



Н. В. Клебанович, кандидат сельскохозяйственных наук
Белорусский НИИ почвоведения и агрохимии

УДК 631.415.1: 631.445.2(476): 631.416.9

Влияние кислотности дерново-подзолистых почв Беларуси на содержание подвижных форм микроэлементов

В пяти полевых и вегетационных опытах на дерново-подзолистых суглинистых и супесчаных почвах изучено содержание подвижных форм 9 микроэлементов в зависимости от кислотности почв. Выявлено, что изучаемые показатели почти не зависят от величины pH в диапазоне от 3,9 до 7,4. При известковании существенно снижается лишь содержание обменного марганца. Конституируется непригодность традиционных почвенных тестов на Mn для надежной оценки нуждаемости растений в этом элементе.

Five field and vegetation experiments on sod-podzolic subloamy and subsandy soils have been put as the basis for the study of the content of movable forms of nine micro elements depending on soil acidity level. It has been determined that the indicators under study were almost independent of the pH ranging between 3.9 and 7.4. Liming substantially reduces only the content of exchangeable manganese. The article states that the traditional soil mn tests are not suitable for assessing the requirement of the plant in this element.

В агроландшафтах геохимия микроэлементов, определяемая в целинных почвах преимущественно их генезисом [1], существенно меняется за счет виссения средств химизации. Одним из важных факторов, влияющих на подвижность микроэлементов, считается кислотность почв. Так, L.M. Shuman [2] на песчаных почвах штата Джорджия установил снижение содержания обменных Zn и Fe с увеличением pH при неизменности содержания Cu и Mn. Z.Filipovic с соавторами [3] выявили достоверную обратную связь pH с содержанием Cu, Zn, Co и слабую – с Ni и Pb. С ростом pH закреплялся подвижный Zn и Mn в исследованиях E.R. Purvis, O.W. Davidson [4], тогда как дефицит Cu был меньше на нейтральных почвах, чем на кислых. В целом разными авторами установлены различные тенденции изменения отдельных микроэлементов при изменении кислотности почвы. Даже в опытах одного автора получались разные результаты [5]. Наиболее распространенной является точка зрения Я.В. Пейве [6]: с повышением pH резко снижается содержание усвояемого бора, марганца, меди, цинка, кобальта, а заметно растет – лишь молибдена. В Беларуси исследований в этом направлении практически не было.

Наши исследования проводились в 1988–1995 гг. в серии полевых и вегетационных опытов на дерново-подзолистых почвах Центральной Беларуси с различными уровнями кислотности, созданными применением известки. В полевом опыте In на легкосуглинистой почве с pH 5,0, содержанием подвижных форм P_2O_5 , K_2O , Mg – 100–130, Ca – 780, Cu – 2,0, Zn – 3,6, Mn – 72 мг/кг почвы внесением доломитовой муки создано три уровня кислотности: pH в KCl 5,0, 5,6 и 6,15. Из-

менение кислотности в этом диапазоне не оказало существенного влияния на содержание подвижных (в 1M HCl) меди и цинка (табл. 1), значения оставались в диапазоне средней обеспеченности. Особенно стабильно содержание подвижной меди, причем и внесением в течение 5 лет высоких доз органических и минеральных удобрений не было создано условий для изменения подвижности меди, коэффициент корреляции невысок (-0,28). Содержание цинка с ростом pH слегка возрастало в среднем с 3,4 (pH 5,0) до 3,8 (pH 5,6) и 4,5 (pH 6,15). На удобренных NPK фонах эти различия сглажены, а на неудобренном фоне и по навозу – заметно больше, в отдельных случаях – статистически достоверны. Органические удобрения не влияли на подвижность цинка, а минеральные ее несколько снижали – с 4,4 до 3,8 и 3,6 мг/кг почвы соответственно. Повторное определение меди и цинка в этом опыте проведено в 1995 г. по 6 вариантам (контроль и (NPK)₂ по трем уровням pH). Содержание меди с ростом pH незначительно увеличивается – с 1,82 до 1,92 и 2,03 мг/кг при НСР₀₅=0,43 мг/кг. За два года различия в содержании подвижного цинка по уровням pH усилились – от 2,6 до 4,3 и 5,4 мг/кг при НСР₀₅=2,2. Влияния минеральных удобрений на содержание подвижных Cu и Zn не отмечено. Более детальные наблюдения в этом опыте проведены с обменным (в 1M KCl) марганцем (ежегодные в течение 8 лет), поскольку известно, что этот элемент очень чувствителен к реакции среды и, возможно, сам участвует в формировании почвенной кислотности. Уже со второго года после известкования различия были значительны и независимо от абсолютных значений соответствовали различиям в вели-

Таблица 1. Влияние известкования, применения органических и минеральных удобрений на содержание подвижных (в 1 М НСl) форм меди и цинка

Варианты опыта	Медь, мг/кг			Цинк, мг/кг		
	pH 5,0	pH 5,6	pH 6,15	pH 5,0	pH 5,6	pH 6,15
Контроль	2,19	2,24	2,12	2,8	3,8	5,1
(NPK) ₁	2,01	2,00	2,12	3,0	3,5	4,5
(NPK) ₂	1,95	2,13	2,10	2,5	3,4	3,7
12 т/га ТНК	2,11	2,10	2,02	2,6	3,5	4,8
24 т/га ТНК	2,17	2,13	2,11	2,7	4,5	6,7
(NPK) ₁ + 12 т/га ТНК	2,22	2,03	2,06	4,0	3,5	5,0
(NPK) ₁ + 24 т/га ТНК	2,14	2,05	1,94	3,8	3,3	3,6
(NPK) ₂ + 12 т/га ТНК	2,16	2,07	1,97	3,9	3,8	4,0
(NPK) ₂ + 24 т/га ТНК	2,24	2,11	1,97	3,7	3,7	3,4
НСР ₀₅	по уровням pH 0,90 по удобрениям 0,28			по уровням pH 2,95 по удобрениям 2,18		

чине pH, во все годы отмечалась высокая отрицательная корреляция (до 0,96). Максимальные показатели (33–36 мг/кг) отмечены в исходном году, минимальные – в 1991 г. – 6,6; 2,4 и 1,1 мг/кг по уровням кислотности, после чего наблюдался некоторый рост – до 18,8; 9,2 и 7,6 мг/кг в 1993 г. Иными словами, содержание марганца, переходящего в KCl-вытяжку, хорошо отражает влияние кислотности, но не может служить показателем обеспеченности этим элементом в более глобальном аспекте. Внесение навоза не влияло на этот показатель, а от минеральных удобрений он увеличивался примерно в 1,5 раза, вероятно, благодаря их кислотному характеру. Напротив, содержание подвижного (в 0,05M H₂SO₄) Mn почти не меняется в зависимости от pH, например, в среднем по уровням составило 57,8; 51,2 и 51,1 мг/кг в 1990 г. Влияние кислотности на содержание подвижного бора было изучено нами в 1991 г. Некоторая тенденция к закреплению бора при внесении извести просматривается на менее удобренных фонах (табл. 2). В среднем по уровням содержание водорастворимого бора изменялось с 0,75 до 0,58

Таблица 2. Влияние извести на содержание подвижного бора при разных системах удобрения, мг/кг почвы

Варианты опыта	pH 5,0	pH 5,6	pH 6,15
Контроль	0,85	0,74	0,66
(NPK) ₂	0,74	0,60	0,62
24 т/га ТНК	0,75	0,43	0,67
(NPK) ₁ + 12 т/га ТНК	0,62	0,53	0,79
(NPK) ₂ + 24 т/га ТНК	0,80	0,58	0,84
НСР ₀₅	по уровням pH 0,32 по удобрениям 0,38		

и 0,72, то есть минимум наблюдался при pH 5,6.

С целью оценки степени подвижности микроэлементов, а особенно, известкования как приема снижения подвижности тяжелых металлов, было проведено в четырехкратной повторности определение валовых (путем последовательной обработки почв HF, HClO₄, HNO₃, HCl) и подвижных (в 1M HNO₃) форм 8 микроэлементов (табл. 3). Выявлено, что валовое содержание микроэлементов находится в пределах фоновых значений и в диапазоне pH от 5,0 до 6,15 не меняется. Не установлено и достоверных изменений подвижных форм, лишь по марганцу отмечена слабая тенденция к снижению. В азотнокислую вытяжку переходит 30–35% валового Mn, в сернокислую – 12–15, в нейтрально-солевую – 2–8%. Степень подвижности Pb, Cd, Co, Ni не зависела от pH, а по Cu и Zn наблюдалась некоторая тенденция к увеличению подвижности. Выявлена достоверная корреляция Cu с Zn (0,91), Mn с Fe (0,86), Ni с Co (0,88) и Fe (0,81). Даже повышенное, по существующим грациям, содержание в почвах опыта подвижных свинца и кадмия не способствовало усилению роли извести как средства закрепления тяжелых металлов.

В опытах 3,4п на дерново-подзолистой супесчаной почве, где нами изучаются дозы и способы внесения извести на сенокосах, за 4 года опыта достигнуты уровни кислотности от 3,9 до 5,6, что оказало существенное влияние на содержание обменного марганца (табл. 4). И на второй, и на четвертый год после внесения извести как под бобовой (опыт 3п), так и под злаковой (опыт 4п) травосмесями наблюдалась четкая тенденция снижения содержания марганца с ростом pH, несмотря на различия абсолютных значений по годам. Во все годы минимум марганца отмечен в вариантах с внесением извести под культивацию, где достигнут наибольший сдвиг pH. Связь меж-

Таблица 3. Влияние уровня кислотности дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы на содержание валовых и подвижных (в 1М HNO₃) форм микроэлементов, мг/кг

Уровень pH	Cu	Zn	Pb	Cd	Cr	Mn	Co	Ni
Валовые формы:								
5,0	5,3	67	10,3	0,23	24,6	368	3,3	8,9
5,6	4,4	27	9,3	0,20	25,3	400	3,1	10,8
6,15	4,0	23	11,4	0,25	24,6	379	2,8	7,2
Подвижные формы:								
5,0	1,78	3,60	3,60	0,20	2,20	125	0,40	1,14
5,6	2,16	6,20	3,40	0,18	1,60	118	0,47	0,66
6,15	1,84	2,82	3,95	0,18	1,75	112	0,25	1,40
Степень подвижности, %								
5,0	34	5	35	87	9	37	12	13
5,6	49	23	37	90	6	30	15	6
6,15	46	12	35	72	7	30	9	19

Таблица 4. Влияние доз и способов внесения извести на содержание обменного марганца в дерново-подзолистой супесчаной почве, мг/кг почвы

Варианты	Опыт 3п				Опыт 4п			
	1992 г.		1994 г.		1992 г.		1994 г.	
	pH	Mn	pH	Mn	pH	Mn	pH	Mn
Контроль	3,9	11,1	4,4	4,4	3,8	16,1	4,3	2,8
CaCO ₃ по 1 т/га (Ca ₁ -6,5 т/га) под вспашку	4,1	9,5	4,5	3,6	3,9	10,8	4,4	2,8
Ca ₁ под вспашку и культивацию, по 0,5 дозы	4,3	7,3	4,9	2,8	4,3	6,3	5,3	1,7
Ca ₁ под культивацию	4,2	7,1	5,2	2,0	4,3	7,4	5,5	1,4
Ca ₁ под вспашку и поверхностно, по 0,5 дозы	4,0	9,6	4,7	2,8	3,9	10,5	4,6	1,8
Ca ₁ поверхностно	3,9	10,1	4,5	4,0	3,8	15,2	4,9	1,9
CaCO ₂ в дозе для достижения оптимума pH (Ca ₂ - 11,5 т/га) под вспашку	4,2	6,8	5,0	2,6	4,3	8,4	4,8	1,8
Ca ₂ под вспашку и культивацию, по 0,5 дозы	4,6	5,2	5,6	1,8	4,6	4,0	5,3	2,3
Ca ₂ под культивацию	4,6	5,2	5,4	1,8	4,5	5,7	5,5	1,2
Ca ₂ под вспашку и поверхностно, по 0,5 дозы	4,3	7,1	4,9	2,6	4,0	10,7	4,9	2,1
Ca ₂ поверхностно	3,9	9,7	4,6	2,6	3,9	10,4	4,7	1,5
HCP ₀₅	0,19	1,9	0,26	1,5	0,18	6,4	0,19	1,1

ду этими показателями выражается высокими отрицательными коэффициентами корреляции (от -0,55 до -0,90) и описывается уравнениями типа $Mn = 13,32 - 2,162pH$ (опыт 3п, 1994 г.).

Характер изменения содержания других микроэлементов в супесчаной почве изучался нами в вегетационном опыте 2в (табл. 5), где созданы более полярные уровни кислотности. При pH 6,3-6,7 не зафиксировано существенного закрепления ни одного из 8 микроэлементов по сравнению с pH 4,5, если судить по азотнокислой вытяжке. Более того, содержание Cd, Cr, Mn, а также Zn в 1М KCl-вытяжке имело тенденцию к росту, хотя содержание обменного Mn падало в этом опыте, как и в других. Внесение Mn в виде MnSO₄ способствовало росту его подвижных форм в почве, но не меняло содержание обменного Mn в почве и Mn в растениях люцерны при одновременном достоверном уве-

личении урожая зеленой массы, то есть для данной почвы и культуры интервал, в котором внесение Mn становится эффективным, лежит в пределах 0,4-0,8 мг/кг обменного Mn. Примечательно, что максимальный урожай был при pH 6,3, то есть дальнейшее увеличение pH нецелесообразно даже для такой кальциефильной культуры, как люцерна. Не отмечено существенных изменений в удельном выносе Cu и Zn люцерной в зависимости от кислотности. Поскольку в опыте 2в даже внесением заведомо завышенной дозы 36 т/га доломитовой муки не удалось достигнуть нейтральной реакции среды, нами было изучено поведение подвижных форм микроэлементов в другом вегетационном опыте 3в с супесчаной почвой, где внесением MgO достигнут pH_{KCl} 7,4 (табл. 6). Установлено, что даже в слабощелочной среде нет прочной фиксации цинка, то есть, возможно, и других тяжелых металлов, а содер-

Таблица 5. Влияние доз извести на содержание микроэлементов в дерново-подзолистой супесчаной почве, мг/кг почвы

Показатели	NPK	NPK + 12 т/га CaCO ₃	NPK + 36т/га CaCO ₃	NPK + 36 т/га CaCO ₃ + 5 кг/га Mn
pH в KCl	4,50	6,31	6,74	6,72
Содержание подвижных (в 1М HNO ₃) форм в почве				
Cu	1,94	1,78	2,14	2,42
Zn	5,60	5,10	4,70	4,90
Pb	2,60	3,30	2,80	2,90
Cd	1,00	1,20	2,90	2,00
Cr	0,09	0,13	0,20	0,18
Mn	38,90	49,80	66,00	79,30
Co	0,41	0,31	0,29	0,45
Ni	1,12	0,99	1,30	1,12
Mn в 1 М KCl	5,10	0,80	0,40	0,40
Урожай люцерны, г/сосуд зеленой массы	30,10	51,80	39,30	49,40
Содержание в растениях люцерны, мг/кг сухого вещества				
Cu	1,14	0,97	1,08	1,06
Zn	5,00	4,90	7,80	6,20
Mn	11,50	5,10	7,40	6,10

Таблица 6. Влияние уровней кислотности на содержание подвижных Cu, Zn, Mn, мг/кг

pH	Cu	Zn	Mn	
			в KCl	в H ₂ SO ₄
5,8	0,95	7,00	1,03	100
6,6	0,79	5,10	0,47	104
7,4	1,31	7,30	0,68	112
HCP ₀₅	0,43	3,00	0,28	4
Коэффициент корреляции с pH	0,50	0,13	-0,35	0,95

жание меди даже достоверно возросло при pH 7,4 по сравнению с pH 6,6. Весьма показательно, что с ростом pH от 5,8 до 7,4 содержание обменного Mn уменьшалось, а подвижного (в сернокислой вытяжке) – достоверно возросло, что подтверждает и обратный знак коэффициентов корреляции их с pH, то есть при известковании ближайший резерв Mn для растений уменьшается, а потенциально доступный растет. Резюмируя результаты всех опытов по марганцу, можно отметить, что ни одна из рассматриваемых форм (1М KCl, 1М HNO₃, 0,05М H₂SO₄) не дает достаточно хорошей оценки степени доступности его для растений, что согласуется с американскими данными [8], когда из 9 методик определения Mn наилучшие результаты дал метод в 0,01М CaCl₂ (коэффициент корреляции с Mn в растениях 0,76–0,87). Возможно, он будет перспективен и для почв Беларуси, но необходимы дополнительные исследования. Таким образом, изменение pH дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы в

интервале 5,0–6,15 практически не влияет на содержание подвижных Cu, Zn, В, Mn, Pb, Cd, Cr, Co, Ni, а содержание обменного Mn резко падает. На супесчаных почвах не наблюдалось существенного закрепления Cu, Zn, Mn, Pb, Cd, Cr, Co при понижении кислотности до pH 6,7 и даже 7,4.

С увеличением pH уменьшалось содержание обменного марганца и его удельный вынос растениями люцерны. В целом можно констатировать, что содержание подвижных форм микроэлементов в пахотном слое дерново-подзолистых почв Беларуси зависит от многих факторов, и кислотность почв не оказывает решающего влияния на подвижность большинства микроэлементов в традиционном диапазоне pH.

ЛИТЕРАТУРА

1. Микроэлементы в почвах БССР и эффективность микроудобрений. – Мн., 1970. – 196с.
2. Shuman L. M. // Soil Science Soc. of America J., 1986, v. 50, 5, p. 1236–1240.
3. Filipovic Z., Stankovic B., Dusic Z. // Soil Science, 1960, v. 91, 2, p. 147–150.
4. Purvis E. R., Davidson O. W. // Soil Science, 1948, v. 65, 1, p. 111–116.
5. Багинскас Б. Вопросы известкования кислых почв. – Вежайчяй, 1969. – С. 108–119.
6. Пейве Я. В. Почвенные условия и эффективность применения микроудобрений: Избр. тр. – М., 1980. – С.131–173.
7. Виноградов А. П. Геохимия редких и рассеянных элементов. М., 1950. – 278с.
8. Hoyt P.B., Nyborg M. // Soil Science Soc. of America J., 1971, v.75, 2, p. 241–244.