

УДК: 502.521

НАКОПЛЕНИЕ МАКРОЭЛЕМЕНТОВ ОВСОМ НА ФОНЕ ВОЗРАСТАЮЩИХ КОНЦЕНТРАЦИЙ КАДМИЯ И ЦИНКА

М.А. Ефремова, А.Н. Губин, В.Н. Ефимов

Санкт-Петербургский государственный аграрный университет

В опыте использовали образцы торфяных низинных почв, отобранные из верхнего (0–25 см) слоя на торфяном целинном массиве болота «Литошицкое» Волосовского р-на Ленинградской обл. Они имели следующие агрохимические характеристики: высокозольная почва

— содержание азота — 2,87% (на сухой торф), степень разложения — 50%, $pH_{KCl}=5,0$, зольность — 17,6%, P_2O_5 — 730 (валовой) и 57,5 мг/100 г (подвижный), K_2O — 100,7 (валовой) и 46 мг/100 г (подвижный); нормальнозольная почва — соответственно 2,14%, 30%, 4,8, 7,2%, 620,0 и

30,5 мг/100 г, 76,5 и 10,8 мг/100 г. Следует отметить, что высокозольная торфяная низинная почва с содержанием золы 17,6% по агрохимическим показателям характеризуется как более высокая по плодородию, чем нормальнозольная с содержанием золы 7,2%.

Опыт включал 5 вариантов, каждый из которых соответствовал определенной степени загрязнения почвы ТМ: ТМ₁ — Cd и Zn фон; ТМ₂ — соответственно 3 и 150; ТМ₃ — 6 и 300, ТМ₄ — 12 и 600, ТМ₅ — 24 и 1200 (ОДК 0,5—2,0 и 55—220 соответственно). Повторность — 3-кратная. В опыте мы использовали хорошо растворимые в воде соли $3\text{CdSO}_4 \times 8\text{H}_2\text{O}$ и $\text{ZnSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$. Почвенные образцы компостировали 12 мес. После компостирования вносили минеральные удобрения (аммиачная селитра, суперфосфат простой и хлористый калий) в дозе $\text{N}_{100} \text{P}_{100} \text{K}_{200}$ по д.в. После внесения удобрения высевали семена овса по 5 шт/сосуд. На 55-й день растения срезали в фазе выхода в трубку — выметывание.

Среди биометрических показателей нами была определена масса растений овса. На высокозольной торфяной низинной почве возрастающие концентрации кадмия снижали массу растений овса в среднем в 1,5 раза по сравнению с контролем. На нормальнозольной почве наблюдалось снижение массы растений в 1,7 раза. Проведенные расчеты корреляционной зависимости массы растений от кислоторастворимых и подвижных соединений ТМ указывают на тесную обратную связь показателя роста растений от содержания поллютанта как на высокозольной, так и на нормальнозольной торфяной низинной почве. Принято считать ПДК ТМ в почве такую его концентрацию, которая снижает урожайность растений на 10%. В нашем эксперименте таким ориентировочно допустимым содержанием Cd в почве является 3 мг/кг высокозольной почвы (фитотоксический эффект 18,6%). На нормальнозольной торфяной низинной почве фитотоксический эффект наблюдался начиная с большей концентрации Cd (6 мг/кг) и составил 32,2%. Фитотоксический эффект Zn по массе растений составил 10,9—32,3% для высокозольной почвы и 26,8—28,3% для нормальнозольной торфяной низинной почвы. Фитотоксический эффект нашел свое проявление на высокозольной почве с дозы Zn_{300} , на нормальнозольной — с дозы Zn_{600} .

На фоне возрастающих концентраций ТМ на обеих почвах содержание азота в растениях овса снижалось, но незначительно (табл. 1). В опыте с Cd произошло максимальное сокращение концентрации азота в растениях в среднем на 5% от его содержания в фоновом варианте на высокозольной и на 7% на нормальнозольной почве. Коэффициенты корреляции между концентрацией азота в растениях и содержанием валовых и подвижных соединений Cd и Zn в высокозольной почве показывают отрицательную среднюю связь этих параметров.

На нормальнозольной почве корреляционная зависимость между концентрацией азота в растениях и содержанием кислоторастворимых и подвижных форм ТМ значительно выше, чем на почве с большей зольностью. По-видимому, низкое содержание минеральных компонентов в почве способствует большей подвижности ТМ и усилению их фитотоксического действия.

Содержание фосфора в растениях снижалось пропорционально увеличению концентрации ТМ (табл. 1). На высокозольной торфяной низинной почве при увеличении содержания Cd в почве концентрация фосфора в растениях в целом уменьшилась на 16,5% по сравнению с фоном, на нормальнозольной — на 22,8%. На фоне 150 мг/кг Zn в высокозольной и нормальнозольной торфяной низинной почве произошло некоторое увеличение содержания фосфора в растениях. Можно предположить, что при такой концентрации Zn улучшается микробиологическая деятельность в почве, в результате которой несколько возрастает концентрация подвижных соединений фосфора и его концентрация в растениях. При большем увеличении

содержания Zn в почве концентрация фосфора в растениях уменьшилась на 28,1% (высокозольная) и на 30,3% (нормальнозольная). Корреляционный анализ показал, что взаимосвязь между концентрацией фосфора в растениях и подвижными соединениями Cd и Zn в торфяных низинных почвах очень тесная.

На высокозольной и нормальнозольной торфяной низинной почве концентрация калия в растениях овса снижалась на фоне возрастающих концентраций ТМ (табл. 1). Установлена высокая отрицательная корреляционная зависимость концентрации калия в растениях от содержания кислоторастворимых и подвижных соединений ТМ в высокозольной и нормальнозольной торфяной низинной почве. Поскольку калий практически не образует нерастворимых соединений, то уменьшение его концентрации в овсе можно связать с его конкуренцией с ТМ за места сорбции на поверхности корня. Вероятно, чем больше содержание положительных ионов тяжелых металлов около обменных центров на корневой поверхности, тем меньше сорбция на них иона калия.

Таблица 1. Изменение содержания азота, фосфора и калия в растениях овса, %

Вариант	Высокозольная почва		Нормальнозольная почва	
	Cd	Zn	Cd	Zn
Азот				
ТМ ₁	2,31	2,24	1,94	2,08
ТМ ₂	2,22	2,21	1,91	2,15
ТМ ₃	2,14	2,13	1,88	1,91
ТМ ₄	2,13	2,14	1,84	1,85
ТМ ₅	2,19	2,15	1,81	1,80
Фосфор				
ТМ ₁	0,85	0,79	0,89	0,76
ТМ ₂	0,82	0,75	0,94	0,82
ТМ ₃	0,80	0,71	0,84	0,78
ТМ ₄	0,76	0,67	0,78	0,67
ТМ ₅	0,71	0,61	0,64	0,53
Калий				
ТМ ₁	3,54	3,54	3,42	3,41
ТМ ₂	3,51	3,53	3,40	3,39
ТМ ₃	3,48	3,43	3,34	3,32
ТМ ₄	3,43	3,37	3,26	3,24
ТМ ₅	3,38	3,34	3,22	3,18

Растения обладают неодинаковой способностью накапливать различные ТМ (табл. 2). Большое значение в накоплении Cd и Zn растениями играет степень их подвижности в почве. С увеличением концентрации Cd и Zn происходит увеличение кислоторастворимых соединений и подвижных форм ТМ после компостирования и после выращивания растений в торфяной низинной почве различной зольности.

Подвижность токсикантов возросла после компостирования в высокозольной торфяной низинной почве (Cd — на 32%, Zn — на 15%), а также после растений (Cd — на 35%, Zn — на 15). Ранее установлено, что фракции, выделенные из торфа, связывали Cd за счет участия карбоксильных и фенол-гидроксильных групп гуминовых кислот. С органическим веществом Zn образует устойчивые формы, комплексные соединения, поэтому в большинстве случаев он накапливается в горизонтах почв с высоким содержанием гумуса и в торфе. На нормальнозольной почве в целом содержание подвижных соединений ТМ выше, чем на высокозольной и после компостирования, и после

Таблица 2. Распределение кадмия и цинка в системе почва – растение, мг/кг

Почва	Вариант	Содержание ТМ в почве					Содержание ТМ в растениях, мг/кг
		ААБ*, мг/кг	Подвижность, %	1н HNO ₃ ** мг/кг	ААБ***, мг/кг	Подвижность, %	
Высоко-зольная	Cd ₀	0,07	29,2	0,11	0,04	16,7	0,23
	Cd ₃	1,53	51,0	2,33	1,42	47,3	1,42
	Cd ₆	3,45	57,5	4,37	2,91	48,5	2,87
	Cd ₁₂	6,93	57,8	9,24	5,84	48,7	6,44
	Cd ₂₄	14,7	61,4	20,5	12,3	51,3	14,5
Нормально-зольная	Cd ₀	0,08	47,1	0,09	0,07	41,2	0,17
	Cd ₃	2,07	69,0	2,42	1,73	57,7	1,61
	Cd ₆	3,61	60,2	5,21	3,23	53,8	3,46
	Cd ₁₂	7,04	58,7	10,1	6,56	54,7	8,42
	Cd ₂₄	15,2	63,3	21,8	14,0	58,3	18,8
Высоко-зольная	Zn ₀	6,32	32,9	17,2	6,12	31,8	16,9
	Zn ₁₅₀	75,7	50,5	90,3	65,4	43,6	47,5
	Zn ₃₀₀	131,2	43,7	212,7	123,2	41,1	110,1
	Zn ₆₀₀	316,8	52,8	507,9	278,6	46,4	312,3
	Zn ₁₂₀₀	578,4	48,2	1092,1	562,5	46,9	669,4
Нормально-зольная	Zn ₀	8,52	35,3	20,45	8,25	34,2	22,1
	Zn ₁₅₀	80,4	53,6	106,8	79,3	52,9	60,2
	Zn ₃₀₀	153,4	51,1	232,4	142,7	47,6	133,4
	Zn ₆₀₀	331,9	55,3	547,2	293,6	48,9	356,6
	Zn ₁₂₀₀	672,3	56,0	1125,3	644,9	53,7	769,5

* Концентрация ТМ в почве после компостирования, мг/кг, вытяжка ААБ;

** концентрация ТМ в почве после растений, мг/кг, вытяжка 1н HNO₃;

*** концентрация ТМ в почве после растений, мг/кг, вытяжка ААБ

выращивания растений. Концентрация ТМ в растениях овса увеличивалась прямо пропорционально содержанию токсикантов в почве. Так концентрация Cd и Zn в растениях, выросших на нормальнозольной почве выше, чем на высокозольной в среднем в 1,2 раза. Загрязняя почву ТМ, мы сбиваем природное равновесие между слабо- и прочносвязанными соединениями поллютантов, резко увеличивая количество их подвижных соединений. Так, концентрация подвижного Cd в варианте с наименьшей степенью загрязнения почвы по сравнению с контролем возросла в 21,9 раза на высокозольной и 25,9 раза на нормальнозольной почве. Концентрация подвижного Zn увеличивалась в аналогичном варианте по сравнению с контролем в 11,9 раз на высокозольной и 9,43 раза — на нормальнозольной почве. Подвижность кадмия в вариантах с загрязнением почвы возросла в 1,6 раза по сравнению с контролем в среднем для обеих почв, подвижность цинка — в 1,5 раза.

Таким образом, возрастающие концентрации ТМ (Cd и Zn) в большей степени снижали массу растений овса, выращенных на нормальнозольной почве, чем на высокозольной. На фоне возрастающих концентраций Cd и Zn концентрация азота, фосфора и калия в растениях овса снижается, Cd накапливался растениями овса в большей степени, чем Zn. На нормальнозольной почве отмечается большее накопление тяжелых металлов, чем на высокозольной. [27]