

УДК 631.81:502.6]:631.445.4

UDC 631.81:502.6]:631.445.4

**О ВОЗМОЖНОСТИ ЧЕРНОЗЕМА
ВЫЩЕЛОЧЕННОГО КУБАНИ
ИНАКТИВИРОВАТЬ ОСОБО ОПАСНЫЕ
ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ**

**ABOUT ABILITY OF KUBAN LEACHED
BLACK SOIL TO DEACTIVATE ESPECIALLY
DANGEROUS HEAVY METALS**

Гайдукова Нина Георгиевна
к.х.н, профессор

Gajdukova Nina Georgievna
Cand.Chem.Sci., professor

Кошеленко Наталья Александровна
к.с.-х. н., доцент

Koshelenko Natalia Aleksandrovna
Cand.Agr.Sci., senior lecturer

Сидорова Ирина Ивановна
к.б.н., доцент,

Sidorova Irina Ivanovna
Cand.Biol.Sci., senior lecturer

Шабанова Ирина Вячеславовна
к.х.н., доцент.
*Кубанский государственный аграрный
университет, Краснодар, Россия*

Shabanova Irina Vjacheslavovna
Cand.Chem.Sci., senior lecturer
Kuban state agrarian university, Krasnodar, Russia

В статье представлены результаты изучения содержания свинца и кадмия в почве и сельскохозяйственных культурах при использовании различных агротехнологий. Отмечена негативная тенденция накопления тяжелых металлов в зерне озимой пшеницы

The results of studying of the maintenance of lead and cadmium in soil and agricultural crops at use of various agrotechnologies are presented in the article. The negative tendency of accumulation of heavy metals in winter wheat grain is noted

Ключевые слова: ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ, КОЭФФИЦИЕНТ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ПОДВИЖНЫХ ФОРМ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ ИЗ ПОЧВЫ РАСТЕНИЯМИ, ПОДВИЖНЫЕ И КИСЛОТОРАСТВОРИМЫЕ ФОРМЫ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ, ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПРОДУКЦИИ РАСТЕНИЕВОДСТВА СВИНЦОМ И КАДМИЕМ

Keywords: HEAVY METALS, FACTOR OF EXTRACTION OF MOBILE FORMS OF HEAVY METALS FROM SOIL PLANTS, MOBILE AND TOTAL FORMS OF HEAVY METALS, POLLUTION OF PLANT GROWING PRODUCTS BY LEAD AND CADMIUM

Тяжёлые металлы относятся к наиболее опасным загрязняющим веществам и поэтому изучение их поведения в почвах, оценка защитных возможностей почв является важной экологической проблемой.

Кадмий и свинец относятся к группе приоритетных загрязнителей почв и продукции растениеводства. Опасность для живых организмов обусловлена тем, что эти элементы имеют тенденцию к биоаккумуляции, т.е. накоплению их в биологическом организме. Долговременное воздействие кадмия связано для человека с дисфункцией почек, может вести к болезни легкого, приводить к дефектам костей, сердечно-сосудистым заболеваниям.

Главный источник поступления кадмия в организм человека – продовольствие. Для кадмия характерно сродство с зерновыми культурами, он активно поглощается растениями из почвы.

Свинец, накапливаясь в организме, может частично замещать кальций в костном скелете, вызывает различные расстройства нервной и репродуктивной системы, почек, ведет к нарушению нейрофизиологических функций детей, снижению умственного развития.

В Краснодарском крае общая заболеваемость детей за последние 10 лет увеличилась на 8,1%. Одной из главных причин является низкое качество продуктов питания, накопление тяжелых металлов в продовольственном сырье.

Предельно допустимые концентрации в зерне, мг/кг: для кадмия – 0,1 (детское питание – 0,03); для свинца – 0,3 (детское питание – 0,1) [1]

При действии на растения кадмий может вызывать угнетение роста, торможение фотосинтеза, хлороз листьев. Кадмий может замещать цинк в составе ферментных систем, приводя к торможению многих энзимотических реакций, нарушению проницаемости мембран. [2]. Исследования многих авторов, и наши в том числе, показывают, что при малых концентрациях в почве элемент может активно поглощаться растениями до значений опасных для человека и животных, в частности, кадмий, свинец. Это обусловлено, прежде всего, физико-химическими свойствами почв, поэтому ведущими учёными предлагается при оценке земель сельскохозяйственного назначения принимать во внимание в первую очередь способность почвы инактивировать загрязнители [3]. На сегодняшний день наиболее адекватным показателем, характеризующим эту способность, является буферная ёмкость почв по отношению к тяжёлым металлам [4-6]. В инактивации избыточных ионов ТМ участвуют, преимущественно: гумусовые кислоты, физическая глина, полуторные оксиды, карбонаты [7]. Важным фактором, влияющим на

содержание и состояние ТМ в почве, являются погодные условия, применяемые агротехнологии. Биологическая доступность тяжёлых металлов обусловлена комплексом взаимосвязанных процессов в почве, находящихся в динамическом равновесии (рис. 1).



Рисунок 1 – Факторы, влияющие на подвижность тяжелых металлов в почве

По данным ряда исследований, длительное внесение минеральных удобрений в дерново-подзолистую почву способствовало увеличению подвижности кадмия и свинца в почве и накоплению их в вегетативной массе и зерне овса и ржи [8].

Мониторинговые исследования в земледелии Краснодарского края, проводимые с 1993 г., выявили тенденцию к накоплению свинца и кадмия в зерне озимой пшеницы [9].

Влияние минерального питания на поступление в растения кадмия и свинца на почвах Кубани изучено недостаточно, в некоторых работах приводятся сведения противоположного характера [10-13].

Целью наших исследований являлось определение влияния различных параметров применения удобрений, средств защиты растений и способов обработки почвы на содержание и состояние соединений кадмия и свинца в чернозёме выщелоченном Западного Предкавказья.

Условия и методика проведения исследований

Исследования проводились на 11-польном зернотравяно-пропашном севообороте в рамках стационарного многофакторного длительного опыта, заложенного на опытном поле КубГАУ (г. Краснодар) в 1991г.. Почва – чернозем выщелоченный слабогумусный сверхмощный легкоглинистый.

Черноземы выщелоченные Западного Предкавказья обладают высоким потенциальным плодородием, но имеют тяжелый гранулометрический состав с количеством физической глины от 61 до 64%, ила – от 37 до 40% при полном отсутствии фракции песка. Содержание гумуса в пахотном слое – 2,9-3,4%, подвижных фосфатов - 18-20 мг/100 г, обменного калия – 20-30 мг/100 г почвы, минерального азота – 0,9-1,1 мг/100 г почвы, активная кислотность – 6,6-6,9 рН.

Климат района проведения исследований характеризуется мягкой непродолжительной зимой, длительным безморозным периодом (185-225 дней), неустойчивым увлажнением. Среднегодовое количество осадков составляет 644 мм, из которых около 360 мм выпадает в период с апреля по октябрь [14].

Стационарный многофакторный длительный опыт представлен следующими факторами:

А – плодородие почвы, В – система удобрения, С – система защиты растений, Д – система основной обработки почвы.

В опыте на основе существующих нормативных показателей запланировано четыре уровня плодородия чернозема выщелоченного внесением в почву при A_1 – 200 кг/га P_2O_5 и 200 т/га подстилочного навоза. Для создания фона A_2 доза удобрений удваивалась, фона A_3 – утраивалась, A_0 – естественный фон.

При описании результатов исследований приняты условные названия четырёх базовых технологий: 000 – контроль; 111 – беспестицидная; 222 – экологически допустимая; 333 – интенсивная. В таблице 1 представлена система удобрения в звене севооборота.

Таблица №1- Система удобрения в звене зернотравяно-пропашного севооборота.

Год	Культура	Варианты					
		111 (минимальная норма)		222 (средняя норма)		111 (высокая норма)	
		навоз, т/га	НPK, кг/га	навоз, т/га	НPK, кг/га	навоз, т/га	НPK, кг/га
2007	Кукуруза на зерно	20	N ₃₀ P ₃₀	40	N ₆₀ P ₆₀	80	N ₁₂₀ P ₁₂₀
2008	Озимая пшеница («Нота»)	-	N ₆₀ P ₃₀ K ₂₀	-	N ₁₂₀ P ₆₀ K ₄₀	-	N ₂₄₀ P ₁₂₀ K ₈₀
2009	Сахарная свекла	30	N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅	60	N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	120	N ₁₈₀ P ₁₈₀ K ₁₈₀
Система защиты растений, г/га		1) баксис - 2 2) энтомолог. смесь – 3		секатор - 0,2		1) фалькон – 0,6 2) децис – 0,05	

Четвертым фактором, изучаемым в опыте, является система основной обработки почвы: D_1 – безотвальная (почвозащитная), D_2 – рекомендуемая (применяемая) и D_3 – отвальная с глубоким рыхлением почвы до 70 см дважды в ротацию (табл. №2).

Таблица №2 - Способы основной обработки почвы в севообороте

Культура	D_1	D_2	D_3
Кукуруза на зерно	Двух-трехкратное дискование. Безотвальная обработка на 23-25 см	Двух-трехкратное дискование. Отвальная вспашка на 23-25 см	Двух-трехкратное дискование. Отвальная вспашка на 23-25 см
Озимая	Двух-трехкратное	Двух-трехкратное	Двухкратное

пшеница («Нота»)	дискование на 10-12 см	дискование на 10-12 см	дискование на 6-8 см. Отвальная вспашка на 18-22 см
Сахарная свекла	Двух-трехкратное дискование. Безотвальная обработка на 30-32 см	Двух-трехкратное дискование. Отвальная вспашка на 30-32 см	Двух-трехкратное дискование. Отвальная вспашка на 30-32 см

Анализ почвенных и растительных образцов на содержание тяжёлых металлов проводился атомно-абсорбционным методом согласно ГОСТам [15].

Степень подвижности ($\omega, \%$) тяжёлых металлов (ТМ) в почве вычисляли из соотношения подвижной фракции металла к его кислоторастворимой форме.

Коэффициенты захвата металлов растениями рассчитывали из отношения среднего содержания элемента в растительной пробе к содержанию его подвижной формы в почве.

Результаты и их обсуждение.

Результаты исследования почвенных образцов на содержание кислоторастворимых форм (КФ) кадмия и свинца представлены в таблице №3

Таблица3. Динамика содержания кислоторастворимых форм кадмия и свинца в пахотном слое чернозема выщелоченного, мг/кг (обработка почвы - Д₂)

Технология	Кадмий			Свинец		
	2007	2008	2009	2007	2008	2009
000	0,206	0,184	0,270	15,72	13,45	15,33
111	0,208	0,192	0,285	16,48	13,55	14,50
222	0,211	0,188	0,275	15,59	13,62	14,45
333	0,199	0,193	0,212	15,69	13,80	15,25
Среднее	0,206	0,189	0,261	15,870	13,605	14,883
стандартное отклонение	0,005	0,004	0,0 53	0,410	0,148	0,472
ПДК	3,0			20,0		

Содержание кислоторастворимых форм соединений кадмия значительно ниже ПДК. Однако, наблюдается увеличение содержания кадмия в 2009г. (~ на 30%).

Содержание КФ свинца составляет в среднем 0,75 от ПДК, что указывает на умеренную опасность возможного загрязнения почвы. В 2008 г. содержание кадмия и свинца ниже, что можно объяснить различной глубиной слоя: 2007(кукуруза) – слой 0-30 см; 2008 (озимая пшеница) – 0 – 20 см; 2009 (сахарная свёкла) – 0- 30 см.

Содержание подвижных форм кадмия и свинца значительно ниже ПДК (табл. №4).

Таблица 4. Динамика содержания подвижных форм кадмия и свинца в пахотном слое чернозема выщелоченного, мг/кг (обработка почвы - Д₂).

Технология	Кадмий			Свинец		
	2007	2008	2009	2007	2008	2009
000	0,058	0,044	0,042	0,67	0,40	0,58
111	0,062	0,037	0,039	0,61	0,46	0,55
222	0,058	0,029	0,038	0,74	0,37	0,50
333	0,08	0,047	0,039	0,77	0,38	0,57
Среднее	0,065	0,039	0,040	0,698	0,403	0,550
стандартное отклонение	0,011	0,008	0,002	0,072	0,040	0,036
ПДК	0,2			6,0		

Сравнивая содержание подвижных форм кадмия и свинца с содержанием их кислоторастворимых форм, можно сделать вывод о большей подвижности кадмия. Более чёткое представление о подвижности соединений ТМ даёт степень подвижности (табл. 5).

Таблица 5. Степень подвижности кадмия и свинца в пахотном слое чернозема выщелоченного (ω,%), (обработка почвы - Д₂)

Технология	Кадмий			Свинец		
	2007	2008	2009	2007	2008	2009
000	28,16	23,91	15,53	4,26	2,97	3,78
111	29,81	19,27	13,68	3,70	3,39	3,79
222	27,49	15,43	13,82	4,75	2,72	3,46
333	40,20	24,35	18,40	4,91	2,75	3,74

Степень подвижности кадмия почти на порядок выше, чем у свинца. В условиях интенсивной технологии подвижность кадмия повышается. На подвижность свинца технологии существенного влияния не оказывают.

Рассмотрим влияние различных факторов на степень подвижности тяжелых металлов в почве.

1. **Влияние способов обработки почвы** на степень подвижности показано на рисунках 2 и 3. Отвальный способ обработки почвы Д₃ способствует увеличению подвижности соединений, как кадмия, так и свинца. Глубокое рыхление почвы (Д₃) способствует повышению степени подвижности свинца в 1,5-2 раза по сравнению с безотвальной обработкой почв (Д₁) (рис. 3).

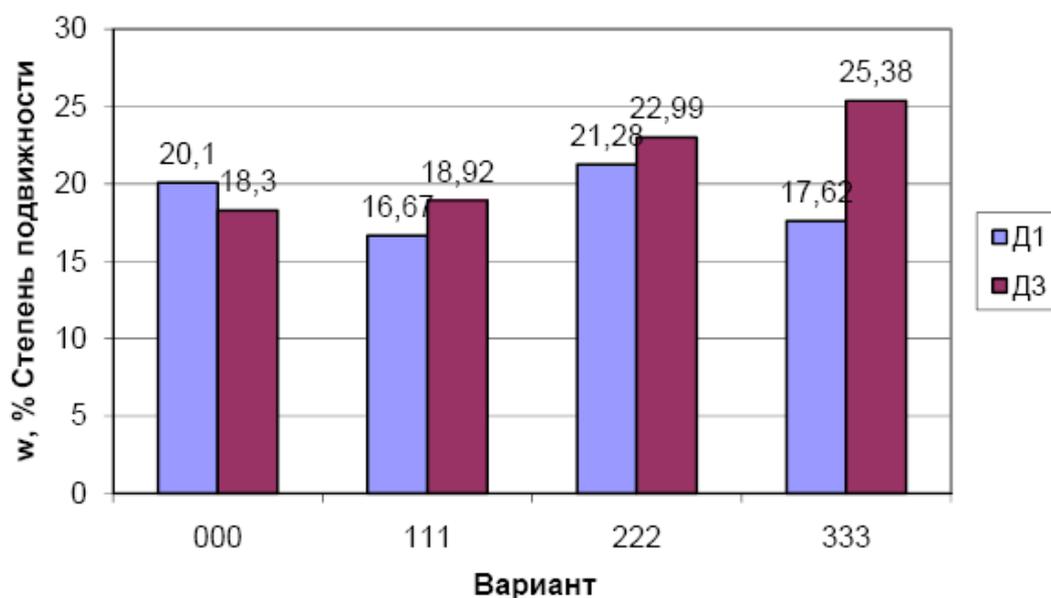


Рисунок 2 - Влияние способа обработки почвы на степень подвижности кадмия в слое 0-20 см. (Краснодар, 2008 г., культура – озимая пшеница)

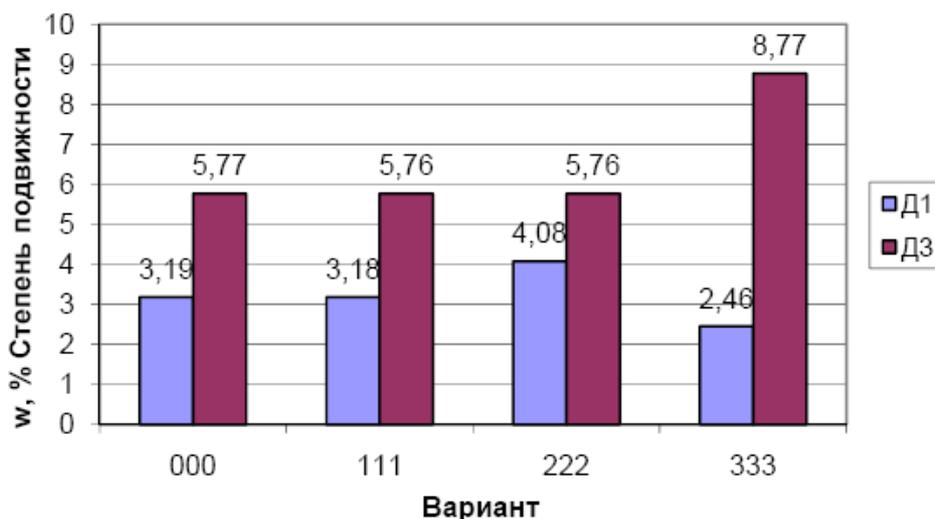


Рисунок 3 -. Влияние способа обработки почвы на степень подвижности свинца в слое 0-20 см. (Краснодар, 2008 г., культура – озимая пшеница)

2. Влияние уровня плодородия и минерального питания на степень подвижности кадмия и свинца (рис. 4 и 5).

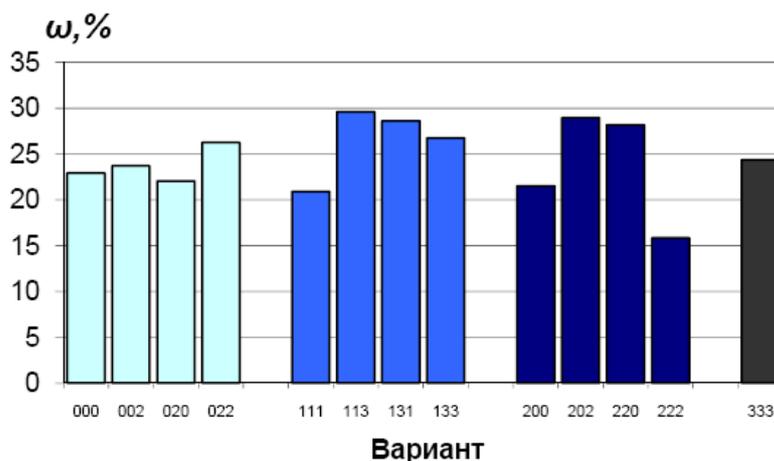


Рисунок 4. - Влияние плодородия почвы и минерального питания на степень подвижности кадмия в слое 0-20 см. (Краснодар, 2008 г., культура – озимая пшеница, обработка почвы – рекомендуемая).

Наименьшая степень подвижности кадмия и свинца отмечена в условиях экологически допустимой технологии (вар. 222). Интенсивная технология (вар. 333) вызывает снижение подвижности только свинца (рис. 5).

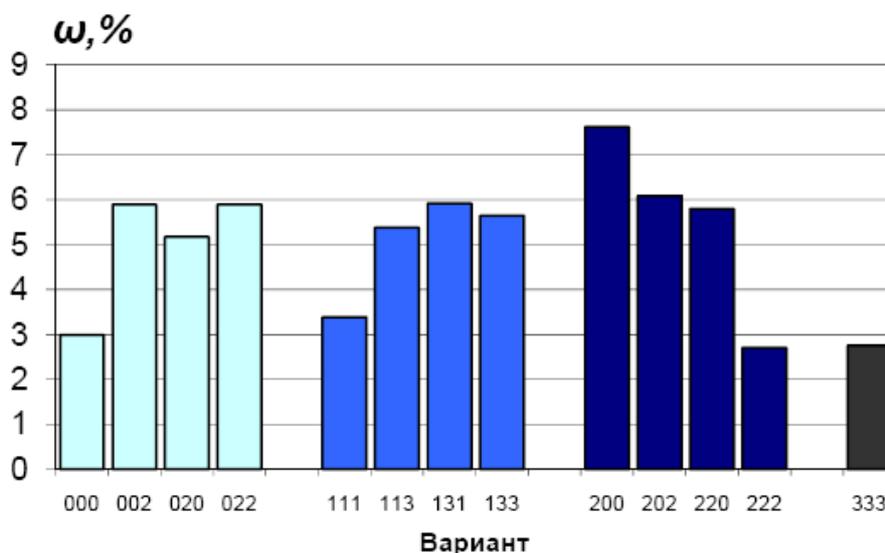


Рисунок 5 - Влияние плодородия почвы и минерального питания на степень подвижности свинца в слое 0-20 см. (Краснодар, 2008 г., культура – озимая пшеница, обработка почвы – рекомендуемая).

2.1. Влияние внесения навоза на степень подвижности кадмия и свинца. Внесение навоза при отсутствии других технологий (вариант 200) способствует незначительному снижению подвижности кадмия на 1,5%, и повышению степени подвижности свинца в 2,5 раза. Использование наряду с навозом минеральных удобрений и системы защиты растений способствует снижению степени подвижности свинца и кадмия (вариант 222).

2.2. Влияние внесения минеральных удобрений на степень подвижности кадмия и свинца. Использование минеральных удобрений повышает степень подвижности кадмия на 5-8 % только на фоне использования навоза и системы защиты растений (варианты 111 и 131; 200 и 220). Степень подвижности свинца в почве возрастает с внесением НРК на 40 % (вар. 000 и 020; 111 и 131).

2.3. Влияние системы защиты растений на степень подвижности кадмия и свинца. Это влияние является косвенным, поскольку препараты для защиты растений вносятся непосредственно на растения, и изменяют их способность поглощать элементы питания из почвы. Для кадмия существенное повышение степени подвижности металла в почве на 25-30 % наблюдается при использовании средств защиты растений только при совместном использовании удобрений и навоза в вариантах 111 и 113, и 200 и 202. Степень подвижности свинца в почве возрастает на 40-50 % в вариантах 000 и 002, 111 и 131; и снижается на 20-50 % в вариантах с экологически допустимой технологией (200 и 202, 220 и 222).

Растениям доступны подвижные формы соединений кадмия и свинца, которые относятся к ультрамикроэлементам [13]. По мере роста и развития

озимой пшеницы изменяется накопление этих элементов в вегетативной массе растений (табл. 6).

Таблица 6. Содержание кадмия и свинца в зелёной массе озимой пшеницы в различные фазы развития, мг/кг (обработка почвы - Д₂)

Технология	Кадмий		Свинец	
	Фаза трубкования	Фаза колошения	Фаза трубкования	Фаза колошения
000	0,09	0,14	0,10	0,22
111	0,12	0,18	0,16	0,51
222	0,17	0,18	0,16	0,25
333	0,13	0,15	0,18	0,32
Среднее	0,128	0,163	0,150	0,325
стандартное отклонение	0,033	0,021	0,035	0,130

Содержание кадмия в почве значительно меньше (примерно в 10 раз), чем свинца, однако в зерне озимой пшеницы его количество приближается к ПДК для питания взрослого населения в условиях рекомендуемой обработки почвы и превышает ПДК для детского питания (рис.6).

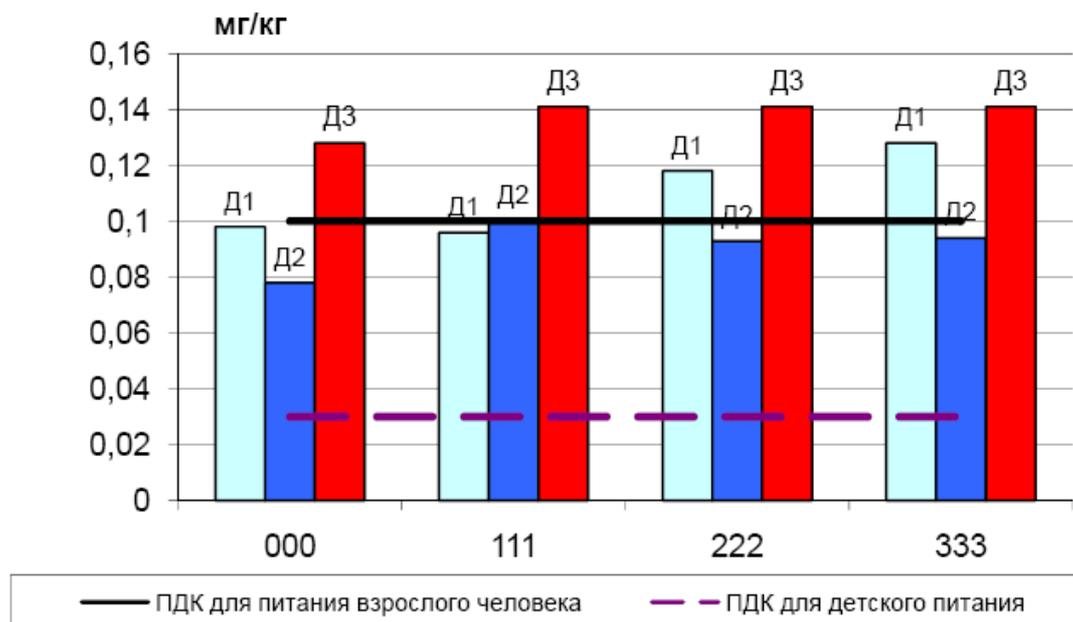


Рисунок 6 - Влияние способа обработки почвы на содержание кадмия в зерне пшеницы. (2007).

При использовании отвального способа обработки почвы (Д₃) наблюдается превышение ПДК на всех вариантах опыта, в условиях

безотвального способа ПДК превышено в вариантах повышенных (222) и высоких (333) доз удобрений.

Содержание свинца в зерне пшеницы ниже ПДК для питания взрослого человека (рис. 7).

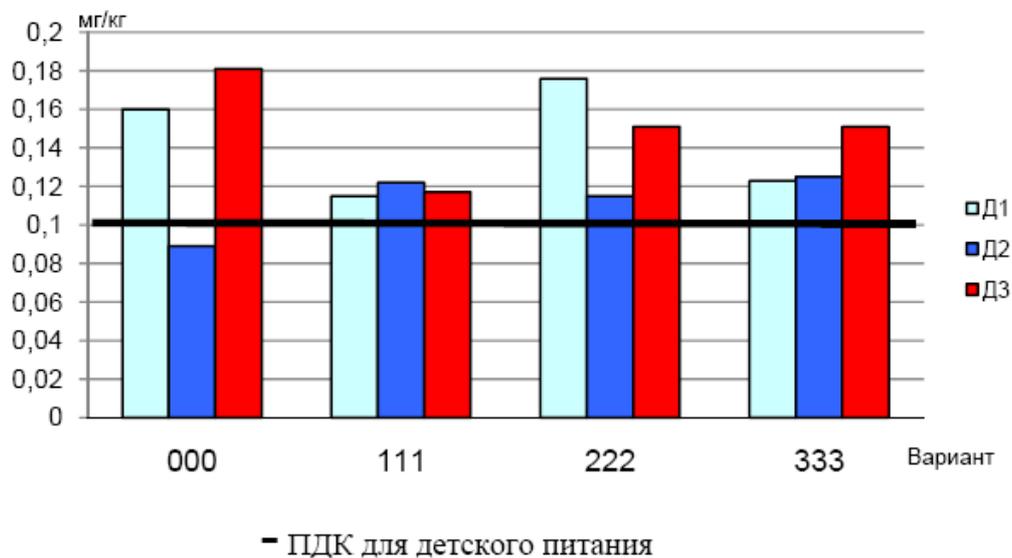


Рисунок 7 - Влияние способа обработки почвы на содержание свинца в зерне пшеницы. (2007).

Для озимой пшеницы сорта «Нота» был рассчитан коэффициент использования подвижных форм тяжелых металлов в почве $K_{изв.}$ (табл. 7) за период 2006-2008 гг.

$$K_{изв.} = \frac{\text{вынос ТМ с зерном}}{\text{содержание ПФ ТМ в почве}} \cdot 100\%$$

Таблица 7 – Коэффициенты использования общего запаса подвижных форм свинца и кадмия в почве озимой пшеницей (зерно) (обработка почвы Д₂)

Вариант	Кадмий			Свинец		
	2006	2007	2008	2006	2007	2008
000	2,23	2,69	2,32	0,89	1,10	0,29
111	2,45	2,85	5,08	0,66	0,33	1,23
222	6,49	2,73	7,35	0,49	1,05	0,69
333	3,96	2,20	4,90	0,45	1,07	1,81

Коэффициенты использования кадмия растениями озимой пшеницы варьируются от 2,2 до 7,3, и достигают наибольших значений при

экологически допустимой агротехнологии (222). Отбор проб почвы проводился в апреле месяце ежегодно в исследуемый период, использовались одинаковые дозы удобрений и навоза, поэтому на существенные различия по коэффициентам использования Cd оказывают влияние антропогенные условия, в частности уровень осадков. В 2006 и 2008 гг. среднемесячный уровень осадков составлял соответственно 47,2 мм и 59,4 мм; 2007 год был засушливым - в среднем в пересчете на месяц 37,5 мм. Повышенный уровень осадков существенно увеличивает способность растений извлекать кадмий из почвы, особенно в вариантах с высокими дозами удобрений 222 и 333 (табл. 7).

Коэффициенты использования свинца растениями озимой пшеницы варьируются от 0,29 до 1,8. Погодные условия и применяемые агротехнологии не оказали существенного влияния на величину коэффициента использования. В 2006 году коэффициент использования Pb снижается с увеличением доз удобрений, в 2008 г. возрастает. В засушливый 2007 год применяемые агротехнологии не оказывают влияния на извлечение свинца озимой пшеницей, но в этом году в вариантах 000 и 222 коэффициенты использования наибольшие за исследуемый период.

Коэффициенты использования растениями озимой пшеницы свинца из почвы ниже, чем кадмия в 5-10 раз.

Заключение

Чернозем выщелоченный Западного Предкавказья обладает возможностью инактивировать соединения свинца в большей степени, чем кадмия. Выявлена избирательная способность растений озимой пшеницы извлекать кадмий из почвы ($K_{изв.}(Cd) = 2-7\%$, $K_{изв.}(Pb) = 0,3-1,8\%$). Выращенная зерновая продукция по содержанию свинца и кадмия не пригодна для детского питания.

Список литературы

1. Мошкина Т.М., Мотузова Г.В., Назаренко О.Г. Накопление тяжелых металлов растениями ячменя на черноземе и каштановой почве // *Агрохимия* 2009 № 10. С. 53-63
2. Ильин В.Б. К оценке массопотока тяжелых металлов в системе почва-сельскохозяйственная культура // *Агрохимия*. 2006. № 3 С. 52-59
3. Цветнов Е.В., Щеглов А.И., Цветнова О.Б. «Права природы» и стоимость земель сельскохозяйственного назначения как основа устойчивого аграрного природопользования // *Экология России на пути к инновациям: Межвузовский сборник научных трудов*. 2009. Вып.1, С. 17-40.
4. Ильин В.Б. Оценка буферности почв по отношению к тяжелым металлам. *Агрохимия*. 1995. №10. С. 109-113.
5. Добровольский В.В. Биосферные циклы тяжёлых металлов и регуляторная роль почвы // *Почвоведение*. 1997. №4. С.431 – 441.
6. Ильин В.Б. Буферные свойства почвы и допустимый уровень её загрязнения тяжелыми металлами // *Агрохимия*. 1997. № 11. С. 65-70
7. Белоусов В.С., Цеолит-содержащие породы Краснодарского края в качестве инактиваторов тяжелых металлов в почве // *Агрохимия* 2006. № 4. С.78-83
8. Кураков В.И., Минаева О.А., Александрова Л.В. Влияние длительного применения удобрений на содержание тяжелых металлов в выщелоченном чернозёме и продукции зерно-свекловичного севооборота // *Агрохимия* 2006. № 11. С. 59-65
9. Гайдукова Н.Г., Кошеленко Н.А., Сидорова И.И., Шабанова И.В. Влияние агрохимических средств земледелия на содержание свинца и кадмия в черноземе выщелоченном и озимой пшенице Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2007. В. 5(9). С. 88-94
10. Водяницкий Ю.Н., Васильев А.А., Лобанова Е.С. Загрязнение тяжелыми металлами и металлоидами почв. Г. Пермь // *Агрохимия*. 2009. № 4. С. 60-68
11. Соловьев Г.А., Голубев М.В. Влияние минеральных удобрений на содержание тяжелых металлов в растениях // *Агрохимия*. 1981. № 11 С. 114-119
12. Карпова Е.А. Влияние длительного применения минеральных удобрений на состояние железа и тяжелых металлов в дерново-подзолистых почвах // *Почвоведение*. 2006. № 9. С. 1059-1067
13. Шеуджен А.Х., Лебедевский И.А. Новые подходы к агроэкологической оценке загрязнения почв тяжелыми металлами // *Сборник трудов КубГАУ. Энтузиасты аграрной науки*. В. 5. С.603-615.
14. Малюга Н.Г., Кравцов А.М., Загорулько А.В. Программа и методика проведения опыта // *Агроэкологический мониторинг в земледелии Краснодарского края. Труды КубГАУ*. 2008. В. 431(459). С.6 – 14
15. Сборник методик по определению тяжелых металлов в почвах, тепличных грунтах и продукции растениеводства под ред. М.М. Овчаренко, А.В. Кузнецова - М.: Изд-во Минсельхозпрод России, 1998. –с. 41-42