

СОСТОЯНИЕ СОЕДИНЕНИЙ ЖЕЛЕЗА И МАРГАНЦА В ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ОГЛЕЕННЫХ ПОЧВАХ КАК ФАКТОР, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЙ РАЗВИТИЕ ПЛОДОВЫХ КУЛЬТУР

Д.Н. Никиточкин, В.И. Савич, Р.Ф. Байбеков, А.Г. Селиванова, РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева

Показано, что при избыточном увлажнении дерново-подзолистых почв увеличиваются количество подвижных и водорастворимых соединений железа и марганца, доля комплексов отрицательно заряженных соединений, количество этих элементов в продуктах транспирации яблонь, погибающих на оглеенных почвах. Установлено, что угнетение при этом растений обусловлено также изменением соотношения в почве подвижных Fe:Mn, Fe:Zn, Fe:Cu, Zn:Cu.

Ключевые слова: железо, марганец, оглеение почв, яблоня.

Состояние соединений железа и марганца в почвах в значительной степени определяет плодородие почв и продуктивность сельскохозяйственных культур [1], а также плодовых насаждений [2, 3]. При недостатке их подвижных форм в карбонатных почвах возникает хлороз растений [2]. Однако хлороз и угнетение растений могут наблюдаться и при неблагоприятных соотношениях Fe:Mn:Zn, Fe:Mn:Cu [4]. Эти соотношения в значительной степени изменяются от pH среды, степени гумусированности и окислительно-восстановительного состояния почв. Железо и марганец, поступая в растения, в том числе в виде комплексных положительно и отрицательно заряженных соединений, участвуют в процессах конкурирующего комплексобразования с продуктами, образующимися в процессах метаболизма, существенно изменяют доступность фосфатов, находящихся в почвах, и энергетический баланс в растениях.

Процессы трансформации соединений железа и марганца в почвах и их влияние на протекание реакций в растениях состоят, как правило из нескольких, взаимовлияющих друг на друга этапов. Из-за указанных причин, роль соединений железа и марганца на развитие плодовых культур до настоящего времени полностью не выяснена. Это касается и влияния железа и марганца в дерново-подзолистых почвах разной степени гидроморфности на состояние яблонь.

Цель исследования - выяснить подвижность соединений железа и марганца в дерново-подзолистых почвах в зависимости от степени их гидроморфности в связи с гибелью яблонь при близком залегании уровня грунтовых вод.

Методика. Объект исследования - дерново-подзолистые среднесуглинистые почвы разной степени окультуренности Московской области, опытного поля кафедры растениеводства [5], Мичуринского сада РГАУ-МСХА, дачных участков при уровне грунтовых вод более 3 м и на глубине до 1 м. При близком залегании грунтовых вод отмечались сильное оглеение почв с глубины 40-60 см и гибель взрослых яблонь.

Методика состояла в оценке содержания подвижных соединений катионов в вытяжке $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ с pH 4,8, в определении положительно и отрицательно заряженных соединений катионов методом химической автографии на основе электролиза [6], в анализе состава почвенных растворов дерново-подзолистых почв разной степени окультуренности и оглеенности [5], в оценке вытеснения железа и марганца из почв в зависимости от комплексобразующей способности десорбента [7]. Для выяснения зависимости подвижности в почвах железа и марганца от pH, степени гумусированности, содержания подвижных фосфатов проведена статистическая обработка данных агрохимического обследования ряда хозяйств Московской области, оценен химический состав продуктов транспирации из листьев яблонь, развивающихся на почвах разной степени гидроморфности. Принятый уровень вероятности $P=0,95$.

Результаты и их обсуждение. Подвижность железа и марганца в дерново-подзолистых почвах увеличивалась при развитии анаэробных условий (особенно при Eh менее 200 мВ), при подкислении среды, при увеличении степени гумусированности [8]. Известкование почв и их зафосфачивание приводило к резкому уменьшению подвижности в почвах железа и марганца [8].

Увеличение pH в дерново-подзолистых почвах способствовало уменьшению содержания водорастворимых соединений Fe, Mn, Zn. Так, при $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ $5,07 \pm 0,03$ содержание этих элементов составляло, соответственно, $24,5 \pm 5,9$; $0,12 \pm 0,03$ и $3,6 \pm 0,7$. При $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ $7,3 \pm 0,02$ содержание указанных элементов в почвенном растворе равнялось, соответственно, $7,3 \pm 1,6$; $0,05 \pm 0,01$ и $1,0 \pm 0,3$ (моль/л $\cdot 10^{-5}$).

Увеличение соотношения Ca:K в почвенном растворе приводило к уменьшению содержания в почвенном растворе Fe, Mn, Zn. Так, при отношении Ca:K = $0,4 \pm 0,3$ содержание Fe, Mn, Zn было соответственно равно $57,9 \pm 7,4$; $0,19 \pm 0,03$ и $2,3 \pm 0,4$ в моль/л $\cdot 10^{-5}$. При отношении Ca:K = $7,2 \pm 1,4$ содержание этих элементов равно, соответственно, $2,8 \pm 1,5$; $0,06 \pm 0,02$ и $1,3 \pm 0,4$ ($n=25-113$).

Увеличение степени гумусированности почв повышает в основном подвижность железа и марганца в почвах, в связи как с образованием комплексов, так и с блокировкой в почвенном поглощающем комплексе селективных к поливалентным катионам сорбционных центров. Однако, органическое вещество может блокировать в ППК и поглощенные ранее соединения железа и марганца. Эффект определяется интервалами гумусированности и составом гумуса. Так, например, по полученным данным, в дерново-подзолистых почвах при $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ $6,0 \pm 0,1$ и содержании гумуса $1,3 \pm 0,05\%$ содержание водорастворимых железа и марганца составляло, соответственно, $20,6 \pm 17,8$ и $0,40 \pm 0,2$ моль/л $\cdot 10^{-5}$. При содержании гумуса $2,4 \pm 0,04\%$ и тех же значениях pH содержание водорастворимых соединений Fe, Mn было, соответственно, $28,0 \pm 12,5$ и $1,3 \pm 0,4$ моль/л $\cdot 10^{-5}$.

В то же время, одновременное повышение степени гумусированности и содержания подвижных и водорастворимых фосфатов приводило к существенному уменьшению количества водорастворимого марганца. Так, при содержании гумуса $1,17 \pm 0,06\%$ и P_2O_5 по Кирсанову $4,79 \pm 0,47$ мг/100 г (содержание водорастворимых фосфатов $0,05 \pm 0,03$ моль/л $\cdot 10^{-5}$) количество водорастворимого марганца составляло $0,30 \pm 0,21$ моль/л $\cdot 10^{-5}$. При том же количестве гумуса, но содержании подвижных и водорастворимых фосфатов, соответственно, $25,45$ мг/100 г и $0,47 \pm 0,23$ моль/л $\cdot 10^{-5}$ содержание водорастворимого марганца составляло $0,03 \pm 0,03$ моль/л $\cdot 10^{-5}$.

Содержание водорастворимых соединений железа и марганца в дерново-подзолистых почвах слабой и средней степени окультуренности соответствовало растворимости осадков, образование которых было возможно при существующих условиях pH, Eh и концентрации в растворе фосфатов. Однако в хорошо окультуренных почвах и в гумусовых горизонтах целинных почв растворимость была значительно выше обусловленной произведениями растворимости осадков, что связано с увеличением эффективной растворимости за счет образования комплексов.

По данным В.А. Седых [9], при внесении больших доз помета увеличивалась доля отрицательно заряженных комплексных соединений железа и марганца в дерново-подзолистых почвах. Это проявлялось в большей степени в горизонтах A_n и A_2B , чем в горизонте В. При этом распределение железа и марганца по профилю почв носило элювиально-иллювиальный характер.

По полученным данным, вытеснение железа и марганца из почв раствором десорбентов пропорционально комплексобразующей способности десорбентов (константам устойчиво-

сти комплексов органических лигандов с железом и марганцем и концентраций комплексонов в растворе) [9, 10].

Содержание подвижных форм соединений катионов в разных горизонтах дерново-подзолистых автоморфных и оглеенных почв приведено в таблице 1.

Как видно из представленных данных, в оглеенных горизонтах почв значительно больше подвижных соединений железа и марганца, что является одной из причин плохого состояния яблонь.

1. Содержание подвижных форм кальция, магния и поливалентных катионов в дерново-подзолистых среднесуглинистых автоморфных и оглеенных почвах (CH_3COONH_4 с pH 4,8), мг/л

Почва и горизонты	Fe	Mg	Ca	Zn	Mn	Cu	Pb
Автоморфная:							
A_n	9,2±2,3	28,5±5,0	63,1	1,5±0,8	3,2±0,7	0,6±0,4	0,3±0,1
$A_2; A_2B$	7,7±1,3	28,3±2,9	50,8±8,6	0,6	0,9±0,2	0,07±0,01	0,14±0,01
В	7,0±1,9	34,9±1,3	59,2±1,4	0,4±0,1	0,7±0,1	0,06±0,01	0,12±0,01
Оглеенная:							
A_nA_1	5,0±1,9	42,3±4,5	59,5±0,3	0,6±0,2	7,9±2,4	0,03±0,01	0,16±0,03
Ag; A_2B_g	40,2±26,2	34,2±7,7	39,7±18,8	0,9±0,5	3,6±0,3	0,06±0,02	0,20±0,07
B_g	30,3±14,9	36,5±1,2	60,6±1,3	0,7±0,2	2,7±0,7	0,04±0,02	0,20±0,01

2. Соотношение подвижных катионов в дерново-подзолистых среднесуглинистых автоморфных и оглеенных почвах (CH_3COONH_4 с pH 4,8), мг/л

Почва и горизонты	Fe/Mn	Ca/Mg	Fe/Ca	Fe/Zn	Fe/Cu	Zn/Cu
Автоморфная:						
A_n	2,9	2,2	0,14	6,1	15,3	2,5
$A_2; A_2B$	8,6	1,8	0,15	12,8	110,0	8,6
В	10,0	1,7	0,12	17,5	116,7	6,7
Оглеенная:						
A_nA_1	0,6	1,4	0,08	8,3	166,7	20,0
Ag; A_2B_g	11,1	1,2	1,00	44,4	670,0	15,0
B_g	11,2	1,7	0,50	43,3	757,5	17,5

При этом изменяется и соотношение подвижных катионов (табл. 2).

Как видно из представленных данных, в оглеенных горизонтах по сравнению с неоглеенными увеличивается соотношение подвижных соединений Fe:Mn, что соответствует теоретическим закономерностям [1]. При этом увеличивается и соотношение Fe:Ca, Fe:Zn, Fe:Cu, что, по-видимому, может являться одной из причин угнетения растений.

В оглеенных горизонтах отмечается, в основном, уменьшение соотношения подвижных кальция и магния. Это соответствует теоретической закономерности, согласно которой при увеличении влажности почв больше поглощение твердой фазой ионов с меньшей энергией гидратации (энергия гидратации Ca = 375, а Mg = 475 ккал/г-ион). В оглеенных почвах существенно увеличилось соотношение подвижных Zn:Cu, что связано, очевидно, с участием этих ионов в комплексообразовании с водорастворимыми органическими лигандами, содержание которых при оглеении почв возрастает [11].

По полученным данным, в почвах присутствуют и положительно, и отрицательно заряженные (комплексные) соединения железа и марганца. При этом содержание положительно заряженных соединений железа и марганца составляло по горизонтам, соответственно, от 6,8±2,8 до 15,6±3,7 мг/л и от 0,22±0,04 до 0,53±0,18 мг/л. Содержание отрицательно заряженных соединений железа и марганца составляло по горизонтам для железа от 7,3±0,3 до 12,0±2,0 мг/л, для марганца от 0,22±0,02 до 0,47±0,02 мг/л (напряжение при электролизе 12 В, время взаимодействия – 10 мин).

Полагаем, что наличие и соотношение положительно и отрицательно заряженных соединений Fe, Mn, Cu, Zn в значительной степени определяют угнетение яблонь при анаэробозе и развитие хлороза растений. Избыточное содержание отдельных элементов в почвах приводит к избыточному их накоплению в растениях и к большей потере с транспирацией из листьев. Это иллюстрируют данные таблицы 3.

3. Содержание катионов в продуктах транспирации из листьев яблонь, развивающихся на почвах разной степени гидроморфности, мг/л

Состояние растений на разных почвах	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	K
Хорошее на автоморфной почве	20,1	31,1	0,4	0,04	0,05	15,1
Гибнущее дерево на оглеенной почве	11,0	36,7	0,8	0,08	0,92	27,6

Как видно из представленных данных, в продуктах транспирации яблонь на оглеенной почве больше Fe, Mn, Zn, K и меньше Ca, уже отношение кальция к магнию.

Таким образом, при избыточном увлажнении дерново-подзолистых почв, в связи с развитием оглеения, увеличиваются количество подвижных соединений железа и марганца, доля их отрицательно заряженных комплексных соединений. Угнетение растений возможно в связи как с высокой концентрацией водорастворимых и подвижных форм железа и марганца, большой концентрацией их восстановленных форм, так и с появлением неблагоприятного соотношения подвижных Fe:Mn, Fe:Zn, Fe:Cu, Zn:Cu. Поступление в растения комплексных соединений железа и марганца сопровождается процессами конкурирующего комплексообразования. Проведенными исследованиями показано наличие в продуктах транспирации листьев гибнущих яблонь, развивающихся на оглеенных почвах, повышенной доли железа и марганца.

Литература

1. Савич В.И., Кауричев И.С., Шишов Л.Л. и др. Окислительно-восстановительные процессы в почвах, агрономическая оценка и регулирование. - Кустанай, 1999. - 402 с.
2. Наумов В.Д. Почвенно-экологические условия заболевания яблони розеточностью. - М.: РГАУ-МСХА, 2012. - 444 с.
3. Трунов Ю.В. Минеральное питание и удобрение яблони. - Мичуринск-научкоград РФ, ВНИИС им. И.В.Мичурина, Кварта, 2010. - 400 с.
4. Veldkamp W.J., Traore A. Institut Royal des Tropiques, Amsterdam, Paus. Bas, 1991, 200 p.
5. Замараев А.Г., Савич В.И., Сычев В.Г. Энергомассообмен в звене полевого севооборота. Ч. 2 «Баланс вещества, энергии и информации в звене полевого севооборота на дерново-подзолистых почвах». - М.: ВНИИ-А, 2005. - 336 с.
6. Савич В.И., Трубицина Е.В., Докучаев В.С. Оценка состояния системы почва-растение по содержанию и соотношению положительно и отрицательно заряженных соединений// Почвоведение. - 1990. - №9. - С. 61-73.
7. Савич В.И., Сычев В.Г., Шишов Л.Л. и др. Экспрессные методы оценки безопасности почв элементами питания и уровня загрязнения токсикантами. - М.: ВНИИ-А, 2004. - 152 с.
8. Духанин Ю.А., Савич В.И. и др. Экологическая оценка взаимодействия удобрений и мелиорантов с почвой. - М.: Росинформагротех, 2005. - 324 с.
9. Седых В.А., Кашанский А.Д., Химица Е.Г., Карауш П.Ю. Изменение подвижности тяжелых металлов в дерново-

подзолистых почвах в зависимости от степени их гумусированности и применения высоких доз органических удобрений// Изв. ТСХА.- 2011.- №3.- С. 1-8. 10. Седых В.А., Филиппова А.В., Саидов А.К. Изменение подвижности тяжелых металлов в почвах при применении высоких доз органических удобрений// Изв. Оренбургского аграрного

ун-та.- 2012.- №4(36).- С. 209-212. 11. Карпунхин А.И., Илахун А., Торшин С.П. Координационные соединения органических веществ почв с ионами тяжелых металлов и влияние комплексонов на их доступность.- М.: ВНИИА, 2010.- 270 с.

IRON AND MANGANESE STATUSES IN GLEYED PODZOLIC SOILS AS FACTORS DETERMINING THE DEVELOPMENT OF FRUIT CROPS

D.N. Nikitochkin, V.I. Savich, R.F. Baibekov, A.G. Selivanova

**Russian State Agricultural University – Moscow Agricultural Academy, Russian Academy of Sciences,
ul. Timiryazeva 49, Moscow, 127550 Russia E-mail: savich.mail@gmail.com**

It has been shown that, under the excessive moistening of soddy-podzolic soils, the contents of mobile and water-soluble iron and manganese, the portion of negatively charged complex compounds, and the content of these elements in the respiration products of apple-trees dying on gleyed soils increase. It has been found that the suppression of plants also depends on changes in the mobile Fe:Mn, Fe:Zn, Fe:Cu, and Zn:Cu ratios.

Keywords: iron, manganese, soil gleying, apple-tree.