%.

Изменения свойств почв при промывке зависят не только от химического состава промывных вод, но и от нормы промывки. В полевых

условиях мы промывали почву речной водой при норме 4000 м<sup>3</sup>/га. Это привело к нейтрализации среды в верхнем горизонте до pH 5,8—7,0, снижению содержания подвижных Al, H, Cl, что позволило получать дважды в году урожай риса по 35—40 ц/га.

Одним из перспективных способов определения доз извести для оптимизации свойств почв и развития культур является метод с использованием обратной связи — введение Ca(OH)<sub>2</sub> в суспензию почв, определение в аликвотных частях суспензии свойств почв и оценка активности фотосинтеза выращиваемых на этой суспензии растений [4]. Внесение в кислые почвы Ca(OH)<sub>2</sub>, естественно, повысило фотосинтез выращиваемых на них растений, что соответствовало снижению концентрации CO<sub>2</sub> в межклетниках и уменьшению устьичного сопротивления.

## Выводы

1. Известкование почв приводит к неоднозначному изменению для отдельных горизонтов значений рН, содержания подвижных ионов, биологической активности. При этом одни свойства почв могут оптимизироваться, другие ухудшаться.

2. Для определения доз извести в дополнение к известным методам целесообразно использовать компостирование почв с различными дозами Са(ОН)<sub>2</sub> при одновременном определении рН и агрономически важных свойств почв, в первую очередь содержания водорастворимых соединений Fe, Al, Mn, тяжелых металлов.

3. Изменение рН<sub>вод</sub> кислых сульфатных почв от 4,1 до 4,9 после внесения Са(ОН)<sub>2</sub> привело к уменьшению обменной кислотности, обусловленной Al, с 0,5±0,2 до 0,03±0,01 мг-экв на 100 г, уменьшению содержания обменного Al с 2,2±0,7 до 0,4±0,02 мг на 100 г, содержания водорастворимого Fe — от 5,4±5,3 до 2,5±2,5, Mn — от 1,0±0,3 до 6,3±0,1, Cu — от 0,16±0,13 до 0,04±0,01 мг/л. Содержание аммонифицирующих бактерий на МПА увеличилось с 0,18±0,01 до 51,0±6,9 млн на 1 г, усваивающих минеральный азот на КАА — с 12,3 до 21,0±43,9 млн на 1 г.

4. Промывка почв речной, дождевой и морской водой в соотношении

1 : 1 : 1 (т.е. до 30% морской воды) приводит к повышению рН и доли Са в ППК. Увеличение содержания морской воды в смеси до 60% приводит к значительному ухудшению свойств почв — увеличению содержания водорастворимых Cl, SO<sub>4</sub> и Na.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Артюшин А.И., Дерюгин И.П., Кулюкин А.Н., Ягодин Б.А.* Удобрение в интенсивных технологиях возделывания сельскохозяйственных культур. М.: Агропромиздат, 1991. — 2. Использование известковых удобрений в сельскохозяйственном производстве Московской области. — Метод. указания. М.: МСХ РСФСР, 1990. — 3. *Кулаковская Т.Н.* Оптимизация агрохимической системы почвенного питания растений. М.: Агропромиздат, 1990. — 4. *Савич В.И., Савич Л.В., Вишняков Ю.А.* Оценка предельно допустимой концентрации свинца в почве по активности фотосинтеза. — Докл. АН России, Общая биол., 1993, т. 333, № 1, с. 130—132. — 5. *Савич В.И., Трубицина Е.В., Колесов А.А.* Агрономическая оценка кислотно-основного равновесия почв. — Изв. ТСХА, 1993, вып. 4, с. 49—63. — 6. *Фам Вьет Хоа.* Кислые сульфатные почвы рисовых полей Вьетнама и способы их мелиорации. — Автореф. канд дис. М.: МСХА, 1994.

*Статья поступила 12 января 1995 г.*

## SUMMARY

It is suggested to calculate the dose of lime on the investigated soils as a level that is needed for eliminating toxic concentrations of Fe<sup>2+</sup>, Mn<sup>2+</sup>, Al<sup>3+</sup> in the soil, producing predetermined pH values, rations Ca:Mo; Ca:K; (Ca+Mo):(Fe+Mn), fermentation and microbiological activity. It is shown that feedback system may be used for searching optimal pH values: introducing H<sup>+</sup>, OH<sup>-</sup> into soil suspension — identification of response in plants grown on suspension by parameters of photosynthesis.