

ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ УДОБРЕНИЙ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ И НАКОПЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ (Cd, Zn, Cu) В ЗЕРНЕ

М.Н. Каргузова¹, Н.А. Черных¹,
Т.Л. Жигарева², Г.И. Попова²

¹Экологический факультет
Российский университет дружбы народов
Подольское шоссе, 8/5, Москва, Россия, 113093

²Всероссийский научно-исследовательский институт
сельскохозяйственной радиологии и агроэкологии РАСХН
Киевское шоссе, 109 км, Обнинск, Калужская обл., Россия, 249032

Изучено влияние различных удобрений (NPK, нитрофоска, Супродит) на продуктивность пшеницы и переход тяжелых металлов в растения в 2-летнем вегетационном эксперименте. Результаты исследований показали, что внесение в дерново-подзолистую среднесуглинистую почву Cd, Zn и Cu приводит к снижению урожая зерна от 10 до 45% по сравнению с почвой, где тяжелые металлы не были внесены. Наибольшее отрицательное влияние на рост, развитие и формирование урожая яровой пшеницы оказывало присутствие в почве Zn, особенно в варианте с NPK. При загрязнении дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы Cd, Zn и Cu Супродит ограничивает поступление токсикантов как в первый, так и во второй год исследований в 1,4—2,2 раза по сравнению с NPK и нитрофоской.

Ключевые слова: тяжелые металлы, дерново-подзолистая почва, продуктивность, супродит, NPK, нитрофоска.

Антропогенное воздействие на рубеже третьего тысячелетия породило целый ряд проблем, связанных с техногенным загрязнением значительных по масштабам территорий. Увеличение производства продуктов питания обеспечивается за счет повышения урожайности сельскохозяйственных культур, что неизбежно связано с интенсивной химизацией производства. Это создает масштабные экологические проблемы (загрязнение почвы, водоемов, атмосферы). Тяжелые металлы (Cu, Zn, Cd), накапливаясь в почвах и растениях в больших концентрациях, становятся токсичными для растений, животных и человека. При загрязнении почва проявляет свои буферные свойства, переводя металлы в труднорастворимые

соединения, однако буферная способность почвы не беспредельна, и с возрастанием экзогенных концентраций элементов постепенно увеличивается количество и тех форм, в которых они становятся доступны для растений [1]. В результате техногенного загрязнения избыточное накопление растениями тяжелых металлов приводит к повышению их концентрации в продукции растениеводства, что влияет на качество урожая. Повышенные концентрации Cu, Zn и Cd (в 2—10 раз выше уровня ПДК) приводят к снижению продуктивности зерновых культур.

В условиях техногенного загрязнения окружающей среды и деградации экосистем проблеме повышения устойчивости агробиоценов уделяется все большее внимание. Производство экологически безопасных продуктов питания становится приоритетным для всех стран. Применение природных мелиорантов и различных искусственных сорбентов нивелирует отрицательное действие тяжелых металлов (ТМ) на урожай зерна [2]. Разработка новых технологий с использованием сорбентов, направленных на минимизацию поступления химических токсикантов в продукцию растениеводства, позволит во многом решить проблемы получения экологически безопасной продукции в регионах с высокими уровнями содержания загрязняющих веществ, в том числе тяжелых металлов.

Изучение влияния ТМ (Cd, Cu, Zn) и агромелиорантов на показатели продуктивности и накопления ТМ в растениях на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве проводилось в вегетационных опытах при выращивании пшеницы в сосудах, вмещавших 4 кг воздушно-сухой почвы. Тяжелые металлы вносили в виде сернокислых солей в дозах: Cd — 6, Cu — 390, Zn — 600 мг/кг почвы, что соответствует 3 ОДК для нейтральных суглинистых почв [3]. Питательные элементы вносили в количестве по 0,15 г/кг почвы N, P₂O₅ и K₂O, которые внесены в виде растворов солей NH₄NO₃, KH₂PO₄ и K₂SO₄ соответственно. Новое комплексное удобрение пролонгированного действия Супродит, полученное путем термохимической модификации природного трепела, содержит все основные питательные элементы (NPK) и обладает высокой емкостью катионного обмена 126 мг-экв/100 г почвы. Супродит вносили в дозе 1,4 г/кг почвы, нитрофоску — в дозе 1,2 г/кг почвы. Нитрофоска содержит NPK в соотношении питательных элементов N : P₂O₅ : K₂O = 1 : 1 : 1. Повторность опытов 4-кратная. Опыт проводили на яровой пшенице, сорт «Энита».

Агрохимические показатели почвы определяли по общепринятой методике [4] (табл. 1).

Таблица 1

Агрохимические показатели дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы до проведения вегетационного опыта

pH _{сол}	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Емк. погл.	Hг	Гумус, %
	мг/100 г почвы		мг-экв/100 г почвы				
6,2	25,3	10,7	11,6	2,8	22,9	0,4	2,3

Определение содержания ТМ в зерне проводили атомно-абсорбционным способом по методике ЦИНАО [5] с использованием плазменного атомно-абсорбционного спектрометра ICP-AES, Liberti II фирмы Varian (Spectr AA 250+).

Планирование экспериментов осуществляли по методике Журбицкого [6], анализ структуры урожая после уборки зерновой культуры и статистическую обработку данных проводили по Доспехову [7].

Математическую обработку результатов исследований, включавшую расчет статистических оценок, выполняли с использованием пакета прикладных программ в составе Microsoft Excel 2007.

Результаты исследований показали, что внесенные в дерново-подзолистую среднесуглинистую почву Cd, Zn, Cu в концентрации 3 ОДК привели к снижению урожая зерна от 10 до 45% по сравнению с почвой, где ТМ не были внесены. Наибольшее отрицательное влияние на рост, развитие и формирование массы зерна яровой пшеницы оказывало присутствие Zn в концентрации 600 мг/кг почвы, особенно в варианте с внесением NPK (рис. 1). При использовании Супродита и нитрофоски на почве, загрязненной Zn, масса зерна на 33—36% ниже, чем на почве без ТМ. На почве, где присутствовал Zn, применение комплексных удобрений способствовало получению более высокой массы зерна на 9—26% по сравнению с NPK.

Потери массы зерна в варианте с Cd в зависимости от видов удобрений составляют 15—24%, причем наименьшие потери урожая в первый год опыта отмечены в варианте с нитрофоской (рис. 1).

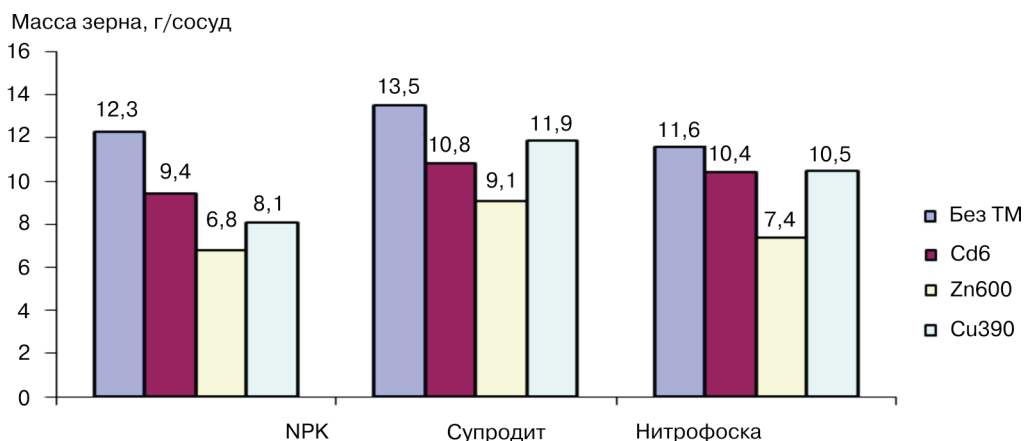


Рис. 1. Влияние удобрений на массу зерна яровой пшеницы на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве (1-й год опыта)

При внесении в почву Cu в количестве 390 мг/кг урожай зерна и соломы яровой пшеницы на фоне простых минеральных удобрений (NPK — фон 1) на 16—34%, а при внесении нитрофоски (фон 3) на 9—15% ниже, чем на почве без Cu.

Эффективность Супродита по влиянию на урожай зерна яровой пшеницы на почве, где внесены ТМ, в первый год проведения эксперимента выше, чем нитрофоски.

Следует отметить, что на почве, где не внесены ТМ, продуктивность яровой пшеницы при внесении супродита в первый год опыта на 16% выше, чем при использовании нитрофоски. Эта закономерность сохраняется и на второй год опыта (рис. 1, 2).

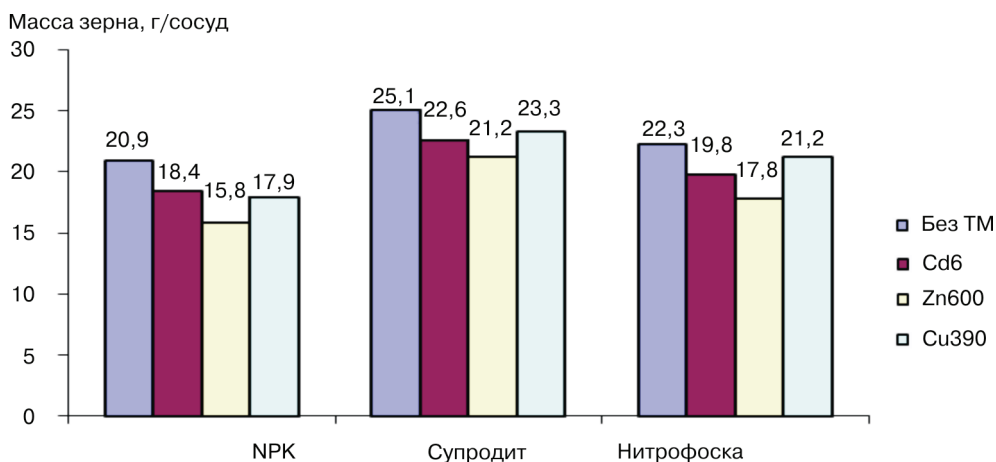


Рис. 2. Влияние удобрений на массу зерна яровой пшеницы на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве (2-й год опыта)

При внесении в дерново-подзолистую среднесуглинистую почву Cd в концентрации 6 мг/кг урожай зерна яровой пшеницы на фоне простых минеральных удобрений снижается по сравнению с почвой без применения ТМ на 12%. Минимальные потери урожая зерна на почве, загрязненной Cd, отмечены при внесении Супродита. Через год после внесения нитрофоски и Супродита в почву, содержащую Cd, урожай зерна в 1,1—1,2 раза выше, чем в варианте с простыми минеральными удобрениями.

Негативное действие Zn в концентрации 600 мг/кг почвы на продуктивность яровой пшеницы проявилось и на второй год опыта: на фоне 1 (НПК) масса зерна снизилась на 24%, на фоне нитрофоски — на 20%, на фоне Супродита — на 16% по сравнению с почвой без ТМ. При двухлетней инкубации Zn в почве отрицательное влияние на урожайность яровой пшеницы на всех исследуемых агрофонах значительно меньше, чем в год внесения.

Продуктивность яровой пшеницы при внесении в почву Cu в количестве 390 мг/кг снижается на 5—14% по сравнению с почвой, не содержащей ТМ (см. рис. 2). При использовании нитрофоски на почве, содержащей Cu, получен урожай зерна в 1,2 раза выше, чем в варианте с НПК.

На почве, содержащей Cd, Zn, Cu, при внесении Супродита продуктивность яровой пшеницы повышается на 23—34% по сравнению с НПК (фон 1). Наибольшее влияние Супродита на нивелирование отрицательного действия ТМ на ростовые процессы и формирование зерна отмечено на почве, загрязненной Zn. Масса зерна на загрязненной Zn почве, в варианте с Супродитом была выше на 34%, чем на фоне НПК. Использование Супродита на техногенно-загрязненной почве на второй год опыта обеспечивало получение более высокого урожая зерна яровой пшеницы — на 10—16%, чем при внесении нитрофоски.

Известно, что повышение уровня плодородия почв и улучшение условий минерального питания растений, возделываемых на почвах, загрязненных ТМ, способствует получению продукции с наименьшим содержанием загрязнителей.

При загрязнении дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы Cd в концентрации 6 мг/кг Супродит ограничивает поступление токсиканта в растения в 1,7—2,0 раза по сравнению с простыми минеральными удобрениями и нитрофоской (табл. 2). В первый год опыта накопление Cd в зерне яровой пшеницы при внесении нитрофоски было в 1,2 раза выше, чем в варианте NPK (фон 1).

Таблица 2

Влияние удобрений на накопление Cd, Zn, Cu в зерне яровой пшеницы на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве (1-й год опыта)

Вариант	Содержание элементов в зерне, мг/кг		
	Cd	Zn	Cu
NPK — фон 1	0,010 ± 0	43,1 ± 0,9	5,6 ± 0,4
Фон 1 + Cd ₆	2,53 ± 0,009	40,4 ± 1,5	4,7 ± 0,3
Фон 1 + Zn ₆₀₀	0,03 ± 0,008	266,9 ± 18,0	4,0 ± 0,5
Фон 1 + Cu ₃₉₀	0,02 ± 0,007	42,3 ± 1,7	19,3 ± 0,9
Супродит — фон 2	0,015 ± 0,002	45,3 ± 0,8	4,9 ± 0,4
Фон 2 + Cd ₆	1,50 ± 0,07	41,8 ± 1,5	5,3 ± 0,5
Фон 2 + Zn ₆₀₀	0,02 ± 0,008	164,9 ± 9,5	5,1 ± 0,3
Фон 2 + Cu ₃₉₀	0,03 ± 0,007	43,8 ± 1,4	11,5 ± 0,5
Нитрофоска — фон 3	0,015 ± 0,001	43,6 ± 0,6	5,1 ± 0,3
Фон 3 + Cd ₆	3,06 ± 0,12	42,8 ± 0,9	5,7 ± 0,2
Фон 3 + Zn ₆₀₀	0,015 ± 0,003	247,4 ± 10,0	4,9 ± 0,4
Фон 3 + Cu ₃₉₀	0,020 ± 0,005	39,8 ± 1,2	15,7 ± 0,6

Внесение комплексных удобрений — нитрофоски и Супродита — в почву, загрязненную Zn в концентрации 3 ОДК, снижает накопление токсиканта в зерне яровой пшеницы в 1,1—1,6 раза по сравнению с применением простых минеральных удобрений (NPK).

Эффективность Супродита по снижению перехода Zn из почвы в зерно яровой пшеницы максимальна и составляет 1,6 раза. Содержание Zn в зерне при внесении Супродита в 1,5 раза ниже, чем при использовании нитрофоски.

При загрязнении почвы Cu в концентрации 390 мг/кг применение нитрофоски способствует снижению накопления загрязнителя в урожае в 1,2 раза. Содержание Cu в зерне при внесении Супродита в 1,7 раза ниже, чем в варианте с внесением простых минеральных удобрений (фон 1). В первый год опыта применение Супродита на почве, содержащей ТМ в концентрации 3 ОДК, обеспечивает снижение содержания Cd, Zn, Cu в зерне яровой пшеницы в 1,4—2,0 раза по сравнению с нитрофоской.

Через год после внесения комплексные удобрения — Супродит и нитрофоска — способствуют снижению поступления Cd, Zn, Cu из почвы в растения в 1,2—2,2 раза по сравнению с простыми минеральными удобрениями (NPK). Максимальное снижение содержания Cd в зерне яровой пшеницы до 2,2 раза получено при внесении Супродита. Накопление Cd в урожае при использовании нитрофоски снижается в 1,4 раза по сравнению с NPK (фон 1). Последствие Супродита по снижению поступления Cd в растения при одинаковом уровне загрязнения почвы выше (до 1,5 раза), чем нитрофоски (табл. 3).

Таблица 3

Влияние удобрений на накопление Cd, Zn, Cu в зерне яровой пшеницы на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве (2-й год опыта)

Вариант	Содержание элементов в зерне, мг/кг		
	Cd	Zn	Cu
НРК — фон 1	0,02 ± 0,001	37,8 ± 1,2	5,5 ± 0,3
Фон 1 + Cd ₆	1,85 ± 0,11	40,3 ± 1,8	4,7 ± 0,5
Фон 1 + Zn ₆₀₀	0,05 ± 0,01	232,5 ± 14,0	3,9 ± 0,2
Фон 1 + Cu ₃₉₀	0,04 ± 0,01	41,4 ± 1,9	19,5 ± 0,7
Супродит — фон 2	0,04 ± 0,01	40,8 ± 2,1	4,9 ± 0,6
Фон 2 + Cd ₆	0,84 ± 0,09	41,6 ± 2,4	5,6 ± 0,4
Фон 2 + Zn ₆₀₀	0,06 ± 0,02	128,1 ± 8,9	5,0 ± 0,2
Фон 2 + Cu ₃₉₀	0,07 ± 0,01	42,7 ± 1,5	10,4 ± 0,5
Нитрофоска — фон 3	0,02 ± 0,01	39,9 ± 1,7	4,9 ± 0,3
Фон 3 + Cd ₆	1,30 ± 0,08	44,3 ± 1,8	5,8 ± 0,2
Фон 3 + Zn ₆₀₀	0,06 ± 0,01	193,3 ± 12,0	4,3 ± 0,3
Фон 3 + Cu ₃₉₀	0,04 ± 0,01	40,7 ± 1,5	14,3 ± 0,5

Наибольшее количество Zn в зерне яровой пшеницы, как и в первый год опыта, накапливалось при внесении НРК. Содержание Zn в зерне при внесении нитрофоски в 1,2 раза ниже, чем в варианте с НРК. Эффективность Супродита по ограничению перехода Zn из почвы в растения на второй год составляет 1,8 раза, т.е. выше, чем в год внесения. При загрязнении почвы Zn положительное действие Супродита как по увеличению продуктивности яровой пшеницы, так и по снижению накопления загрязнителя в урожае значительно выше, чем при использовании нитрофоски. На второй год опыта накопление Cu в зерне при применении Супродита в 1,9 раза ниже, чем при внесении НРК. Содержание Cu в зерне при внесении нитрофоски снижается по сравнению с НРК в 1,4 раза. В свою очередь, Супродит в 1,4 раза эффективнее нитрофоски в ограничении перехода Cu в зерно. Последствие Супродита и нитрофоски по ограничению перехода Cu из загрязненной почвы в растения значительно выше, чем в первый год опыта. Положительное действие Супродита проявилось как по снижению фитотоксичности ТМ на рост и развитие растений, особенно Zn, внесенного в количестве 600 мг/кг почвы, так и по накоплению их в зерне.

Применение комплексных удобрений — Супродита и нитрофоски — при выращивании зерновых культур на техногенно-загрязненных почвах позволяет получать зерно с меньшим содержанием Cd, Zn, Cu, чем при внесении традиционных минеральных удобрений промышленного производства (НРК).

Полученные результаты исследований свидетельствуют о перспективности использования нового комплексного удобрения Супродит, обладающего пролонгированным действием, при возделывании яровых зерновых культур на почвах, загрязненных тяжелыми металлами.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Черных Н.А., Милащенко Н.З., Ладонин В.Ф. Экотоксикологические аспекты загрязнения почв тяжелыми металлами. — М.: Агроконсалт, 1999.

- [2] *Жигарева Т.Л., Алексахин Р.М., Свириденко Д.Г., Ратников А.Н., Попова Г.И., Петров К.В.* Влияние природных мелиорантов и тяжелых металлов на урожай зерновых культур и микрофлору дерново-подзолистой почвы // *Агрохимия*. — 2005. — № 11. — С. 60—65.
- [3] Ориентировочно-допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве. Гигиенические нормативы ГН 2.1.7.2041-06. — С. 43.
- [4] Практикум по агрохимии / Под ред. В.Г. Минеева. — М.: Изд-во МГУ, 2001.
- [5] Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. — М.: ЦИНАО, 1992.
- [6] *Журбицкий З.И.* Теория и практика вегетационного опыта. — М.: Наука, 1968.
- [7] *Доспехов Б.А.* Планирование полевого опыта и статистическая обработка его данных. — М.: Колос, 1972. — С. 85—92.

FERTILIZERS EFFECTS ON SPRING WHEAT PRODUCTIVITY AND HEAVY METALS (Cd, Zn, Cu) ACCUMULATION IN PLANT

**M.N. Kartuzova¹, N.A. Chernykh¹, T.L. Zhigareva²,
G.I. Popova²**

¹Peoples' Friendship University of Russia
Podolskoe shosse, 8/5, Moscow, Russia, 113093

²Russian Institute of Agricultural Radiology and Agroecology
Kievskoe av., 109 km, Obninsk, Russia, 249032

Results of a 2-year greenhouse experiment have shown, that fertilizers differently effect on spring wheat productivity and heavy metals accumulation in the plant.

Contaminated with Cd, Zn и Cu soddy-podzolic soil shown 10—45% lower wheat yield, compared with the soil without heavy metals. Zn effects more negative on growth and formation of wheat yield, especially in a variant with NPK-amended soil. In the second year, the effect is the same. Suprodit-amended Cd, Cu and Zn contaminated soil showed a 1,4—2,0 lower uptake of heavy metals in the plant than NPK and nitrophosphate-amended soils in the first year and a 1,4—2,2 — in the second year.

Key words: heavy metals, soddy-podzolic soil, productivity, Suprodit, NPK, nitrophosphate.