

УДК 504.054: 631,5

UDC 504.054: 631,5

**О ТРАНСФОРМАЦИИ ТЯЖЕЛЫХ  
МЕТАЛЛОВ В ПАХОТНОМ СЛОЕ  
ЧЕРНОЗЕМА ВЫЩЕЛОЧЕННОГО  
ЗАПАДНОГО ПРЕДКАВКАЗЬЯ**

**ABOUT TRANSFORMATION OF HEAVY  
METALS IN THE ARABLE LAYER OF BLACK  
LEACHED SOIL OF THE WESTERN  
CISCAUCASIA**

Гайдукова Нина Георгиевна  
к. х. н., доцент

Gaidukova Nina Georgievna  
Cand. Chem. Sci., assistant professor

Кошеленко Наталья Александровна  
старший преподаватель

Koshelenko Natalia Aleksandrovna  
Senior lecturer

Макарова Ирина Николаевна  
студент  
*Кубанский государственный аграрный  
университет, Краснодар, Россия*

Makarova Irina Nikolaevna  
student  
*Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia*

В работе представлены результаты исследований влияния длительного применения минеральных и органических удобрений на подвижность тяжелых металлов в черноземе выщелоченном Западного Предкавказья. Внесение удобрений не оказывает существенного влияния на содержание подвижных форм марганца, меди, цинка, кобальта, свинца и кадмия в пахотном слое почвы

In this work the results of researches of influence of long-term application of mineral and organic fertilizers on mobility of heavy metals in black leached soil of the Western Ciscaucasia are presented. Application of fertilizers does not render essential influence on the content of mobile forms of manganese, copper, zinc, cobalt, lead and cadmium in an arable layer of earth

Ключевые слова: МОНИТОРИНГ, ТЯЖЕЛЫЕ  
МЕТАЛЛЫ, ПОДВИЖНЫЕ ФОРМЫ, ЧЕРНОЗЕМ  
ВЫЩЕЛОЧЕННЫЙ

Keywords: MONITORING, HEAVY METALS,  
MOBILE FORMS, BLACK LEACHED SOIL

Сохранение плодородия почв и получение качественной и безопасной для здоровья сельскохозяйственной продукции являются одними из наиболее важных и остро стоящих проблем в аграрном секторе.

Внесение органических и минеральных удобрений, применение средств защиты растений от вредителей и болезней – важные средства управления плодородием почвы и увеличением продуктивности земледелия. Однако высокие дозы удобрений и средств защиты растений могут быть причиной загрязнения почв различными токсичными веществами, в том числе и тяжелыми металлами [1, с. 274].

В данной работе представлены результаты исследований влияния различных агротехнологий на содержание подвижных форм марганца, меди, цинка, кобальта, свинца и кадмия в пахотном слое чернозема выщелоченного Западного Предкавказья. Подвижные соединения

химических элементов представляют собой наиболее важную с точки зрения питания растений группу соединений. Соединения таких элементов, как марганец, медь, цинк, кобальт играют важную роль в жизни растений. Как микроэлементы, рассмотренные металлы участвуют в ферментативных, окислительно-восстановительных процессах, обмене углеводов и других биохимических процессах, протекающих в растительных и животных организмах.

Многочисленными исследованиями ученых разных стран определены оптимальные уровни содержания в почве подвижных форм этих элементов, необходимых для нормального развития растений (табл. 1). [2, с. 12]

**Таблица 1 – Уровни обеспеченности почв подвижными формами тяжелых металлов (мг/кг)**

Уровень обеспеченности	Медь (Cu)	Цинк (Zn)	Кобальт (Co)	Марганец (Mn)	Кадмий (Cd)	Свинец (Pb)
Очень низкий	0,2	0,3	0,2	1	-	-
Низкий	0,3	0,3-1	0,3-1	2-10	-	-
Средний	2,0	2-3	1,5-3	20-50	-	-
Высокий	4,0	4-5	4-5	60-100	-	-
Предельно допустимая концентрация (ПДК)	5,0	23,0	5,0	140	0,2	6,0

Кадмий и свинец не входят в число необходимых для растений элементов, более того, они относятся к особо опасным элементам для растений и жизнедеятельности животных и человека.

Избыточное содержание тяжелых металлов (ТМ) в почве оказывает токсичное, вредное воздействие на растения. Поэтому требуется постоянный контроль содержания ТМ в почве, растениях. По содержанию подвижных соединений и соответствию их предельно допустимым

концентрациям устанавливают загрязнение почв тяжелыми металлами. Этим обусловлена актуальность рассматриваемого вопроса.

Тяжелые металлы обладают высокой способностью к многообразным химическим, физико-химическим и биологическим реакциям, что обуславливает их трансформацию – переход из легкодоступных форм в недоступные, прочнофиксированные формы соединений. С удобрениями вносятся, как правило, легкорастворимые соединения и первой стадией процесса трансформации внесенных соединений является адсорбция. Наряду с поглощением активно протекают процессы осаждения, коагуляции, образования прочных органо-минеральных комплексов [3, с. 65].

Соединения тяжелых металлов в почве подразделяют на группы:



Водорастворимые и обменные формы соединений являются подвижными, доступными для растений.

Процесс перехода подвижных форм в кислоторастворимые и прочнофиксированные зависит от многих факторов: свойств элемента, радиуса его ионов, почвенных факторов (содержание гумуса, фосфатов, карбонатов, кислотности и др.).

В таблице 2 показаны почвенные факторы, вызывающие снижение содержания подвижных форм соединений в почве [4, с. 115].

**Таблица 2 – Почвенные факторы, способствующие дефициту микроэлементов.**

Элементы	pH	Органическое вещество	Водный режим	Химический состав	Критические пределы дефицита, мг/кг
Co	< 4, > 7	Много	Сильное увлажнение	CaCO <sub>3</sub> , Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , MnO <sub>2</sub>	0,02-0,03
Cu	< 4	Много	Сильное увлажнение	N, P, Zn, CaCO <sub>3</sub>	1-2
Mn	< 4, > 7	Много	Дренаж плохой	CaCO <sub>3</sub>	2
Zn	< 4	Много	Заболоченность	Оксиды Fe (II), Fe (III)	0,04

### Методика исследований

В рамках мониторинга земель Краснодарского края в Кубанском государственном аграрном университете (КГАУ) ведутся исследования по влиянию различных технологий возделывания с/х культур на содержание подвижных форм тяжелых металлов в почве [5, с. 73]. Место проведения исследований – опытное поле КГАУ. Почва опытного поля представлена черноземом выщелоченным с мощностью гумусового горизонта 150-160 см. Почвообразующие породы – лессовидные тяжелые суглинки. Содержание гумуса в пахотном слое небольшое (2,5-3,6%), обеспеченность подвижным фосфором и обменным калием высокая, верхний слой имеет слабокислую (pH≈6,6) или нейтральную реакцию (pH=7,0).

Схема опыта представляет собой часть выборки из полной схемы многофакторного опыта и включает 12 из 48 вариантов, имеющих в опыте.

Система основной обработки почвы включает три варианта: Д<sub>1</sub> – безотвальная (почвозащитная) предусматривает использование орудий, имеющих плоскорезные рабочие органы; Д<sub>2</sub> – рекомендуемая

(применяемая в зоне для конкретных культур); Д<sub>3</sub> – отвальная с периодическим глубоким рыхлением.

Способы основной обработки почвы накладывались на четыре варианта с различными уровнями плодородия, системами удобрений, системами защиты растений от сорняков, вредителей и болезней. Варианты агротехнологий получили условное название: 000 – экстенсивная; 111 – беспестицидная; 222 – экологически допустимая; 333 – интенсивная. В связи с изучением нескольких факторов в схеме опыта принята следующая индексация вариантов: первая цифра – уровень плодородия, вторая – система удобрений, третья – система защиты растений.

Почвенные образцы отбирались в апреле 2006 г., слой почвы 0-20 см, культура – озимая пшеница, предшественник – подсолнечник.

Подвижные формы (ПФ) тяжелых металлов (ТМ) из почвенных образцов извлекались ацетатно-аммонийным буфером (рН=4,8), в вытяжках количественное определение ТМ проводили атомно-абсорбционным методом (ГОСТы 50682-687).

### **Результаты исследований**

В таблице 3 представлены данные содержания подвижных форм марганца, меди и цинка в пахотном слое чернозема выщелоченного при различных вариантах агротехнологии.

Математическая обработка результатов исследований методом однофакторного дисперсионного анализа существенных различий между вариантами опыта не выявила.

**Таблица 3 – Влияние агротехнологий на содержание подвижных форм марганца, меди и цинка в черноземе выщелоченном (опытное поле КГАУ, культура – озимая пшеница, 2006 г.), мг/кг**

Варианты	Способы обработки		
	Марганец (Mn)	Медь (Cu)	Цинк (Zn)

	Д <sub>1</sub>	Д <sub>2</sub>	Д <sub>3</sub>	Д <sub>1</sub>	Д <sub>2</sub>	Д <sub>3</sub>	Д <sub>1</sub>	Д <sub>2</sub>	Д <sub>3</sub>
000	13,5	17,5	15,4	0,98	0,71	0,69	0,99	1,06	1,21
111	28,0	15,8	15,1	1,42	0,79	1,45	1,63	1,05	1,06
222	18,6	18,6	12,5	1,34	0,88	1,32	1,24	0,76	0,76
333	26,1	25,8	21,6	2,0	1,18	1,4	1,33	1,57	1,3
среднее	21,6	19,4	16,2	1,44	0,89	1,22	1,30	1,2	1,08

Анализ данных таблицы 3 позволяет сделать следующие выводы:

- повышение плодородия почвы способствует увеличению содержания подвижных форм марганца, меди и цинка при всех способах обработки почвы;
- содержание подвижных форм соединений марганца и меди возрастает в 2 раза при внесении тройных доз удобрений (вариант 333) и безотвальном способе обработки почвы (Д<sub>1</sub>).

Увеличение содержания подвижных форм марганца, меди и цинка в пахотном слое обусловлено тем, что удобрения, вносимые на опытном поле, содержат тяжелые металлы в растворимой форме (табл. 4).

**Таблица 4 – Содержание тяжелых металлов в удобрениях, применяемых на опытном поле (КГАУ, 2006 г.)**

Удобрения	Тяжелые металлы, мг/кг <sub>(сухого вещества)</sub>					
	Mn	Cu	Zn	Pb	Cd	Co
аммофос	46.16	13.00	13.67	0.605	0.0915	0.415
KCl	6.805	0.875	3.33	0.22	0.0495	0.046
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	7.227	1.6	5.97	0.415	0.0985	0.40
навоз	322.9	33.9	99.8	4.05	0.099	3.72

При отвальной обработке (Д<sub>3</sub>) увеличивается водопроницаемость пахотного слоя, что способствует вымыванию растворимых соединений в подпахотный слой.

Данные анализа почвенных образцов на содержание подвижных форм свинца, кобальта и кадмия представлены в таблице 5.

**Таблица 5 – Влияние различных агротехнологий на содержание подвижных форм кобальта, свинца и кадмия в пахотном слое**

**чернозема выщелоченного (опытное поле КГАУ, культура – озимая пшеница, 2006 г.), мг/кг**

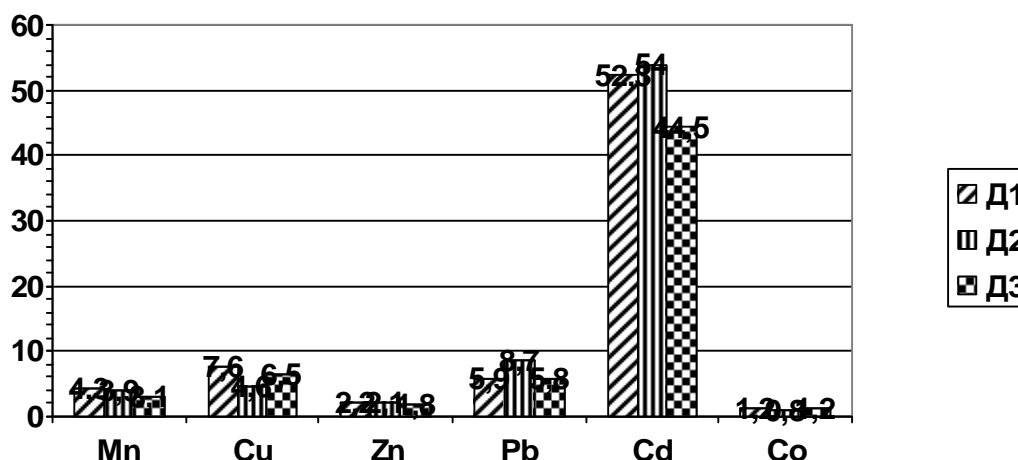
Варианты	Способы обработки								
	Свинец (Pb)			Кобальт (Co)			Кадмий (Cd)		
	Д <sub>1</sub>	Д <sub>2</sub>	Д <sub>3</sub>	Д <sub>1</sub>	Д <sub>2</sub>	Д <sub>3</sub>	Д <sub>1</sub>	Д <sub>2</sub>	Д <sub>3</sub>
000	1,035	0,91	0,94	0,17	0,15	0,26	0,089	0,071	0,049
111	0,65	1,03	0,53	0,17	0,071	0,13	0,078	0,072	0,082
222	0,76	1,31	0,74	0,084	0,041	0,03	0,065	0,054	0,051
333	0,82	1,66	1,02	0,101	0,07	0,08	0,06	0,076	0,062
среднее	0,82	1,23	0,82	0,13	0,08	0,12	0,068	0,076	0,061

Анализ данных таблицы 5 показывает:

- содержание подвижных форм кобальта снижается во всех вариантах опыта в сравнении с контролем (000) и приближается к критическому пределу дефицита кобальта как микроэлемента;
- внесение удобрений и способы обработки почвы существенного влияния не оказывают на содержание подвижных форм кадмия и свинца, их содержание примерно в 10 раз ниже ПДК.

Склонность к трансформации соединений тяжелых металлов характеризует степень подвижности ( $\omega$ , %) – отношение содержания подвижных форм соединений ТМ к их валовому содержанию [5].

На рисунке 1 показана зависимость степени подвижности тяжелых металлов от способа обработки почвы.



**Рис. 1 – Влияние основной обработки почвы на степень подвижности тяжелых металлов**

Из рисунка следует, что степень подвижности кадмия остается очень высокой при всех способах обработки почвы (45-45%). Это объясняется малой склонностью соединений кадмия к трансформации, он почти не связывается гумусом, плохо сорбируется гидроксидами железа и алюминия.

Наименьшая степень подвижности проявляется у соединений цинка и кобальта. Их соединения активно сорбируются оксидами железа, связываются в органо-минеральные комплексы, способы обработки не оказывают существенного влияния на степень подвижности цинка и кобальта.

Степень подвижности марганца снижается при отвальной обработке почвы (Д<sub>3</sub>). Вероятно, это объясняется насыщением почвы кислородом при обороте пласта, увеличением окислительно-восстановительного потенциала, что способствует переходу марганца из двухвалентного состояния в диоксид марганца MnO<sub>2</sub>.

По степени подвижности в черноземе выщелоченном изучаемые металлы располагаются в последовательности: Cd > Pb, Cu > Mn > Zn > Co.



У меди наибольшая степень подвижности наблюдается при безотвальной обработке почвы Д<sub>1</sub>. Безотвальная обработка почвы является наиболее эффективной для накопления гумуса, катионы меди могут образовывать растворимые комплексные соединения с гуминовыми кислотами.

### **Выводы**

1. Содержание подвижных форм марганца, меди цинка, свинца, кобальта и кадмия в пахотном слое чернозема выщелоченного во всех вариантах опыта ниже ПДК и экологической опасности не представляет.

2. Внесение минеральных и органических удобрений вызывает увеличение содержания подвижных форм марганца, меди и цинка при всех способах обработки почвы, а свинца – при рекомендуемой обработке почвы.

3. Уровень обеспеченности микроэлементами чернозема выщелоченного: по марганцу – средний; по меди – низкий; по цинку и кобальту – очень низкий.

4. Наибольшая степень подвижности характерна для соединений кадмия, а наименьшая – цинка и кобальта. Внесение минеральных и органических удобрений способствует связыванию марганца, меди, цинка и кобальта в прочнофиксированные формы, ведет к дефициту их в почве как микроэлементов питания растений.

### **Литература**

1. Химическое загрязнение почв и их охрана. Словарь справочник. М.: – «Агропромиздат», 1991.

2. Э.А. Александрова, Н.Г. Гайдукова, Н.А. Кошеленко. Тяжелые металлы в почвах и растениях и их аналитический контроль. Краснодар. 2001 г.

3. Химия тяжелых металлов, мышьяка и молибдена в почвах. Под ред. Н.Г. Зырина. М.: – МГУ, 1985.

4. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. Пер. с англ. М. 1989.

5. Агроэкологический мониторинг в земледелии Краснодарского края. Под редакцией акад. И.Т. Трубилина, акад. Н.Г. Малюги. Краснодар, 2002.

6. Гайдукова Н.Г., Кошеленко Н.А. «О степени подвижности тяжелых металлов в выщелоченном черноземе». Сб. «Энтузиасты аграрной науки», – вып. 3. Краснодар, 2004 г., с. 36-44.