

УДК 631.81:502.6]:631.445.4

UDC 631.81:502.6]:631.445.4

06.00.00 Сельскохозяйственные науки

06.00.00 Agricultural sciences

ВЗАИМОСВЯЗЬ РАЗЛИЧНЫХ ФОРМ СОЕДИНЕНИЙ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПАХОТНОМ СЛОЕ ПОЧВЫ И НАКОПЛЕНИЯ ИХ В ЗЕРНЕ ОЗИМЫХ КУЛЬТУР

INTERRELATION OF VARIOUS FORMS OF COMPOUNDS HEAVY METALS IN AN ARABLE LAYER OF EARTH AND THEIR ACCUMULATION IN GRAIN OF WINTER CROPS

Гайдукова Нина Георгиевна
к.х.н., профессор
РИНЦ SPIN-код = 9128-6929

Gaydukova Nina Georgiyevna
Cand.Chem.Sci., professor
Russian Science Citation Index (RSCI) SPIN-code = 9128-6929

Сидорова Ирина Ивановна
к.б.н., доцент
РИНЦ SPIN-код = 1948-8723

Sidorova Irina Ivanovna
Cand.Biol.Sci., associate professor
Russian Science Citation Index (RSCI) SPIN-code = 1948-8723

Шабанова Ирина Вячеславовна
к.х.н., доцент
РИНЦ SPIN-код = 8359-5325

Shabanova Irina Vyacheslavovna
Cand.Chem.Sci., associate professor
Russian Science Citation Index (RSCI) SPIN-code = 8359-5325

Федашук Евгений Дмитриевич
магистрант
Кубанский государственный аграрный университет, Краснодар, Россия

Fedashchuk Evgeny Dmitriyevich
undergraduate student
Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia

В статье рассматривается влияние агротехнологий возделывания озимых культур на содержание различных форм тяжелых металлов в пахотном слое почвы и накопление их в зерновой продукции. Валовое содержание соединений меди в пахотном слое чернозёма выщелоченного выше фоновых значений (ПДК 1,5-1,7), доля прочнофиксированных соединений составляет 75 %. Валовое содержание цинка превышает фоновое значение для черноземов (1,25 кларка). Установлена корреляционная взаимосвязь водного режима почвы и содержания подвижных соединений тяжёлых металлов в пахотном слое - прямая для Cu и обратная для Mn, Pb, Cd и Co. Обеспеченность пахотного слоя почвы подвижными формами меди, цинка и кобальта низкая, марганца - соответствует среднему уровню. По степени актуальной подвижности изучаемые элементы располагаются в последовательности: Cd>Mn>Co>Pb>Zn>Cu. Степень потенциальной доступности уменьшается в ряду: Zn>Mn>Pb>Co>Cu. Содержание Mn, Cu, Zn и Co в зерне пшеницы ниже ПДК, накопление Pb и Cd выше ПДК в зерновой продукции для детского питания на 10-15 %, что повышает индивидуальный риск смерти до второго – предельно допустимого уровня

In the article we consider the influence of agricultural technologies of cultivation of winter crops on existence of various forms of heavy metals in an arable layer of earth in the conditions and their accumulation in grain production. The gross content of compounds of copper in an arable layer of black leached soil is above background values (maximum concentration limit 1,5-1,7), a share of the fixed connections makes 75 %. The gross content of zinc exceeds background value for chernozems (1,25 clark). The correlation of the water mode of the soil and the content of mobile compounds of heavy metals in an arable layer - a straight line for Cu and the return for Mn, Pb, Cd and Co. Supplement of an arable layer of earth with mobile forms of copper, zinc and cobalt low, manganese - corresponds to the average level. Speaking of the degree of actual mobility the studied elements settle down in sequence: Cd> Mn> Co> Pb> Zn> Cu. Degree of potential availability decreases among: Zn> Mn>Pb> Co> Cu. The existence of Mn, Cu, Zn and Co in grain of wheat is lower than maximum concentration limit, and accumulation of Pb and Cd is higher than maximum concentration limit in grain production for baby food for 10-15 %, that increases individual risk of death to the maximum permissible level

Ключевые слова: КАДМИЙ, ЦИНК, СВИНЕЦ, МЕДЬ, КОБАЛЬТ, МАРГАНЕЦ,

Keywords: CADMIUM, ZINC, LEAD, COPPER, COBALT, MANGANESE, ACIDSOLUBLE AND

КИСЛОТОРАСТВОРИМЫЕ И ВАЛОВЫЕ
ФОРМЫ МЕТАЛЛОВ, ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОЧВЫ,
ЧЕРНОЗЕМ ВЫЩЕЛОЧЕННЫЙ, ОЗИМАЯ
ПШЕНИЦА, ОЗИМЫЙ ЯЧМЕНЬ

GROSS FORMS OF METALS, POLLUTION OF
THE SOIL, CHERNOZEM LIXIVIOUS, WINTER
WHEAT, WINTER BARLEY

Тяжёлые металлы относятся к биохимически активным элементам, способным накапливаться в почве. Опасность загрязнения пахотного слоя почв такими элементами, как кадмий, цинк, свинец, медь, кобальт, хром, никель, марганец возрастает с увеличением содержания в них глины и уменьшения коэффициента увлажнения [1, 13]. Чернозём выщелоченный Западного Предкавказья относится к почвам с периодически промывным типом увлажнения и содержанием физической глины до 63,9 %, что способствует накоплению тяжелых металлов в пахотном слое в годы с недостаточным увлажнением [1, 3, 14]. Для оценки степени загрязнения земель химическими веществами и расчета размеров ущерба, нанесённого загрязнением, введен коэффициент загрязнения K_3 . По результатам мониторинговых исследований почвы Северо-Кавказского экономического района характеризуются четвертым (сильным) уровнем загрязнения, соответствующим $K_3 = 1,9$ [15].

С 1991 года в Краснодарском крае проводится агроэкологический мониторинг земель сельскохозяйственного назначения, основной целью которого является создание высокоэффективных, экологически сбалансированных агроценозов на основе воспроизводства почвенного плодородия, рационального использования средств химизации земледелия. Исследования по мониторингу содержания тяжёлых металлов в почве и продукции земледелия позволили выявить снижение содержания подвижных форм соединений свинца (Pb), кадмия (Cd), цинка (Zn), меди (Cu) и кобальта (Co) в пахотном слое чернозёма выщелоченного за полную ротацию 11-польного зернотравяно-пропашного севооборота [4]. В последние 20 лет проблеме загрязнения почв Кубани тяжелыми металлами

посвящены работы многих ученых [3, 7, 8, 15]. Согласно проведенным исследованиям почвы сельскохозяйственных угодий Западного Предкавказья по содержанию подвижных форм Pb, Cd, Zn, Cu, Co, Cr, Ni и Mn (вытяжка ААБ, рН 4,8) характеризуются первым (допустимым) уровнем загрязнения [3, 8, 14]. В предгорных районах отмечаются локальные очаги загрязнения подвижными соединениями свинца и кадмия (2-ой уровень, слабое загрязнение) [15].

В почве тяжёлые металлы находятся в виде различных форм их соединений: растворимых в почвенной влаге (хлориды, нитраты, сульфаты) – актуальная подвижность, труднорастворимых (фосфаты, сульфиды, оксиды, гидроксиды, карбонаты) – кислоторастворимые формы комплексных соединений с органическим веществом почвы; изоморфных соединений с глинистыми минералами и сорбированных на поверхности почвенных коллоидов [9]. Единой общепризнанной классификации форм тяжёлых металлов в почве не существует, так как их состояние зависит от физико-химических свойств почвы, ее гранулометрического состава и водного режима. В данной работе мы опираемся на классификацию, предложенную А. Х. Шеудженом для почв Северного Кавказа [15].

Допустимый уровень загрязнения почв определяется предельно допустимой концентрацией (ПДК) химических веществ [13, 16]. В федеральном законе «Об охране окружающей среды» от 10 января 2002 г. лишь в общем виде представлено экологическое нормирование почв, не получившее достаточного развития в нормативных документах соответствующих министерств. В работах многих авторов вместо показателя ПДК используется ориентировочно допустимая концентрация (ОДК) валового содержания элементов, которая многократно превышает ПДК. Кроме того, по валовому содержанию ТМ в почве нельзя оценить

возможность загрязнения ими продукции земледелия [7, 8]. В ряде работ предлагается сравнивать фактическое содержание элементов в пахотном слое почвы с фоновым [10, 12]. Под «фоном» одни авторы понимают предложенные А. П. Виноградовым «кларки» - среднее содержание элементов в биосфере, другие – среднерегиональное содержание химических веществ в почвах незагрязнённых территорий (не испытывавших техногенного воздействия). В Краснодарском крае все почвы испытывают, в той или иной мере, техногенное воздействие: интенсивное земледелие, развитая транспортная система, промышленные выбросы, сточные воды, бытовые отходы городских и сельских поселений и т.п. Учитывая это обстоятельство, в наших исследованиях мы принимаем за фоновое содержание «кларки» (по А. П. Виноградову) [9].

Прогнозирование загрязнения тяжелыми металлами почвы и продукции земледелия возможно на основе постоянного контроля соотношения различных форм ТМ в пахотном слое и выявления взаимосвязи между отдельными группами соединений элементов с накоплением их в урожае озимых культур, что является весьма актуальным для производителей зерна озимой пшеницы и озимого ячменя [6, 8, 11].

Цель исследований – изучить влияние различных агротехнологий возделывания озимых зерновых культур на содержание различных форм соединений Pb, Cd, Zn, Cu, Co и Mn в пахотном слое чернозёма выщелоченного и накопление их в зерне.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводились с 2009 по 2013 гг. в 11-польном зернотравяно-пропашном севообороте стационарного многофакторного опыта на опытном поле Кубанского госагроуниверситета со следующим размещением культур: 2009 - яровой ячмень с подсевом люцерны; 2010 – люцерна 2-го года жизни; 2011 - люцерна 3-го года жизни; 2012 - озимая пшеница; 2013 – озимый ячмень. Стационарный многофакторный опыт представлен следующими факторами: фактор А – плодородие почвы; фактор В – система удобрения; фактор С – система защиты растений и фактор Д – система основной обработки почвы. Модели уровней плодородия в опыте были созданы за счёт единовременного внесения минеральных и органических удобрений: A_0 – исходное, A_1 – среднее (200 кг/га P_2O_5 и 200 т/га подстилочного навоза под первую культуру севооборота – сахарную свёклу), A_2 – повышенное (дозы удобрений удваивались), A_3 - высокое (дозы удобрений утраивались). Система удобрения: B_0 – без удобрений (контроль), B_1 – NPK, дозы удобрений: озимая пшеница - $N_{60}P_{30}K_{20} + N_{30}$ (в фазу колошения), яровой ячмень с подсевом люцерны - $N_{20}P_{20}K_{20} + P_{30}K_{30}$, люцерна 2-го и 3-го года - $N_{15}P_{15}K_{15}$, озимый ячмень - $N_{50}P_{30}$; B_2 – NPK, дозы удобрений удваивались; B_3 – NPK, дозы удобрений утраивались. Фактор Д представлен тремя вариантами: D_1 - безотвальная (почвозащитная) обработка почвы с использованием орудий с плоскорезными рабочими органами, D_2 - рекомендуемая (применяемая) в зоне, D_3 – отвальная с периодически глубоким рыхлением до 70 см дважды в ротацию севооборота (под подсолнечник и люцерну). При описании результатов исследований приняты условные обозначения применяемых технологий: 000 – экстенсивная (контроль), 111 – беспестицидная, 222 – экологически допустимая, 333 – интенсивная. Сумма годовых осадков в 2009, 2010, 2011,

2012 и 2013 гг. составила соответственно: 573,768, 840, 643 и 568 мм, среднемноголетнее количество осадков – 643 мм. Промачивание почвы осадками обычно достигает глубины двух и более метров – до материнской породы. По гранулометрическому составу почва относится к выщелоченным легкоглинистым чернозёмам, содержание физической глины составляет 59,1 – 63,9 % , илистых частиц – 33,5 – 39,9 % , песка – 2,8 – 6,3 % . Уровень обеспеченности валовыми запасами калия и фосфора достаточно высокий: K_2O 1,9 – 2,0 % , P_2O_5 0,18 - 0,26 % . В пахотном слое почвы: содержание подвижного фосфора составляет 130 - 150 мг/кг, гумуса в пределах 2,9 – 3,6 % , реакция среды близка к нейтральной N_{H_2O} 6,5 - 7,2, pH_{KCl} 5,2 - 5,8.

Нормативные показатели и содержание тяжёлых металлов в пахотном слое почвы опытного поля перед закладкой опыта (1991 г.) представлено в таблице 1.

Таблица 1 - Фоновое содержание тяжелых металлов (ТМ) и ПДК для чернозёмов ($pH_{KCl} > 5, 5$), мг/кг.

Показатель	Формы соединений ТМ	Тяжелые металлы					
		Mn	Cu	Zn	Pb	Cd	Co
Кларк [9]	Валовое содержание	800	20	50	10	0,5	8,0
Фон [16]	Валовое содержание	1260	25	68	20	0,24	15
	Подвижные формы (ААБ, pH 4,8)	25	4,0	8,0	1,2	-	2,0
ПДК [2] (с учётом фона)	Валовое содержание	1500	55	100	30	2,00	30
	Подвижные формы (ААБ, pH 4,8)	140 (80)*	5 (1,5)*	23 (10,0)*	6,0 (3,0)*	0,2 (0,1)*	4,0 (2,5)*
Опытное поле (1991)	Валовое содержание	784,0	28,0	87,1	19,0	0,8	13,10
	Подвижные формы (ААБ, pH 4,8)	34,0	5,8	9,5	2,7	0,1	0,32

* - для эколого-токсикологической оценки

Для исследования физико-химических свойств почвенных образцов применяли гостированные методы: гумус по Тюрину (ГОСТ 26213 – 91); кислотность актуальную и обменную – потенциометрическим методом (ГОСТ 26423 – 85). Содержание подвижных соединений тяжелых металлов определяли методом атомно-абсорбционной спектроскопии в групповой ацетатно-аммонийной вытяжке - ААБ, рН 4,8 (РД 52.18.289-90), прибор - атомно-абсорбционный спектрометр «КВАНТ-Z» с электротермической атомизацией; кислоторастворимые соединения тяжелых металлов – по методике ЦИНАО в групповой азотнокислой вытяжке, HNO_3 1:1 (МУ МСХ от 23.12.1993), прибор - пламенный атомно-абсорбционный спектрометр «КВАНТ-2АТ» (акт поверки № 875 действует до 01.04.16). Валовое содержание тяжёлых металлов определяли методом рентгенофлуоресцентного анализа (РФА), прибор - волнодисперсионный рентгенофлуоресцентный спектроскан «МАКС-G» (акт поверки 0013938 действует до 20.04.16).

Аналитические данные обрабатывали методами математической статистики с использованием пакета программы Excel 5.0.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В таблице 2 представлены результаты исследования влияния природных факторов и агротехнологий возделывания люцерны и озимых зерновых культур на динамику содержания кислоторастворимых форм (КФ) соединений Mn, Cu, Zn, Pb, Cd и Co в пахотном слое чернозёма выщелоченного в условиях рекомендуемой основной обработки почвы. Анализ полученных данных позволяет сделать вывод о существенном влиянии водного режима почвы на концентрацию кислоторастворимых соединений тяжёлых металлов в пахотном горизонте почвы.

Таблица 2 - Динамика содержания кислоторастворимых форм соединений
Mn, Cu, Zn, Pb, Cd и Co в пахотном слое почвы
(2009 – 2013гг.)

Вариант	Год					$\bar{X} \pm s_{\bar{X}}$ (2009-2013)
	2009	2010	2011	2012	2013	
	$\bar{X} \pm s_{\bar{X}}^*$, мг/кг воздушно-сухой почвы					
Марганец (Mn)						
000	530 ± 21	512 ± 5	515 ± 5	565 ± 15	417 ± 8	507 ± 55
111	546 ± 21	498 ± 10	484 ± 10	550 ± 5	408 ± 2	497 ± 58
222	526 ± 15	518 ± 7	483 ± 2	537 ± 3	386 ± 1	490 ± 62
333	528 ± 1	502 ± 5	533 ± 3	502 ± 8	380 ± 2	489 ± 63
$\bar{X} \pm s_{\bar{X}}$	532 ± 9	507 ± 9	504 ± 24	538 ± 27	397 ± 17	-
Медь (Cu)						
000	24,2 ± 2,2	21,7 ± 1,0	17,4 ± 1,3	19,3 ± 0,8	28,6 ± 1,0	22,2 ± 4,4
111	23,7 ± 2,4	22,0 ± 1,5	17,4 ± 1,2	19,8 ± 1,0	29,5 ± 0,6	22,5 ± 4,6
222	25,4 ± 0,1	22,3 ± 1,3	17,7 ± 2,2	20,7 ± 1,2	27,7 ± 0,1	22,8 ± 3,9
333	25,7 ± 1,3	21,7 ± 0,5	18,9 ± 0,5	18,4 ± 0,6	29,2 ± 0,9	23,8 ± 4,7
$\bar{X} \pm s_{\bar{X}}$	24,7 ± 0,9	21,9 ± 0,3	17,5 ± 0,2	19,5 ± 1,0	28,7 ± 0,8	-
Цинк (Zn)						
000	74,5 ± 3,3	66,0 ± 2,0	57,8 ± 1,2	68,1 ± 2,1	60,5 ± 6,2	65,5 ± 6,6
111	65,0 ± 2,2	66,3 ± 1,5	55,5 ± 1,5	58,2 ± 1,6	55,6 ± 0,9	60,1 ± 5,2
222	73,4 ± 3,9	63,8 ± 0,5	55,3 ± 0,8	61,2 ± 1,8	56,8 ± 4,2	62,1 ± 7,1
333	74,5 ± 1,0	67,7 ± 2,1	57,0 ± 2,0	66,5 ± 2,5	68,8 ± 0,9	66,9 ± 6,3
$\bar{X} \pm s_{\bar{X}}$	71,8 ± 4,6	65,9 ± 1,6	56,4 ± 1,2	63,7 ± 4,8	60,5 ± 5,9	-
Свинец (Pb)						
000	11,0 ± 0,6	14,5 ± 0,5	14,1 ± 0,2	14,7 ± 0,3	12,9 ± 0,4	13,4 ± 1,5
111	10,8 ± 0,2	13,9 ± 0,1	13,8 ± 0,1	14,5 ± 0,2	12,7 ± 0,1	13,1 ± 1,4
222	11,9 ± 0,7	13,8 ± 0,2	13,5 ± 0,5	14,7 ± 0,1	11,7 ± 0,5	13,1 ± 1,2
333	10,5 ± 0,2	14,0 ± 0,3	14,5 ± 1,1	13,4 ± 1,1	13,5 ± 0,5	13,1 ± 1,5
$\bar{X} \pm s_{\bar{X}}$	11,1 ± 0,1	14,1 ± 0,3	13,9 ± 0,4	14,3 ± 0,6	12,7 ± 0,7	-
Кадмий (Cd)						
000	0,13 ± 0,01	0,23 ± 0,01	0,22 ± 0,01	0,25 ± 0,02	0,17 ± 0,01	0,21 ± 0,05
111	0,12 ± 0,01	0,22 ± 0,01	0,23 ± 0,01	0,24 ± 0,01	0,16 ± 0,01	0,19 ± 0,05
222	0,13 ± 0,01	0,21 ± 0,01	0,22 ± 0,01	0,2 ± 0,01	0,15 ± 0,01	0,19 ± 0,05
333	0,14 ± 0,01	0,22 ± 0,02	0,22 ± 0,01	0,23 ± 0,01	0,15 ± 0,01	0,19 ± 0,04
$\bar{X} \pm s_{\bar{X}}$	0,13 ± 0,01	0,22 ± 0,01	0,22 ± 0,01	0,24 ± 0,01	0,16 ± 0,01	-
Кобальт (Co)						
000	19,3 ± 0,4	10,5 ± 0,3	11,6 ± 0,8	9,5 ± 0,4	9,8 ± 0,1	12,1 ± 4,1
111	19,9 ± 0,1	10,2 ± 0,1	10,7 ± 0,6	10,8 ± 0,8	10,4 ± 0,2	12,4 ± 4,2
222	19,4 ± 0,6	10,2 ± 0,2	10,3 ± 0,8	10,6 ± 1,2	8,9 ± 0,7	11,9 ± 4,2
333	19,5 ± 0,5	10,3 ± 0,4	10,1 ± 0,6	9,9 ± 0,7	9,4 ± 0,2	11,8 ± 4,3
$\bar{X} \pm s_{\bar{X}}$	19,5 ± 0,3	10,3 ± 0,1	10,6 ± 0,7	10,2 ± 0,6	9,6 ± 0,6	-

Примечание - \bar{X} - среднее содержание, $\pm s_{\bar{X}}$ - стандартное отклонение (n = 4), мг/кг.

Содержание кислоторастворимых соединений (КФ) Mn, Cu, Zn, Pb и Co зависело от вносимых удобрений, свойств почвы, количества осадков (таблица 2).

Во все годы исследований наблюдалось превышение содержания кислоторастворимых соединений цинка в сравнении с фоновым значением для валовых форм на 10 – 25 %, что соответствует повышенному уровню по шкале экологического нормирования тяжелых металлов в почве [13].

Прямая корреляционная взаимосвязь содержания тяжелых металлов в почве с осадками выявлена для соединений свинца ($r = 0,665$) и кадмия ($r = 0,708$), обратная – для соединений меди ($r = - 0,789$), цинка ($r = - 0,529$) и кобальта ($r = - 0,412$). Внесение высоких доз удобрений (интенсивная технология) в условиях повышенного увлажнения (2011) способствует накоплению кислоторастворимых соединений Mn, Cu и Pb. В засушливые годы (2009, 2013) отмечено увеличение содержания КФ соединений Zn и снижение КФ соединений Mn. В условиях умеренного водного режима (2012) применение удобрений вызывает снижение содержания КФ соединений Mn, Cu, Zn, Pb и увеличение кобальта.

В таблице 3 показана динамика содержания подвижных соединений Mn, Cu, Zn, Pb, Cd и Co в почве при выращивании люцерны и озимых.

Таблица 3 - Динамика содержания подвижных форм соединений
Mn, Cu, Zn, Pb, Cd и Co в пахотном слое почвы
(2009 – 2013 гг.)

Вариант	Год					$\bar{X} \pm s_{\bar{X}}$ (2009-2013)
	2009	2010	2011	2012	2013	
	$\bar{X} \pm s_{\bar{X}}^*$, мг/кг воздушно-сухой почвы					
Марганец (Mn)						
000	88,1 ± 1,1	76,5 ± 1,5	93,5 ± 1,5	60,5 ± 3,5	92,1 ± 2,0	82,1 ± 13,8
111	82,5 ± 1,5	80,5 ± 1,5	90,0 ± 3,5	65,1 ± 1,0	94,1 ± 3,0	82,4 ± 11,2
222	97,1 ± 5,0	73,9 ± 1,3	78,0 ± 1,0	65,0 ± 4,0	97,5 ± 1,5	82,3 ± 14,5
333	89,0 ± 7,0	75,8 ± 2,0	73,5 ± 0,5	68,5 ± 2,5	94,6 ± 2,5	80,3 ± 10,9
$\bar{X} \pm s_{\bar{X}}$	89,1 ± 5,9	76,6 ± 2,7	83,8 ± 9,5	64,7 ± 3,3	94,5 ± 2,3	-
Медь (Cu)						
000	0,17 ± 0,02	0,22 ± 0,03	0,16 ± 0,03	0,19 ± 0,03	0,14 ± 0,01	0,18 ± 0,03
111	0,11 ± 0,02	0,24 ± 0,03	0,16 ± 0,02	0,18 ± 0,02	0,13 ± 0,01	0,16 ± 0,05
222	0,16 ± 0,01	0,24 ± 0,04	0,18 ± 0,01	0,17 ± 0,02	0,11 ± 0,01	0,17 ± 0,05
333	0,19 ± 0,01	0,25 ± 0,03	0,17 ± 0,02	0,18 ± 0,01	0,13 ± 0,01	0,18 ± 0,04
$\bar{X} \pm s_{\bar{X}}$	0,16 ± 0,03	0,23 ± 0,01	0,17 ± 0,01	0,18 ± 0,01	0,13 ± 0,01	-
Цинк (Zn)						
000	0,85 ± 0,07	1,11 ± 0,04	0,56 ± 0,01	1,13 ± 0,02	0,59 ± 0,02	0,85 ± 0,27
111	1,96 ± 0,18	2,23 ± 0,03	0,62 ± 0,03	0,77 ± 0,03	0,62 ± 0,03	1,24 ± 0,79
222	0,90 ± 0,06	2,34 ± 0,03	0,70 ± 0,02	1,10 ± 0,02	1,20 ± 0,02	1,26 ± 0,64
333	1,71 ± 0,06	2,16 ± 0,04	0,87 ± 0,03	1,27 ± 0,04	1,05 ± 0,08	1,34 ± 0,57
$\bar{X} \pm s_{\bar{X}}$	1,25 ± 0,62	1,96 ± 0,57	0,68 ± 0,35	1,07 ± 0,21	0,86 ± 0,30	-
Свинец (Pb)						
000	0,44 ± 0,02	0,41 ± 0,02	0,47 ± 0,02	0,47 ± 0,02	1,70 ± 0,08	0,69 ± 0,56
111	0,45 ± 0,02	0,47 ± 0,01	0,48 ± 0,02	0,54 ± 0,03	2,00 ± 0,03	0,78 ± 0,68
222	0,44 ± 0,02	0,43 ± 0,03	0,50 ± 0,02	0,51 ± 0,02	1,70 ± 0,08	0,72 ± 0,55
333	0,46 ± 0,02	0,40 ± 0,02	0,50 ± 0,0 ±	0,55 ± 0,03	2,10 ± 0,05	0,81 ± 0,73
$\bar{X} \pm s_{\bar{X}}$	0,45 ± 0,02	0,45 ± 0,03	0,49 ± 0,02	0,52 ± 0,04	1,88 ± 0,05	-
Кадмий (Cd)						
000	0,038 ± 0,002	0,040 ± 0,001	0,037 ± 0,005	0,036 ± 0,002	0,042 ± 0,002	0,039 ± 0,003
111	0,036 ± 0,003	0,039 ± 0,001	0,036 ± 0,002	0,038 ± 0,002	0,044 ± 0,002	0,039/ ± 0,003
222	0,036 ± 0,002	0,041 ± 0,001	0,036 ± 0,002	0,032 ± 0,002	0,040 ± 0,002	0,037 ± 0,004
333	0,035 ± 0,005	0,032 ± 0,002	0,035 ± 0,005	0,036 ± 0,002	0,045 ± 0,001	0,037 ± 0,006
$\bar{X} \pm s_{\bar{X}}$	0,036 ± 0,001	0,038 ± 0,004	0,036 ± 0,001	0,035 ± 0,003	0,043 ± 0,002	-
Кобальт (Co)						
000	0,30 ± 0,01	0,34 ± 0,02	0,30 ± 0,01	0,34 ± 0,03	0,28 ± 0,02	0,31 ± 0,03
111	0,26 ± 0,01	0,39 ± 0,01	0,26 ± 0,01	0,33 ± 0,02	0,21 ± 0,02	0,30 ± 0,08
222	0,23 ± 0,01	0,37 ± 0,02	0,29 ± 0,01	0,40 ± 0,03	0,25 ± 0,02	0,33 ± 0,07
333	0,19 ± 0,02	0,34 ± 0,02	0,20 ± 0,02	0,3 ± 0,04	0,25 ± 0,02	0,28 ± 0,08
$\bar{X} \pm s_{\bar{X}}$	0,25 ± 0,04	0,36 ± 0,03	0,26 ± 0,05	0,36 ± 0,03	0,24 ± 0,03	-

Примечание - \bar{X} - среднее содержание, $\pm s_{\bar{X}}$ - стандартное отклонение (n = 4), мг/кг.

При избытке осадков водный режим чернозёма выщелоченного складывается по типу промывного, при этом подвижные соединения марганца (II) накапливаются в подпахотном слое [5].

Для оценки влияния водного режима на динамику содержания подвижных форм (ПФ) Mn, Cu, Zn, Pb, Cd и Co в пахотном слое чернозема выщелоченного использовали корреляционный анализ.

Прямая корреляционная взаимосвязь водного режима почвы и содержания подвижных соединений тяжёлых металлов в пахотном слое чернозёма выщелоченного выявлена только для соединений меди ($r = 0,564$); обратная для Mn ($r = - 0,315$), Pb ($r = - 0,541$), Cd ($r = - 0,404$) и Co ($r = - 0,386$). Связь между водным режимом почвы и содержанием подвижных соединений цинка в пахотном слое выражена слабо ($r = 0,0923$). Внесение удобрений в условиях повышенного увлажнения способствует снижению ПФ марганца, кобальта в пахотном горизонте и увеличению подвижных соединений меди и цинка. Во всех вариантах опыта содержание подвижных форм Cu, Zn, Pb, Cd и Co ниже фона и ПДК, содержание подвижного марганца превышает ПДК для эколого-токсикологической оценки.

Влияние способов основной обработки почвы на соотношение различных форм соединений Mn, Cu, Zn, Pb, Cd и Co в пахотном слое представлено в таблице 4 (вариант 000). Результаты исследований выявили превышение ПДК по валовому содержанию меди – от 1,5 ПДК (D_3) до

1,75 ПДК (D_2); валовое содержание цинка не превышает ПДК, но выше фона для черноземов. Валовое содержание марганца, кобальта и свинца ниже ПДК во всех вариантах опыта и составляет: для марганца - 0,45 ПДК (D_1), 0,6 ПДК (D_2) и 0,5 ПДК (D_3); для кобальта - 0,39 ПДК (D_1), 0,42 ПДК (D_2) и 0,44 ПДК (D_3), для свинца – 0,6 ПДК (D_1), 0,7 ПДК (D_2) и 0,65 ПДК (D_3).

Проведённые исследования выявили низкую обеспеченность пахотного слоя почвы ПФ меди, цинка и кобальта, содержание подвижных соединений марганца соответствует среднему уровню обеспеченности в условиях рекомендуемой (D_2) и отвальной (D_3) обработок, безотвальная обработка способствует увеличению содержания подвижного марганца до высокого уровня. Важным показателем процесса трансформации труднорастворимых соединений в подвижные является степень актуальной подвижности – доля ПФ от КФ. Высокая степень подвижности отмечена для кадмия - 18,4 % - D_1 , 15,3 % - D_2 , 16,9 % - D_3 и марганца: 16,2 % - D_1 , 14,94 % - D_2 , 13,76 % - D_3 , наименьшая – для меди: 0,85 % - D_1 , 0,94 % - D_2 и 1,0 % - D_3 .

По степени актуальной подвижности изучаемые элементы располагаются в последовательности: $Cd > Mn \gg Co \sim Pb > Zn > Cu$.

Таблица 4 - Влияние способов основной обработки почвы на соотношение различных форм тяжелых металлов в пахотном слое почвы (вариант 000, 2009-2013 гг.)

Формы соединений элементов	Обработка Д ₁		Обработка Д ₂		Обработка Д ₃	
	$\bar{X} \pm s \bar{x}$, мг/кг	Доля от ВФ (%)	$\bar{X} \pm s \bar{x}$, мг/кг	Доля от ВФ (%)	$\bar{X} \pm s \bar{x}$, мг/кг	Доля от ВФ (%)
Марганец (Mn)						
ВФ	736 ± 57	-	790 ± 45	-	751 ± 65	-
КФ	513 ± 43	70	540 ± 25	68	550 ± 8	73
ПФ	83 ± 13	11	81 ± 13	10	76 ± 11	10
Медь (Cu)						
ВФ	79 ± 27	-	87 ± 29	-	74 ± 26	-
КФ	18,9 ± 0,5	24,0	18,4 ± 1,0	21,0	18,4 ± 0,2	25,0
ПФ	0,16 ± 0,05	0,20	0,17 ± 0,02	0,19	0,18 ± 0,02	0,25
Кобальт (Co)						
ВФ	19,5 ± 5,0	-	21,0 ± 5,0	-	22,0 ± 5,0	-
КФ	11,3 ± 0,4	59,0	10,6 ± 1,0	51,0	10,9 ± 1,0	50,0
ПФ	0,27 ± 0,01	1,98	0,39 ± 0,05	1,82	0,31 ± 0,04	1,40
Цинк (Zn)						
ВФ	78,6 ± 14,4	-	74,5 ± 13,5	-	76,0 ± 13,3	-
КФ	61,7 ± 1,8	79,1	63,3 ± 5,5	85,5	56,6 ± 1,8	74,5
ПФ	0,87 ± 0,11	1,15	0,85 ± 0,03	1,14	0,71 ± 0,06	0,93
Свинец (Pb)						
ВФ	18,0 ± 3,5	-	21,0 ± 6,0	-	19,0 ± 1,6	-
КФ	14,5 ± 0,2	80,6	14,4 ± 0,3	68,6	14,3 ± 0,3	75,3
ПФ	0,54 ± 0,12	2,99	0,45 ± 0,03	2,15	0,48 ± 0,04	2,54
Кадмий (Cd)						
ВФ	Рентгенофлуоресцентным методом не обнаруживается					
КФ	0,223 ± 0,002	-	0,235 ± 0,015	-	0,235 ± 0,025	-
ПФ	0,041 ± 0,004	-	0,036 ± 0,002	-	0,036 ± 0,005	-

Примечание:

1. ВФ – валовое содержание; КФ – кислоторастворимые формы; ПФ – подвижные формы;
2. \bar{X} - среднее содержание, $\pm s \bar{x}$ - стандартное отклонение (n = 4), мг/кг воздушно-сухой почвы.

В настоящее время при анализе состава соединений ТМ основное внимание уделяется соотношению прочно- и непрочносвязанных форм с почвенными компонентами. В результате исследования установлено, что наибольшая доля прочнофиксированных соединений (% от ВФ) выявлена для меди: 76,1% (Д₁), 78,9% (Д₂) и 75,1% (Д₃), что указывает на высокую буферность чернозёма выщелоченного Западного Предкавказья по отношению к меди, как тяжелому металлу (таблица 4).

Доля прочнофиксированных соединений Mn, Co, Zn в пахотном слое составляет: Mn – 30,3 % (D_1), 31,65 (D_2) и 26,7 % (D_3); Co - 40,7 % (D_1), 49,5 % (D_2) и 50,4 % (D_3); Zn - 20,9 % (D_1), 14,5% (D_2) и 25,5 % (D_3). Количество прочнофиксированных соединений ТМ зависит от природных факторов, вносимых удобрений и способов обработки почвы. В результате исследований (таблица 4) установлены следующие ряды изучаемых элементов по содержанию прочнофиксированных соединений в зависимости от способа основной обработки почвы: безотвальная обработка (D_1): Cu > Co > Mn > Zn > Pb; рекомендуемая (D_2) - Cu > Co > Mn ~ Pb > Zn; отвальная (D_3) - Cu > Co > Mn ~ Zn > Pb.

Цинк и свинец относятся к тяжёлым металлам 1-го класса опасности, доля прочнофиксированных соединений этих элементов меньше, чем у меди, марганца и кобальта, что указывает на возможность загрязнения почв и продукции земледелия этими металлами. Способ обработки почвы оказывает существенное влияние на соотношение прочнофиксированных и кислоторастворимых соединений цинка и свинца: в условиях безотвальной (D_1), и отвальной (D_3) обработок в пахотном слое чернозёма выщелоченного увеличивается содержание кислоторастворимых соединений Pb. Свинец и кадмий относятся к особо опасным загрязняющим веществам, поэтому важное экологическое значение имеет потенциальная доступность (доля КФ от ВФ) этих элементов для сельскохозяйственных культур. Для соединений цинка и свинца выявлена высокая степень потенциальной доступности: 68 – 80 % у Pb, максимальная отмечена в условиях безотвальной обработки и 75 - 85 % у Zn, при этом максимальная в условиях рекомендуемой обработки.

В условиях рекомендуемой обработки почвы потенциальная доступность ТМ уменьшается в последовательности: Zn > Mn ~ Pb > Co > Cu.

Результаты исследования зерна озимых культур (пшеницы и ячменя) на содержание Mn, Cu, Zn, Pb, Cd и Co представлены в таблице 5.

Таблица 5 - Влияние удобрений и способов обработки почвы на содержание тяжёлых металлов в зерне озимых культур.

Вариант	Среднее содержание $\bar{X} \pm s_{\bar{X}}$, мг/кг					
	Mn	Cu	Zn	Pb	Cd	Co
ЗЕРНО ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ (2012 г.)						
Способ обработки почвы Д ₁						
000	23,4 ± 0,2	4,95 ± 0,03	28,1 ± 0,9	0,17 ± 0,05	0,056 ± 0,002	0,035 ± 0,002
111	18,3 ± 0,1	3,32 ± 0,02	24,6 ± 0,1	0,04 ± 0,01	0,052 ± 0,002	0,023 ± 0,003
222	18,8 ± 0,1	2,95 ± 0,02	24,1 ± 0,1	0,05 ± 0,01	0,054 ± 0,003	0,022 ± 0,001
333	21,9 ± 0,1	2,73 ± 0,03	24,4 ± 2,1	0,06 ± 0,01	0,060 ± 0,001	0,027 ± 0,004
Способ обработки почвы Д ₂						
000	20,0 ± 0,5	4,88 ± 0,03	28,1 ± 0,9	0,14 ± 0,02	0,039 ± 0,003	0,028 ± 0,003
111	20,2 ± 0,5	3,10 ± 0,10	26,1 ± 0,6	0,06 ± 0,01	0,043 ± 0,004	0,035 ± 0,003
222	21,9 ± 0,5	2,85 ± 0,05	25,7 ± 0,1	0,07 ± 0,01	0,063 ± 0,002	0,032 ± 0,002
333	22,1 ± 0,4	3,12 ± 0,06	27,1 ± 0,6	0,08 ± 0,02	0,079 ± 0,003	0,060 ± 0,003
Способ обработки почвы Д ₃						
000	26,1 ± 1,3	5,03 ± 0,07	27,3 ± 0,3	0,06 ± 0,01	0,045 ± 0,003	0,021 ± 0,002
111	23,6 ± 0,2	3,50 ± 0,20	21,7 ± 2,4	0,07 ± 0,01	0,036 ± 0,003	0,041 ± 0,002
222	27,1 ± 2,4	3,08 ± 0,03	26,7 ± 2,1	0,10 ± 0,01	0,038 ± 0,002	0,064 ± 0,003
333	24,2 ± 0,5	3,17 ± 0,06	27,0 ± 1,8	0,07 ± 0,01	0,042 ± 0,004	0,023 ± 0,002
ЗЕРНО ОЗИМОГО ЯЧМЕНЯ (2013 г.)						
Способ обработки почвы Д ₁						
000	8,5 ± 0,4	3,22 ± 0,03	26,2 ± 0,5	0,05 ± 0,01	0,050 ± 0,003	0,023 ± 0,003
111	8,5 ± 0,5	3,14 ± 0,03	21,8 ± 0,1	0,07 ± 0,02	0,064 ± 0,002	0,025 ± 0,003
222	8,8 ± 0,5	2,56 ± 0,01	21,1 ± 0,4	0,05 ± 0,01	0,051 ± 0,001	0,035 ± 0,002
333	10,0 ± 0,4	2,53 ± 0,02	26,7 ± 0,9	0,08 ± 0,01	0,051 ± 0,003	0,039 ± 0,003
Способ обработки почвы Д ₂						
000	8,5 ± 0,1	3,11 ± 0,04	24,8 ± 0,5	0,08 ± 0,01	0,036 ± 0,002	0,028 ± 0,002
111	8,2 ± 0,5	2,60 ± 0,05	21,4 ± 0,9	0,07 ± 0,01	0,060 ± 0,003	0,027 ± 0,002
222	9,7 ± 0,4	2,56 ± 0,05	21,8 ± 0,2	0,05 ± 0,01	0,041 ± 0,004	0,036 ± 0,003
333	10,9 ± 0,4	2,53 ± 0,03	23,9 ± 0,4	0,04 ± 0,01	0,054 ± 0,003	0,023 ± 0,002
Способ обработки почвы Д ₃						
000	7,9 ± 0,7	3,39 ± 0,04	24,1 ± 0,4	0,05 ± 0,01	0,050 ± 0,002	0,053 ± 0,001
111	8,7 ± 0,4	3,00 ± 0,03	23,9 ± 0,6	0,04 ± 0,01	0,074 ± 0,004	0,030 ± 0,002
222	11,5 ± 0,1	2,80 ± 0,02	24,1 ± 0,5	0,10 ± 0,02	0,065 ± 0,003	0,033 ± 0,003
333	11,3 ± 0,6	2,88 ± 0,06	30,2 ± 0,9	0,05 ± 0,01	0,065 ± 0,002	0,035 ± 0,003
Предельно допустимые концентрации						
Продов. сырье	71,0	10,0	50,0	0,5	0,1	0,8
Детское питание	71,0	10,0	50,0	0,3	0,06	0,8

Корреляционный анализ данных, представленных в таблице 5, выявил прямую взаимосвязь содержания кислоторастворимых форм

марганца в почве с накоплением его в зерне озимой пшеницы ($r = 0,653$), для остальных элементов - зависимость обратная: $r(\text{Cu}) = -0,628$, $r(\text{Zn}) = -0,857$, $r(\text{Pb}) = -0,280$, $r(\text{Cd}) = -0,791$, $r(\text{Co}) = -0,622$. Подвижные соединения ТМ наиболее доступны для растений, их содержание в почве уменьшается в процессе роста и развития пшеницы, об этом свидетельствует и обратная взаимосвязь накопления их в зерне с содержанием подвижных ТМ в пахотном слое: $r(\text{Cu}) = -0,264$, $r(\text{Pb}) = -0,738$, $r(\text{Mn}) = -0,927$. Слабая связь накопления в зерне пшеницы элемента и содержания его подвижных форм в пахотном слое наблюдается для кадмия ($r = -0,032$), цинка ($r = -0,029$) и кобальта ($r = 0,168$). Близость коэффициентов корреляции цинка и кадмия обусловлена большим сходством их химических свойств, что может способствовать накоплению кадмия в зерне при недостаточной обеспеченности почвы подвижным цинком. Содержание Mn, Cu, Zn и Co в зерне пшеницы ниже ПДК (0,5 - 0,3), накопление Pb и Cd - составляет 0,6 - 0,8 ПДК для продовольственного сырья и больше ПДК для сырья детского питания, особенно по кадмию (1,5 - 2,5 ПДК). При содержании свинца и кадмия в зерне даже в пределах ПДК существуют риски накопления их в организме человека, повышается индивидуальный риск смерти до второго - предельно допустимого риска.

Озимый ячмень предназначен, в основном, для производства кормов для животных, но значения ПДК по содержанию ТМ в его зерне такие же, как и пшеницы (таблица 5). Прямая корреляционная связь установлена между накоплением цинка в зерне ячменя и содержанием его кислоторастворимых форм в пахотном слое почвы ($r = 0,681$), для кадмия - взаимосвязь слабее ($r = 0,150$). Обратная зависимость накопления в зерне от содержания КФ выявлена для марганца ($r = -0,863$), кобальта ($r = -0,530$), свинца ($r = -0,140$) и меди ($r = -0,124$). Взаимосвязь накопления ТМ в зерне ячменя с подвижными соединениями их в почве иная: прямая

установлена для меди ($r = 0,672$), кобальта ($r = 0,680$), кадмия ($r = 0,355$) и марганца ($r = 0,315$); обратная связь – свинца ($r = - 0,415$) и цинка ($r = - 0,223$).

Содержание ТМ в зерне ячменя при экстенсивной технологии (вариант 000) в условиях различных способов обработки почвы отличается: цинк больше накапливается в условиях безотвальной (D_1), медь и кобальт – отвальной (D_3), свинец – рекомендуемой (D_2 , увеличение до 40%); содержание марганца в зерне снижается при использовании отвальной обработки (на 10 %), кадмия – в условиях рекомендуемой (на 25 %).

Применение удобрений способствует увеличению содержания в зерне ячменя Mn и Cd во всех вариантах опыта, Zn – в условиях отвальной обработки, Pb и Co – при безотвальной. Накопление меди в зерне ячменя снижается при внесении удобрений, что вызвано увеличением выноса меди с урожаем при низкой степени обеспеченности пахотного слоя чернозёма выщелоченного подвижными соединениями меди.

Озимый ячмень в сравнении с озимой пшеницей в меньшей степени поглощает марганец (в 1,5 -2 раза) и медь (в 1.3- 1,5 раза), накопление остальных ТМ примерно такое же. В целом, содержание в зерне ячменя всех изучаемых элементов ниже ПДК для продовольственного сырья, но количество кадмия выше ПДК для детского питания в 1,5 – 2,5 раза.

Выводы

Результаты исследования по изучению влияния комплекса факторов на взаимосвязь различных соединений тяжелых металлов в пахотном слое почвы и накопления их в зерне озимых культур позволяют сделать следующие основные выводы:

1. Валовое содержание цинка превышает фоновое значение в пахотном слое почвы (до 50 %), по меди наблюдается

превышение ПДК в 1,5-1,7 раза; валовое содержание марганца, кобальта и свинца ниже ПДК во всех вариантах опыта.

2. Выявлена прямая корреляционная взаимосвязь содержания кислоторастворимых форм тяжелых металлов с осадками для соединений свинца и кадмия, обратная – для меди, цинка и кобальта. Во все годы исследований наблюдалось превышение содержания кислоторастворимых соединений цинка в сравнении с фоновым для валовых форм на 10 – 25 %.
3. Прямая корреляционная взаимосвязь водного режима почвы и содержания подвижных форм соединений тяжелых металлов в пахотном слое чернозема выщелоченного выявлена только для соединений меди; обратная – для марганца, свинца, кадмия и кобальта. Установлена низкая обеспеченность пахотного слоя почвы подвижными формами меди, цинка и кобальта, содержание подвижных форм марганца соответствует среднему уровню.
4. В условиях рекомендуемой обработки почвы потенциальная доступность для растений тяжелых металлов уменьшается в ряду: $Zn > Mn > Pb > Co > Cu$.
5. Содержание Mn, Cu, Zn и Co в зерне пшеницы ниже ПДК (0,3 - 0,5), накопление Pb и Cd составляет 0,6 – 0,8 ПДК для продовольственного сырья и 1,1 – 1,3 ПДК для продуктов детского питания, что повышает индивидуальный риск смерти человека до второго – предельно допустимого уровня.
6. Применение удобрений способствует увеличению содержания в зерне ячменя марганца, кадмия и снижению накопления меди во всех вариантах опыта. Содержание Zn, Mn, Pb, Co, Cu и Cd в зерне ячменя не превышает ПДК для продовольственного зерна.

Список литературы

1. Власенко В.П. Деградационные процессы в почвах Краснодарского края и методы их регулирования / В. П. Власенко, В. И. Терпелец. Краснодар: КубГАУ, 2012. – 204 с.
2. Водяницкий Ю. Н. Нормативы содержания тяжелых металлов и металлоидов в почвах / Ю. Н. Водяницкий // Почвоведение. – М.: Наука, 2012.- № 3. – С. 368 - 375
3. Лебедевский И. А. Содержание тяжелых металлов в почвах Кубани / И. А. Лебедевский, А. Х. Шеуджен, Х. Д. Хурум // Аграрный вестник Урала. – Екатеринбург: Уральский ГАУ, 2010. - Т. 69. - № 3. - С. 67 - 69.
4. О возможности чернозема выщелоченного Кубани инактивировать особо опасные тяжелые металлы / Н. Г. Гайдукова, Н. А. Кошеленко, И. И. Сидорова, И. В. Шабанова // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2010. – №07(061). - С. 31 – 44. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2010/07/pdf/04.pdf>.
5. О распределении соединений Mn, Cu, Zn, Pb, Cd и Co в почвенном профиле чернозёма выщелоченного Азово-Кубанской низменности / Н. Г. Гайдукова, В. И. Терпелец, Н. С. Баракин, И. В. Шабанова // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2014. – №95. - С. 729 – 741. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2014/01/pdf/47.pdf>
6. СанПиН 2.3.2. 1078-01. Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. [Текст]. – Введ. 2002-09-01. - М.: Изд-во стандартов, 2008. - 180 с.
7. Последствие навоза на содержание микроэлементов в черноземе выщелоченном Кубани / Н. Г. Малюга, Н. Г. Гайдукова, П. Т. Букреев, И. В. Шабанова // Труды Кубанского государственного аграрного университета.- Краснодар: КубГАУ, 2012. – С.87 - 91
8. Об экологических рисках, связанных с накоплением свинца и кадмия в зерне озимой пшеницы, выращенной на черноземе выщелоченном Западного Предкавказья / Н. Н. Нецадим, Н. Г. Гайдукова, И. В. Шабанова, И. И. Сидорова // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – Краснодар: КубГАУ, 2008. - Вып. 431(459). - С. 59 - 73
9. Орлов Д. С. Химия почв / Д. С. Орлов, Л. К. Садовникова, Н. И. Суханова. – М.: Высш. шк., 2005. – 558 с.
10. Потатуева Ю. А. Влияние загрязнения кадмием на содержание подвижных форм элемента в почве и накопление его растениями и урожай сельскохозяйственных культур/ Ю. А. Потатуева, Н.К. Сидоренкова // Агрохимия. - М.: Наука, 2010, № 6. – С. 73 - 82.
11. Р. 2.1.10.1920-04. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду [Текст].– Введ. 2004-03-05. – М.: Изд-во стандартов, 2004. – 116 с.
12. Влияние загрязнения почв кадмием на его накопление растениями ячменя в онтогенезе / Л. Н. Ульяненко, С. В. Круглов, А. С. Филипас, и др. // Агрохимия. – М.: Наука, 2010, № 3. – С. 70 - 74.
13. Химическое загрязнение почв и их охрана / Д. С. Орлов, М. С. Малинина, Г. В. Мотузова и др. – М.: Агропромиздат, 1991. – 303 с.
14. Шеуджен А. Х. Поступление тяжелых металлов с минеральными удобрениями и прогноз их накопления в черноземе выщелоченном Западного Кавказа /

А. Х. Шеуджен, И. А. Лебедовский, Х. Д. Хурум // Аграрный вестник Урала. – Екатеринбург: Уральский ГАУ, 2010. - Т. 70. - № 4. - С. 81 - 82

15. Шеуджен А. Х. Микроэлементы и формы их соединений в почвах Кубани / А. Х. Шеуджен, Х. Д. Хурум, И. А. Лебедовский. – Майкоп: Полиграфиздат, 2008. – 56 с.

16. Яковлев А. С. Экологическое нормирование почв и управление их качеством / А. С. Яковлев, М. В. Евдокимова // Почвоведение. – М.: Наука, 2011. - № 5. – С. 582 - 596.

References

1. Vlasenko V.P. Degradacionnye processy v pochvah krasnodarskogo kraja i metody ih regulirovaniya / V. P. Vlasenko, V. I. Terpelec. Krasnodar: KubGAU, 2012. – 204 s.

2. Vodjanickij Ju. N. Normativy sodержaniya tjazhelyh metallov i metalloidov v pochvah / Ju. N. Vodjanickij // Pochvovedenie. – М.: Наука, 2012. - № 3. – S. 368 - 375

3. Lebedovskij I. A. Soderzhanie tjazhelyh metallov v pochvah Kubani / I. A. Lebedovskij, A. H. Sheudzhen, H. D. Hurum // Agrarnyj vestnik Urala. – Ekaterinburg: Ural'skij GAU, 2010. - Т. 69. - № 3. - S. 67 - 69.

4. O vozmozhnosti chernozema vyshhelochennogo Kubani inaktivirovat' osobo opasnye tjazhelye metally / N. G. Gajdukova, N. A. Koshelenko, I. I. Sidorova, I. V. Shabanova // Politematicheskij setевой jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyj zhurnal KubGAU) [Jelektronnyj resurs]. – Krasnodar: KubGAU, 2010. – №07(061). - S. 31 – 44. – Rezhim dostupa: <http://ej.kubagro.ru/2010/07/pdf/04.pdf>.

5. O raspredelenii soedinenij Mn, Su, Zn, Pb, Cd i So v pochvennom profile chernozjoma vyshhelochennogo Azovo-Kubanskoj nizmennosti / N. G. Gajdukova, V. I. Terpelec, N. S. Barakin, I. V. Shabanova // Politematicheskij setевой jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyj zhurnal KubGAU) [Jelektronnyj resurs]. – Krasnodar: KubGAU, 2014. – № 95. - S. 729 – 741. – Rezhim dostupa: <http://ej.kubagro.ru/2014/01/pdf/47.pdf>

6. SanPiN 2.3.2. 1078-01. Gigienicheskie trebovaniya bezopasnosti i pishhevoj cennosti pishhevyyh produktov. Sanitarno-jepidemiologicheskie pravila i normativy. [Tekst]. – Vved. 2002-09-01. - М.: Izd-vo standartov, 2008. - 180 s.

7. Posledejstvie navoza na sodержanie mikrojelementov v chernozeme vyshhelochennom Kubani / N. G. Maljuga, N. G. Gajdukova, P. T. Bukreev, I. V. Shabanova // Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. Krasnodar: KubGAU, 2012. – S.87 - 91

8. Ob jekologicheskikh riskah, svjazannyh s nakopleniem svinca i kadmija v zerne ozimoy pshenicy, vyrashhennoj na chernozeme vyshhelochennom Zapadnogo Predkavkaz'ja / N. N. Neshhadim, N. G. Gajdukova, I. V. Shabanova, I. I. Sidorova // Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – Krasnodar: KubGAU, 2008. - Vyp. 431(459). - S. 59 - 73

9. Orlov D. S. Himija pochv / D. S. Orlov, L. K. Sodovnikova, N. I. Suhanova. – М.: Vyssh. shk., 2005. – 558 s.

10. Potatueva Ju. A. Vlijanie zagryaznenija kadmиеm na sodержanie podvizhnyh form jelementa v pochve i nakoplenie ego rastenijami i urozhaj sel'skohozjajstvennyh kul'tur/ Ju. A. Potatueva, N.K. Sidorenkova // Agrohimiya. - М.: Nauka, 2010, № 6. – S. 73 - 82.

11. R. 2.1.10.1920-04. Rukovodstvo po ocenke riska dlja zdorov'ja naselenija pri vozdeystvii himicheskikh veshhestv, zagrijaznjajushhiih okruzhajushhuju sredu [Tekst].– Vved. 2004-03-05. – M.: Izd-vo standartov, 2004. – 116 s.

12. Vlijanie zagrijaznenija pochv kadmiem na ego nakoplenie rastenijami jachmenja v ontogeneze / L. N. Ul'janenko, S. V. Kruglov, A. S. Filipas, i dr. // Agrohimiya. – M.: Nauka, 2010, № 3. – S. 70 – 74.

13. Himicheskoe zagrijaznenie pochv i ih ohrana / D. S. Orlov, M. S. Malinina, G. V. Motuzova i dr. – M.: Agropromizdat, 1991. – 303 s.

14. Sheudzhen A. H. Postuplenie tjazhelyh metallov s mineral'nymi udobrenijami i prognoz ih nakoplenija v chernozeme vyshhelochennom Zapadnogo Kavkaza / A. H. Sheudzhen, I. A. Lebedovskij, H. D. Hurum // Agrarnyj vestnik Urala. – Ekaterinburg: Ural'skij GAU, 2010. - T. 70. - № 4. - S. 81 - 82

15. Sheudzhen A. H. Mikrojelementy i formy ih soedinenij v pochvah Kubani / A. H. Sheudzhen, H. D. Hurum, I. A. Lebedovskij. – Majkop: Poligrafizdat, 2008. – 56 s.

16. Jakovlev A. S. Jekologicheskoe normirovanie pochv i upravlenie ih kachestvom / A. S. Jakovlev, M. V. Evdokimova // Pochvovedenie. – M.: Nauka, 2011. - № 5. – S. 582 - 596.