

---

## ВЛИЯНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ (CD, ZN, CU) И АГРОМЕЛИОРАНТОВ НА БИОЛОГИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ

**М.Н. Картузова, Н.А. Черных**

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

**А.Н. Ратников, Д.Г. Свириденко**

Всероссийский научно-исследовательский институт  
сельскохозяйственной радиологии и агроэкологии РАСХН  
*Киевское шоссе, 109 км, Обнинск, Калужская область, Россия, 249032*

Результаты исследований по изучению влияния тяжелых металлов (Cd, Zn и Cu) и мелиорантов на продуктивность ячменя и биологическую активность дерново-подзолистой почвы свидетельствуют о том, что загрязнение почвы тяжелыми металлами (ТМ) влияет на процессы превращения углерода и азота в почве — дыхание и денитрификацию. Так на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве  $Zn_{600}$  и  $Cu_{390}$  оказываются более токсичными, чем  $Cd_6$ , и снижают потенциальную активность дыхания почвы под ячменем в 1,6 раза, а потенциальную активность денитрификации почвы — в 1,4 и 2,3 раза соответственно. При изучении различных агромелиорантов установили, что использование комплексного удобрения «Супродита» на техногенно загрязненных территориях наиболее перспективно в отношении нивелирования негативного действия ТМ на процессы разложения органического вещества и уровень плодородия почвы по сравнению с NPK и нитрофоской.

**Ключевые слова:** тяжелые металлы, агромелиоранты, дерново-подзолистая почва, потенциальная активность: дыхания почвы, денитрификации почвы.

Антропогенное воздействие в конце XX — начале XXI в. породило целый ряд проблем, связанных с техногенным загрязнением значительных по масштабам территорий.

Одним из наиболее опасных последствий загрязнения почвы тяжелыми металлами (ТМ) (Cd, Cu, Zn) следует считать нарушение биологической активности почвы, численности и состава почвенной микрофлоры и следующую за этим потерю плодородия почвы. Существует тесная корреляционная связь между параметрами биологической активности почв, уровнем ее плодородия и величиной урожайности сельскохозяйственных культур [1].

Попадающие в почву ТМ ингибируют протекание важных микробиологических процессов, в первую очередь трансформацию соединений углерода и азота. Одним из наиболее масштабных этапов в круговороте углерода является его высвобождение из различных органических соединений в виде углекислоты — дыхание почвы. Интенсивность дыхания почвы характеризует процессы минерализации органического вещества. Во многих работах отмечается, что высокие дозы ТМ ингибируют протекание этого процесса [2].

ТМ оказывают ингибирующее действие и на процесс естественного вовлечения азота в круговорот — азотфиксацию. Процесс денитрификации является обратным азотфиксации, и осуществляют его те же микроорганизмы при изменении условий внешней среды [3].

Изучение влияния ТМ (Cd, Cu, Zn) и мелиорантов на показатели продуктивности растений и биологической активности дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы (потенциальную активность денитрификации и дыхания почвы) проводилось в вегетационных опытах при выращивании ячменя в 4-килограммовых сосудах (табл. 1). Дозы ТМ были выбраны исходя из реального содержания Cd, Zn и Cu в гумусовых горизонтах дерново-подзолистых почв вблизи автотрасс и промышленных предприятий. ТМ вносили в виде сернокислых солей в дозах, мг/кг почвы: Cd — 6, Cu — 390, Zn — 600, что соответствует трем ориентировочно допустимым концентрациям (ОДК) для нейтральных суглинистых почв [4]. Питательные элементы вносили в количестве 0,15 г/кг почвы N, P и K внесены в виде растворов солей  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  и  $\text{K}_2\text{SO}_4$  соответственно. Новое комплексное удобрение пролонгированного действия «Супродит» содержит питательные элементы: N — 14%;  $\text{P}_2\text{O}_5$  — 15,7%;  $\text{K}_2\text{O}$  — 11,2% и обладает высокой емкостью катионного обмена 126 мг-экв/100 г почвы. При внесении «Супродита» за основу брали содержание в нем азота, чтобы оно было равно 0,15 г/кг, как и при внесении основных питательных элементов NPK. «Супродит» вносили в количестве 0,25 г/кг почвы (0,025% от веса почвы) или 1 г/сосуд, нитрофоску — в количестве 0,37 г/кг почвы или 1,5 г/сосуд. Повторность опытов 4-кратная.

Таблица 1

**Агрохимические показатели дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы до проведения вегетационного опыта**

pH <sub>кол</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	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

Потенциальную активность дыхания по эмиссии CO<sub>2</sub> и денитрификацию почвы определяли на газовом хроматографе модели 3700 с пламенно-ионизационным детектором и детектором по теплопроводности [5].

Результаты исследований показали, что Zn и Cu в количестве 600 и 390 мг/кг почвы негативно влияли на растения ячменя, снизив надземную биомассу на 10 и 45% по отношению к NPK и на 13 и 20% по отношению к варианту, где в почву внесена нитрофоска, соответственно (табл. 2). При применении «Супродита» только в варианте с Cu наблюдалось снижение биомассы на 19% по сравнению с вариантом без внесения в почву металла. Внесение «Супродита» в почву, содержащую Zn<sub>600</sub> и Cu<sub>390</sub>, оказалось эффективнее внесения стандартных питательных элементов (NPK) и нитрофоски — биомасса ячменя была в 1,1 и 1,5 раза выше, чем при внесении NPK, и в 1,2 и 1,1 раза превышала вес биомассы по сравнению с вариантом, где была внесена нитрофоска, соответственно (табл. 2).

**Влияние различных видов удобрений на накопление ТМ биомассой ячменя на дерново-подзолистой почве**

Вариант опыта	Биомасса ячменя, г/растение	Содержание ТМ в биомассе ячменя, мг/кг		
		Cd	Zn	Cu
Фон 1 — NPK*	1,00 ± 0,05	0,87 ± 0,04	53,0 ± 8,0	8,5 ± 0,4
Фон 2 — КУ	1,05 ± 0,04	0,72 ± 0,02	30,0 ± 1,0	7,5 ± 0,4
Фон 3 — НФ	0,94 ± 0,05	0,80 ± 0,03	44,0 ± 1,5	8,2 ± 0,2
Фон 1 + Cd <sub>6</sub> **	1,08 ± 0,05	5,93 ± 0,10	40,0 ± 0,0	7,1 ± 0,2
Фон 2 + Cd <sub>6</sub>	1,10 ± 0,05	4,88 ± 0,08	33,0 ± 2,2	5,9 ± 0,2
Фон 3 + Cd <sub>6</sub>	0,93 ± 0,04	6,25 ± 0,35	34,0 ± 6,8	7,2 ± 0,5
Фон 1 + Zn <sub>600</sub>	0,90 ± 0,03	0,90 ± 0,02	478,0 ± 15,1	9,7 ± 0,2
Фон 2 + Zn <sub>600</sub>	1,00 ± 0,03	0,80 ± 0,02	431,0 ± 7,4	10,2 ± 0,4
Фон 3 + Zn <sub>600</sub>	0,82 ± 0,04	0,97 ± 0,03	622,0 ± 20,7	10,2 ± 0,3
Фон 1 + Cu <sub>390</sub>	0,55 ± 0,03	1,20 ± 0,12	60,0 ± 5,7	31,5 ± 5,2
Фон 2 + Cu <sub>390</sub>	0,85 ± 0,04	0,74 ± 0,02	45,0 ± 1,7	22,0 ± 0,3
Фон 3 + Cu <sub>390</sub>	0,75 ± 0,03	0,91 ± 0,08	34,7 ± 2,2	18,4 ± 0,4

\* по 0,15 г/кг почвы N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O соответственно; \*\* мг/кг почвы; КУ — комплексное удобрение; НФ — нитрофоска.

«Супродит» существенно снижает накопление ТМ растениями ячменя. Так, в варианте с применением «Супродита» накопление Cd биомассой ячменя оказалось в 1,2 раза ниже, чем в случае внесения в почву NPK, и в 1,3 раза меньше, чем в варианте с нитрофоской; Zn в 1,1 и 1,4 раза ниже по сравнению с NPK и нитрофоской соответственно; Cu в 1,4 раза ниже по сравнению с применением NPK (табл. 2).

Установлено, что Cd внесенный в количестве 6 мг/кг почвы не снижает уровень дыхания почвы, в которую был внесен «Супродит», в течение вегетационного периода ячменя. При совместном присутствии в почве Cd и NPK Cd снижает скорость эмиссии CO<sub>2</sub> в почве под ячменем в 1,2 раза по сравнению с вариантом, в котором Cd отсутствовал, а в варианте с нитрофоской — в фазы выхода в трубку и полной спелости ячменя в 1,1 раза соответственно. «Супродит» в варианте, где в почву был внесен Cd<sub>6</sub>, сглаживал негативное влияние токсиканта и повышал активность дыхания почвы в 1,3 раза по сравнению с нитрофоской в фазу выхода в трубку ячменя. Увеличение потенциальной активности дыхания почвы при применении «Супродита» и Cd<sub>6</sub> отмечалось в фазу колошения ячменя 1,7 и 1,9 раза по сравнению с внесением NPK и нитрофоски; а в фазу полной спелости — 1,2 и 1,5 раза, соответственно.

Zn и Cu в концентрациях соответствующих 3 ОДК почвы оказываются более токсичными, чем Cd, и снижают потенциальную активность дыхания почвы под ячменем в 1,2—1,6 и 1,1—1,6 раза по отношению к NPK соответственно в зависимости от фазы развития ячменя. Те же металлы в указанных концентрациях снижают уровень дыхания почвы под ячменем в зависимости от фазы развития растений в 1,1—1,2 и 1,1—1,5 раза по отношению к комплексному удоб-

рению, а по отношению к нитрофоске — в 1,3—1,4 и 1,4—2,2 раза соответственно. «Супродит», фиксирующий избыточные количества ТМ в почве, оказывается эффективнее NPK и нитрофоски на загрязненной Zn и Cu почве. Так, в варианте с Zn<sub>600</sub> происходит увеличение активности дыхания почвы под ячменем по сравнению с NPK и нитрофоской: в 2,1 и 1,9 раза в фазу выхода в трубку; 1,3 и 1,9 в фазу колошения; 1,2 и 1,5 раза при полной спелости зерна ячменя соответственно. В варианте с Cu<sub>390</sub> скорость эмиссии CO<sub>2</sub> в почве при внесении «Супродита» значительно выше по сравнению с вариантом, где внесены NPK и нитрофоска, и составляет: 1,6; 1,6; 1,1 и 2,3 раза соответственно. Следует отметить, что нитрофоска наименее эффективна, по сравнению с двумя другими удобрениями, в отношении влияния на активность дыхания дерново-подзолистой почвы, загрязненной повышенными дозами ТМ (табл. 3).

Уровень потенциальной активности денитрификации почвы под ячменем в фазу полной спелости оказывается низким во всех вариантах опыта. Используемые в данном опыте виды удобрений в 1,2—1,6 раза увеличивают уровень денитрификации почвы по сравнению с NPK. Cd, внесенный в почву в количестве 6 мг/кг вместе с «Супродитом», повышает показатель биологической активности почвы в 1,4 раза, а внесенный вместе с нитрофоской не влияет на данный показатель. В варианте с NPK Cd<sub>6</sub> снижает потенциальную активность денитрификации в почве под ячменем в 1,2 раза по сравнению с NPK (табл. 3).

Таблица 3

**Влияние агроメリорантов на потенциальную активность дыхания и денитрификации загрязненной тяжелыми металлами дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы (2007 г.)**

Вариант опыта	Потенциальная активность, мг/кг.сут			
	дыхания, аС-CO <sub>2</sub>			денитрификации, аN-N <sub>2</sub> O
	выход в трубку	колошение	полная спелость	полная спелость
Фон 1 — NPK	652,6 ± 30,1	1 024,0 ± 52,7	827,0 ± 15,9	3,6 ± 0,3
Фон 2 — КУ	700,4 ± 33,0	1 319,1 ± 90,9	887,2 ± 66,7	4,9 ± 0,1
Фон 3 — НФ	633,1 ± 12,6	758,8 ± 32,1	723,8 ± 25,2	4,1 ± 0,4
Фон 1 + Cd <sub>6</sub>	739,3 ± 8,1	875,5 ± 27,7	866,6 ± 7,3	2,9 ± 0,2
Фон 2 + Cd <sub>6</sub>	735,4 ± 33,0	1 505,9 ± 66,0	1 003,9 ± 81,4	5,1 ± 0,4
Фон 3 + Cd <sub>6</sub>	570,0 ± 7,3	812,6 ± 14,8	653,7 ± 19,1	4,0 ± 0,4
Фон 1 + Zn <sub>600</sub>	398,9 ± 62,0	865,7 ± 21,0	658,6 ± 36,1	2,5 ± 0,3
Фон 2 + Zn <sub>600</sub>	840,5 ± 16,5	1 120,7 ± 66,0	779,9 ± 15,1	2,8 ± 0,1
Фон 3 + Zn <sub>600</sub>	441,9 ± 6,8	592,1 ± 18,0	537,0 ± 34,4	2,6 ± 0,1
Фон 1 + Cu <sub>390</sub>	398,9 ± 62,0	933,9 ± 27,5	658,8 ± 18,0	1,6 ± 0,1
Фон 2 + Cu <sub>390</sub>	642,2 ± 8,6	896,7 ± 8,7	737,6 ± 37,9	2,6 ± 0,1
Фон 3 + Cu <sub>390</sub>	391,8 ± 18,0	550,3 ± 11,7	323,8 ± 22,8	2,2 ± 0,3

«Супродит», влияющий на фиксацию избыточных количеств ТМ в почве, оказывается наиболее эффективен на загрязненной ТМ почве. Так, в варианте с Zn<sub>600</sub> кратность увеличения активности денитрификации почвы под ячменем по срав-

нению с NPK и нитрофоской составляет 1,1 раза. В варианте с  $Cu_{390}$  кратность повышения уровня денитрификации в почве при внесении «Супродита» оказывается еще выше по сравнению с применением NPK и нитрофоски и составляет 1,6 и 1,2 раза соответственно (табл. 3).

Таким образом, «Супродит» (комплексное удобрение пролонгированного действия) является наиболее перспективным агроамелиорантом на техногенно загрязненной дерново-подзолистой почве, нивелирующим негативное действие ТМ на процессы разложения органического вещества, уровень плодородия почвы и биомассу ячменя.

### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Левин С.В., Гузев В.С., Асеева К.В. и др. Тяжелые металлы как фактор антропогенного воздействия на почвенную микробиоту // Микроорганизмы и охрана почв. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1989. — С. 5—46.
- [2] Евдокимова Г.А. Экологически допустимые промышленные воздействия на почвенную биоту и возможность восстановления биологических свойств почвы // Экол.-геогр. проблемы Кольского Севера / Кольский научный центр РАН. — Апатиты, 1992. — С. 47—50, 140.
- [3] Умаров М.М. Ассоциативная азотфиксация. — М., 1986.
- [4] Ориентировочно-допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве: Гигиенические нормативы ГН 2.1.7.2041-06. — С. 43.
- [5] Методы почвенной микробиологии и биохимии / Под ред. Д.Г. Звягинцева. — М.: Изд-во МГУ, 1991.

## EFFECTS OF HEAVY METALS (CD, ZN, CU) AND AGROAMELIORANTS ON BIOLOGICAL ACTIVITY IN SODDY-PODZOLIC SOIL

**M.N. Kartuzova, N.A. Chernykh**

Russian Peoples' Friendship University  
*Podolskoye shosse, 8/5, Moscow, Russia, 113093*

**A.N. Ratnikov, D.G. Sviridenko**

Russian Institute of Agricultural Radiology and Agroecology  
*Kievskoe chosse, 109 km, Obninsk, Kalougsckay oblast, Russia, 249032*

Heavy metals (Cd, Zn, Cu) and agroameliorants effect on biological activity of the soddy-podzolic soil (carbon dioxide release; denitrifying process) and barley productivity. Results of the study have shown that Zn and Cu are more toxic in comparison with Cd, because decrease the rate of carbon dioxide release of the soil in 1,6 times; the rate of denitrification in 1,4 and 2,3 times, appropriately. Usage of the long-acting fertilizer SYPRODIT on the soddy-podzolic contaminated with heavy metals soil is more effective in reducing of negative influence of heavy metals on the process of organic matter destruction and soil fertility compared to variants with nitrofoska and NPK.

**Key words:** heavy metals, agroameliorants, soddy-podzolic soil, soil respiration, soil denitrification.